

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

Análisis comparativo de la respuesta sísmica y costo-beneficio entre mampostería confinada y pórticos de hormigón armado de una vivienda plurifamiliar de interés social en Manta, Ecuador.

ELABORADO POR:


Parrales Posligua Josué Natanael
Tipán Wong Jessica Geovanna

TUTOR (A):

Ing. Loor Loor Efrén Segundo Mgs.

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

Febrero 2026

 Uleam UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **TIPÁN WONG JESSICA GEOVANNA**, legalmente matriculados en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA Y COSTO-BENEFICIO ENTRE MAMPOSTERÍA CONFINADA Y PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO DE UNA VIVIENDA PLURIFAMILIAR DE INTERÉS SOCIAL EN MANTA, ECUADOR."**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.


Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 23 de febrero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Efrén Segundo Loor Loor Mgs.
Docente Tutor(a)
Área: Ingeniería Civil

 Uleam UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **PARRALES POSLIGUA JOSUÉ NATANAEL** legalmente matriculados en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA Y COSTO-BENEFICIO ENTRE MAMPOSTERÍA CONFINADA Y PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO DE UNA VIVIENDA PLURIFAMILIAR DE INTERÉS SOCIAL EN MANTA, ECUADOR."**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 23 de febrero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Eren Segundo Looor Looor Mgs.

Docente Tutor(a)

Área: Ingeniería Civil

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Parrales Posligua Josué Natanael con CC: 131260146-9, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema "**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA Y COSTO-BENEFICIO ENTRE MAMPOSTERÍA CONFINADA Y PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO DE UNA VIVIENDA PLURIFAMILIAR DE INTERÉS SOCIAL EN MANTA, ECUADOR.**", el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Loor Loor Efrén Segundo, Mgs.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 23 días del mes de febrero de dos mil veinte y seis.



Parrales Posligua Josué Natanael

C.C. 131260146-9

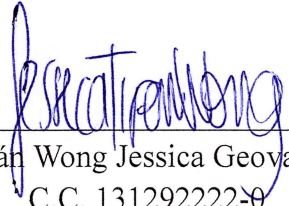
Autor

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Tipán Wong Jessica Geovanna con CC: 131292222-0, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema "**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA Y COSTO-BENEFICIO ENTRE MAMPOSTERÍA CONFINADA Y PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO DE UNA VIVIENDA PLURIFAMILIAR DE INTERÉS SOCIAL EN MANTA, ECUADOR.**", el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Loor Loor Efrén Segundo, Mgs.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 23 días del mes de febrero de dos mil veinte y seis.



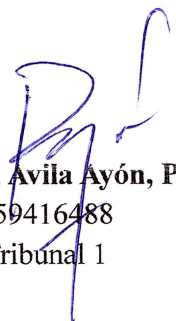
Tipán Wong Jessica Geovanna
C.C. 131292222-0
Autor

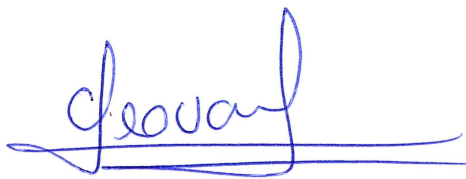
CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de **Proyecto de Investigación**, cuyo tema es “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA SÍSMICA Y COSTO-BENEFICIO ENTRE MAMPOSTERÍA CONFINADA Y PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO DE UNA VIVIENDA PLURIFAMILIAR DE INTERÉS SOCIAL EN MANTA, ECUADOR” de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo APRUEBO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario.
En la ciudad de *Manta*, a los 23 días del mes de febrero de dos mil veinte y seis.


Ing. Verónica Avila Ayón, PhD
C.C. 0959416488
Tribunal 1


Ing. Geovanny Delgado Castro, PhD
C.C. 1308732229
Tribunal 2

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo, en primer lugar, a nuestro amoroso padre Jehová, por darnos la vida, la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestros padres: Jessica Wong, Yino Tipán; Carmen Posligua y Antonio Parrales; por su amor incondicional, por creer en nosotros incluso en los momentos más difíciles y por ser nuestro ejemplo de esfuerzo y responsabilidad.

A nuestra familia y amigos, quienes con su apoyo constante, palabras de aliento y comprensión nos impulsaron a no rendirnos y a seguir adelante hasta alcanzar este logro.

Finalmente, dedicamos este trabajo a todas aquellas personas que, de una u otra manera, dejaron una huella en nuestro camino académico y personal, motivándonos a crecer y superarnos cada día.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, a la carrera de Ingeniería Civil por brindarnos la formación académica necesaria para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Agradecemos de manera especial al aing. Efren Loor por su orientación, acompañamiento, conocimientos y valiosos aportes durante cada etapa del desarrollo de la presente tesis.

Nuestro reconocimiento también se extiende a todos los docentes que formaron parte de nuestra formación académica, quienes con su enseñanza, compromiso y profesionalismo contribuyeron significativamente a nuestro crecimiento profesional.

SÍNTESIS

El presente proyecto investigativo, titulado “Análisis comparativo de la respuesta sísmica y costo–beneficio entre mampostería confinada y pórticos de hormigón armado de una vivienda plurifamiliar de interés social en Manta, Ecuador.”, tuvo como objetivo principal evaluar el desempeño estructural y económico de dos sistemas constructivos en una zona de alta amenaza sísmica. Para ello, se diseñó una vivienda tipo bajo los lineamientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), modelando ambos sistemas en el software ETABS para realizar análisis estático lineal y dinámico espectral, complementado con un análisis de costos detallado.

Los resultados evidenciaron un intercambio entre desempeño y economía: la mampostería confinada mostró un control significativamente superior de desplazamientos y derivas, mientras que los pórticos de hormigón armado presentaron un costo estructural de 12% menor.

Este estudio no solo cuantifica la relación costo-desempeño para sistemas estructurales en vivienda social, sino que también aporta criterios validados para el diseño seguro y eficiente en contextos sísmicos como el de Manta.

Palabras Clave:

Mampostería confinada, pórticos de hormigón armado, desempeño sísmico, análisis costo-beneficio, vivienda social, diseño estructural.

ABSTRACT

This research project, entitled "Comparative analysis of seismic response and cost-benefit between confined masonry and reinforced concrete frames of a multifamily social housing building in Manta, Ecuador", aimed to evaluate the structural and economic behavior of two construction systems in a high seismic hazard zone. For this purpose, a typical housing unit was designed according to the Ecuadorian Construction Standard (NEC-2015), modeling both systems in ETABS software to perform linear static and spectral dynamic analyses, complemented with a detailed cost analysis.

The results revealed a trade-off between performance and economy: confined masonry showed significantly superior control of displacements and drifts, while reinforced concrete frames presented a 12% lower structural cost.

This study not only quantifies the cost-performance relationship for structural systems in social housing but also provides validated criteria for safe and efficient design in seismic contexts such as Manta.

Keywords:

Confined masonry, reinforced concrete frames, seismic performance, cost-benefit analysis, social housing, structural design.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL TUTOR.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	i
SÍNTESIS	ii
ABSTRACT.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema.....	1
Problema general	1
Definición del problema	2
Objetivos	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
Justificación	3
Hipótesis de la investigación	3
Hipótesis General.....	3
Hipótesis Específicas	3

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
Investigaciones previas sobre la implementación de mampostería confinada.....	4
Viviendas de interés social	7
Vivienda unifamiliar	7
Vivienda plurifamiliar	7
Sistema estructural	7
Hormigón armado	8
Resistencia a la compresión “F’c” del hormigón.....	8
Módulo de elasticidad del hormigón “E”	8
Acero de refuerzo	8
Mampostería confinada.....	9
Materiales de la mampostería confinada.....	9
Unidades de mampostería	9
Mortero	10
Mampuestos	11
Resistencia Nominal a la compresión de la mampostería.....	11
Módulo de elasticidad de la mampostería.....	13
Cuantía mínima de mampostería	14
Diseño basado en fuerzas.....	14
Zonificación sísmica y factor Z.	15
Consideración del perfil del suelo para el diseño sismorresistente.....	16

Coeficientes de perfil de suelo	18
Factor de sitio Fa.....	18
Factor de sitio Fd	18
Factor de sitio Fs.....	19
Espectro elástico de diseño	19
Coeficiente de importancia	21
Factor de reducción sísmica.....	22
Relación de amplificación espectral	23
Factor de modificación por configuración en elevación y planta.....	23
Cortante basal de diseño.....	24
Derivas de piso.....	25
Presupuesto	25
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	27
Diseño metodológico	27
Diseño basado en fuerzas.....	27
Modelación estructural.....	28
Alcance	28
Muestra	28
Variables.....	29
CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL	30
Distribución.....	30

Vivienda con estructura de hormigón armado	31
Hormigón	32
Acero de refuerzo	32
Carga viva	33
Carga muerta	33
Espectro de diseño	33
Coeficiente Basal	35
Columnas de hormigón armado	36
Vigas	38
Acero de refuerzo	39
Vivienda con estructura de mampostería confinada	42
Propiedades mecánicas	44
Bloque a utilizar en el modelo	45
Confinamiento	46
Cuantía mínima de mampostería	48
Cuantía de acero en muros de confinamiento	49
Análisis estático lineal	50
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
Comparación Dinámica Global del Sistema Estructural	52
Períodos Fundamentales y Rigidez Global	52
Participación Modal Traslacional de Masa	53

Participación Rotacional y Efectos Torsionales	54
Síntesis del Comportamiento Dinámico Observado	55
Desplazamientos laterales y derivas de piso	55
Desplazamientos laterales máximos	55
Derivas de piso.....	56
Análisis económico comparativo de los sistemas estructurales.....	59
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de peligro sísmico del Ecuador. Fuente: NEC 15	16
Figura 2. Espectro de diseño elástico. Fuente: NEC 15.....	20
Figura 3. Planta baja estructura con mampostería confinada. Fuente: Propia.....	30
Figura 4. Planta baja estructura de hormigón armado. Fuente: Propia.....	31
Figura 5. Diagrama de interacción de columna más desfavorable. Fuente: Propia.....	37
Figura 6. Viga de 20 x 20 cm planteada en la estructura. Fuente: Propia.....	39
Figura 7. Vista en planta de la estructura de mampostería confinada. Fuente: Propia	42
Figura 8. Vista general de la estructura de mampostería confinada. Fuente: Propia	43
Figura 9. Vista frontal de la estructura de Mampostería confinada. Fuente: Propia.....	43
Figura 10. Propiedades de la mampostería. Fuente: Propia.....	44
Figura 11. Propiedades de la mampostería. Fuente: Propia.....	45
Figura 12. Bloque Rojo Rayada 14x30x41. Fuente: (DOLMEN, 2025).....	45
Figura 13. Propiedades de la pared de mampostería. Fuente: Propia.....	46
Figura 14. Columnas del sistema confinado. Fuente: Propia	47
Figura 15. Vigas del sistema confinado 14x20cm. Fuente: Propia.....	47
Figura 16. Vigas del sistema confinado 20x20cm. Fuente: Propia.....	48
Figura 17. Derivas elásticas – Dirección X. Fuente: Propia.....	57
Figura 18. Derivas elásticas – Dirección Y. Fuente: Propia	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos.</i> Fuente: INEN 297:1977	10
Tabla 2. <i>Bloque de hormigón.</i> Fuente: NTE INEN 3066	11
Tabla 3. <i>Dimensiones mínimas de paredes y tabiques, bloques clase A.</i> Fuente: NTE INEN 3066.....	11
Tabla 4. <i>Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla f'm sobre área bruta.</i> Fuente: NTC CDEM	12
Tabla 5. <i>Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla f'm sobre área bruta.</i> Fuente: NTC CDEM	12
Tabla 6. <i>Proporcionamientos en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra.</i> Fuente: NTC CDEM.....	12
Tabla 7. <i>Obtención del módulo de elasticidad.</i> Fuente: NTC CDEM.	13
Tabla 8. <i>Módulo de elasticidad.</i> Fuente: NEC – SE - MP	13
Tabla 9. <i>Factor de zona sísmica.</i> Fuente: NEC 15.....	16
Tabla 10. <i>Perfiles de suelo para la clasificación del sitio de emplazamiento de la edificación.</i> Fuente: NEC 15.....	16
Tabla 11. <i>Factor Fa.</i> Fuente: NEC 15.....	18
Tabla 12. <i>Factor Fd.</i> Fuente: NEC 15.....	18
Tabla 13. <i>Factor Fs.</i> Fuente: NEC 15	19
Tabla 14. <i>Valores de Ct y α para determinar el periodo natural de la estructura.</i> Fuente: NEC 15.....	21
Tabla 15. <i>Factor de importancia.</i> Fuente: NEC 15.....	21

Tabla 16. <i>Coficiente R para sistemas dúctiles.</i> Fuente: NEC 15.....	22
Tabla 17. <i>Amplificación espectral.</i> Fuente: NEC 15.....	23
Tabla 18. <i>Configuración estructural.</i> Fuente: NEC 15.....	24
Tabla 19. <i>Derivas inelásticas máximas.</i> Fuente: NEC SE DS.....	25
Tabla 20. <i>Variables e indicadores.</i> Fuente: Propia.....	29
Tabla 21. <i>Propiedades del hormigón 210 kg/cm².</i> Fuente: NEC 15.....	32
Tabla 22. <i>Propiedades del acero.</i> Fuente: NEC 15 – INEN 2167:2011.....	33
Tabla 23. <i>Cargas de servicio.</i> Fuente: NEC 15.....	33
Tabla 24. <i>Sobrecarga.</i> Fuente: Propia.....	33
Tabla 25. <i>Factores de sitio para un suelo tipo D en zona VI.</i> Fuente: Propia.....	34
Tabla 26. <i>Datos de la curva de interacción de la columna.</i> Fuente: Propia.....	37
Tabla 27. <i>Requisitos mínimos en función del número de pisos de la vivienda con pórticos de hormigón y losas.</i> Fuente: (Ministerio de Habitat y Vivienda , 2016).....	39
Tabla 28. <i>Diseño de acero de refuerzo para las columnas de hormigón armado Planta baja y alta.</i> Fuente: Propia.....	40
Tabla 29. <i>Diseño de acero de refuerzo para las vigas de hormigón armado Planta baja y alta.</i> Fuente: Propia.....	41
Tabla 30. <i>Elementos estructurales del confinamiento.</i> Fuente: Propia.....	46
Tabla 31. <i>Cuantía de mampostería eje X.</i> Fuente: Propia.....	49
Tabla 32. <i>Cuantía de mampostería eje Y.</i> Fuente: Propia.....	49
Tabla 33. <i>Distribución de aceros de refuerzo en confinamientos.</i> Fuente: Propia.....	49

Tabla 34. <i>Sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas.</i> Fuente: NEC 15	50
Tabla 35. <i>Resultados del análisis modal para los primeros modos de vibración.</i> Fuente: Propia	52
Tabla 36. <i>Participación modal acumulada de masa traslacional.</i> Fuente: Propia	53
Tabla 37. <i>Participación rotacional acumulada (RZ).</i> Fuente: Propia	54
Tabla 38. <i>Desplazamientos laterales máximos por nivel.</i> Fuente: Propia.....	56
Tabla 39. <i>Derivas inelásticas máximas de los sistemas estructurales evaluados.</i> Fuente: Propia	58
Tabla 40. <i>Presupuesto referencial de estructura con mampostería confinada.</i> Fuente: Propia	59
Tabla 41. <i>Presupuesto referencial de estructura con pórticos de hormigón armado.</i> Fuente: Propia	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hormigón simple en columna. Fuente: Propia	67
Anexo 2. Acero de refuerzo. Fuente: Propia	69
Anexo 3. Hormigón simple en losas planas de entrepiso. Fuente: Propia.....	71
Anexo 4. Hormigón simple en vigas para losa alivianada. Fuente: Propia	74
Anexo 5. Mampostería con bloque de 10cm Mortero 1:3 e=2cm. Fuente: Propia.....	76
Anexo 6. Mampostería con bloque de 14cm Mortero 1:3 e=2cm. Fuente: Propia.....	79
Anexo 7. Cantidades de acero y hormigón en columnas HA. Fuente: Propia	82
Anexo 8. Cantidades de acero y hormigón en vigas HA. Fuente: Propia	84
Anexo 9. Cantidades de acero y hormigón en columnas confinadas. Fuente: Propia.....	87
Anexo 10. Cantidades de acero y hormigón en vigas confinadas. Fuente: Propia.....	91

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Manta se encuentra en una región de elevada sismicidad debido a la interacción de las placas tectónicas Nazca y Sudamericana, lo que genera una amenaza constante para sus estructuras. Esta vulnerabilidad quedó dramáticamente demostrada durante el terremoto de abril de 2016, evento que reveló graves deficiencias en gran parte del patrimonio construido, con consecuencias tanto humanas como materiales. Dicha situación subraya la necesidad de optimizar los sistemas estructurales para garantizar la seguridad de las edificaciones, en particular de las viviendas de interés social.

En este contexto, dos técnicas constructivas son ampliamente utilizadas: la mampostería confinada, valorada por su economía y practicidad, donde los muros de bloques son reforzados con elementos de concreto; y los pórticos de hormigón armado, reconocidos por su mayor ductilidad y capacidad para absorber deformaciones. Aunque la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) admite ambos sistemas, persiste un debate técnico sobre cuál ofrece el equilibrio óptimo entre seguridad, costo y eficacia para la vivienda social en un entorno de alto riesgo sísmico como Manta.

Para abordar esta problemática, la presente investigación se organiza en cuatro capítulos principales. El Capítulo I establece los fundamentos teóricos relacionados con el comportamiento sísmico de los sistemas estudiados y la normativa aplicable. El Capítulo II establece la metodología de la investigación. El capítulo III detalla el diseño estructural de la vivienda prototipo y los modelos de análisis mediante software especializado. El Capítulo IV presenta los resultados comparativos de desempeño sísmico y el análisis de costos de ambas alternativas. Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis integral realizado.

Planteamiento del problema

Problema general

El sistema estructural de la mampostería confinada en relación al sistema de pórticos de hormigón armado es poco comprendido en relación eficacia, costo y seguridad.

Definición del problema

La construcción de viviendas plurifamiliares de interés social representa un desafío en contextos de limitaciones económicas. Esta situación genera una tensión entre la necesidad de optimizar los recursos disponibles y el deber técnico y ético de garantizar la seguridad estructural y la integridad de los ocupantes ante eventos sísmicos severos, como aquellos establecidos para un periodo de retorno de 475 años en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15).

Dicha disyuntiva se materializa de manera concreta en la selección del sistema estructural más adecuado. En la práctica, dos metodologías son recurrentemente consideradas: la mampostería estructural confinada y los pórticos de hormigón armado. Sin embargo, persiste una incertidumbre técnica significativa respecto a cuál de estas alternativas constituye la solución más equilibrada y eficaz, al conjugar de manera óptima la viabilidad económica con un desempeño sísmico confiable en entornos de alta vulnerabilidad como la ciudad de Manta.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el desempeño sísmico y el costo estructural de sistemas de mampostería confinada y pórticos de hormigón armado aplicados a una vivienda plurifamiliar de interés social en Manta.

Objetivos específicos

- Caracterizar el comportamiento sísmico de los sistemas de mampostería confinada y pórticos de hormigón armado mediante análisis estático lineal y dinámico lineal.
- Comparar la respuesta estructural de ambos sistemas en términos de períodos de vibración, desplazamientos laterales y derivas de piso.
- Cuantificar la diferencia económica entre ambos sistemas a partir de los costos de los elementos estructurales.

Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de abordar la incertidumbre técnica que existe en el entorno local sobre la eficiencia real de dos sistemas estructurales ampliamente utilizados en la construcción de viviendas plurifamiliares de baja altura en Ecuador: la mampostería confinada y los pórticos de hormigón armado. Si bien la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) contempla ambos sistemas, no existe, para el contexto específico de la ciudad de Manta y su perfil de suelo predominante, un estudio comparativo que evalúe de manera integral y cuantitativa su respuesta sísmica esperada y su costo-beneficio asociado para un mismo prototipo de vivienda de interés social.

Hipótesis de la investigación

Hipótesis General

El sistema de mampostería confinada presenta una mejor relación costo-beneficio para viviendas plurifamiliares de interés social en Manta, Ecuador, al demostrar un costo significativamente menor en comparación con el sistema de pórticos de hormigón armado.

Hipótesis Específicas

El análisis dinámico lineal evidencia períodos de vibración menores en la estructura de mampostería confinada en comparación con el sistema de pórticos de hormigón armado.

Las derivas de piso obtenidas mediante análisis estático lineal son menores en el sistema de mampostería confinada que en el sistema de pórticos de hormigón armado.

El sistema de pórticos de hormigón armado presenta un mayor costo estructural que el sistema de mampostería confinada para la edificación analizada.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Investigaciones previas sobre la implementación de mampostería confinada.

En la investigación de (Alejandro, 2024) determina que el factor de reducción de fuerzas sísmicas R para estructuras de mampostería confinada de dos pisos puede reducirse de $R = 3$ a $R = 2.13$, dando a lugar una optimización de secciones estructurales que compensan las demandas incrementadas sin afectar el desempeño sísmico generando un posible ahorro en la construcción de la estructura.

Actualmente, la norma de mampostería vigente en México se utiliza como inspiración para el diseño de estructuras de mampostería confinada en el Ecuador.

Los ensayos experimentales llevados a cabo a nivel internacional indican que el comportamiento de muros esbeltos de mampostería puede llegar a ser dúctil, y tener asociado altas capacidades de deformación lateral y disipación de energía. La construcción de edificios de mampostería de gran altura será posible en la medida que se desarrollen en México mamposterías de alta resistencia y se planteen sistemas estructurales que promuevan el comportamiento a flexión de los muros. Dentro de este contexto, la normativa actual debe modificar y/o esclarecer las hipótesis con que se analizan y diseñan las estructuras de mampostería. De particular importancia para el diseño de edificios altos de mampostería resultan la revisión de los requerimientos normativos relativos a las distorsiones de entrepiso, y el conservadurismo implícito en el uso del método optativo para la determinación del diagrama de interacción flexión-carga axial de un muro de mampostería. (Cazarín, Gilmore, Cuevas, & Perilliat, 2014)

Alcocer, Melo, Sánchez y Flores explican sobre el comportamiento sísmico de la mampostería confinada revela una interpretación que, si bien se fundamenta en datos experimentales, debe ser contextualizada y examinada a la luz de criterios de diseño modernos y objetivos de desempeño estructural más integrales.

Los ciclos de comportamiento histerético fueron estables hasta distorsiones de 0.006, el cual es un valor bajo comparado con el característico de estructuras de concreto reforzado detalladas adecuadamente. Para este nivel de desplazamientos, la zona reforzada con estribos a baja separación tuvo un desempeño aceptable. Estas

características de la respuesta observada de estructuras de mampostería confinada, llevan a concluir que no se justifican reducciones importantes en las ordenadas espectrales elásticas. (Alcocer, Meli, Sánchez, & Flores, 1994)

El planteamiento de Bartolomé & Quiun (2004) sobre la respuesta sísmica de edificaciones de mampostería presenta la sugerencia de admitir un mecanismo de falla frágil, como el corte, como parte del desempeño esperado de la estructura, contrasta con el paradigma sísmico moderno que busca promover, de manera inequívoca, fallas dúctiles. La ductilidad, asociada a la flexión, proporciona una capacidad de deformación y disipación de energía que advierte del colapso inminente. En cambio, la falla por corte suele ser súbita y catastrófica, sin etapas previas de aviso. Confiar en que las columnas de confinamiento actuarán como un sistema de respaldo tras el colapso del muro supone una reserva de capacidad que podría verse comprometida si la degradación por corte es rápida y generalizada. El análisis cobra mayor solidez en la valoración del papel de las vigas de conexión o dinteles. Aquí, los autores describen un mecanismo de diseño eficaz y alineado con la ingeniería sísmica. Al diseñar estos elementos para que disipen energía antes que los muros, se establece una jerarquía de resistencia deseable.

La falla por corte que se desarrolla en las edificaciones de mediana altura estructurada con muchos muros, debe tomarse con naturalidad. Su efecto no es negativo siempre y cuando se adopten precauciones para limitar los desplazamientos laterales inelásticos, proporcionando una adecuada densidad de muros y diseñando a las columnas de confinamiento como última línea resistente. (Bartolomé & Quiun., 2004)

Una manera de producir la falla por flexión es mediante la inclusión de refuerzo horizontal importante. Sin embargo, la forma que tienen los ladrillos peruanos, sin canales que permitan alojar a las varillas horizontales, hacen que como máximo se pueda utilizar varillas de diámetro $\frac{1}{4}$ embutidas en las juntas de mortero; de emplearse varillas de mayor diámetro, el grosor de las juntas horizontales se incrementaría, lo que disminuiría significativamente la resistencia al agrietamiento diagonal. Cabe resaltar que los experimentos hechos en muros donde se duplicó la cuantía nominal de refuerzo horizontal especificada en este proyecto (0.001), proporcionaron un incremento de la

ductilidad al decrecer el deterioro de la albañilería, pero sólo incrementaron la resistencia máxima en 10%. (Bartolomé & Quiun., 2004)

Las vigas que conectan coplanarmente a los muros juegan un papel importante, si es que se las diseña para que disipen energía sísmica antes que se agrieten diagonalmente los muros. Cuando estas vigas tienen un peralte razonable, rigidizan a los muros retardando su falla por corte; asimismo, disminuyen el momento flector en la base, lo que trae consigo: un incremento de la resistencia al corte al disminuir los efectos de esbeltez, una reducción en el tamaño de la cimentación, una disminución del refuerzo vertical a colocar en las columnas de confinamiento, y una reducción del aplastamiento en las columnas extremas. Además, estas vigas limitan el giro por flexión de los muros, con lo cual, la posibilidad de una falla por punzonamiento de la losa de techo, causada por la rotación del muro, decrece. (Bartolomé & Quiun., 2004)

El estudio realizado por (Castilla & Gomez, 2024) constituye un análisis técnico-económico comparativo entre sistemas estructurales, los investigadores procedieron a la elaboración de precios unitarios actualizados, consultando publicaciones especializadas del sector de la construcción para garantizar la precisión de los insumos materiales. A partir de estos datos, el cálculo de los costos directos reveló una diferencia significativa: el sistema de muros de concreto reforzado presentó un sobrecosto del 11% en relación con la alternativa de mampostería confinada.

Castilla y Gómez contextualizan sus hallazgos dentro del corpus investigativo existente, observando una concordancia con estudios previos que respaldan la eficiencia económica de la mampostería. En concreto, citan el trabajo de (Rodríguez & Vergara, 2020) quienes cuantificaron un ahorro del 19% al comparar la mampostería confinada con sistemas de entramado ligero de acero (steel framing), destacando sus ventajas en la fase de prefactibilidad. Los autores precisan que en su propio análisis los precios unitarios manejados fueron inferiores a los de la referencia citada, lo que podría indicar una mayor optimización en su cotización local.

Viviendas de interés social.

El artículo 85 de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo indica lo siguiente:

“La vivienda de interés social es la vivienda adecuada y digna destinada a los grupos de atención prioritaria y a la población en situación de pobreza o vulnerabilidad, en especial la que pertenece a los pueblos indígenas, afro ecuatorianos y montubios.” (LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DE, 2016)

Dentro del contexto de la construcción, las viviendas de interés social se dividen en dos grupos; Vivienda Unifamiliar y Vivienda Plurifamiliar.

Vivienda unifamiliar

“Una vivienda unifamiliar es una edificación diseñada para albergar a una sola familia. Estas viviendas suelen ser independientes y no comparten paredes ni espacios comunes con otras residencias. Pueden presentarse en diversas formas, como casas aisladas, adosadas o pareadas.” (Ros, 2024)

Vivienda plurifamiliar

Según la arquitecta María Ros menciona que,

Las viviendas plurifamiliares se refieren a estructuras que albergan a múltiples unidades de vivienda, lo que incluye apartamentos, condominios y edificios de apartamentos. Este tipo de vivienda es ideal para áreas urbanas densamente pobladas donde el espacio es limitado y la demanda de viviendas es alta. La arquitectura de la vivienda colectiva está enfocada en la optimización del espacio y la creación de un ambiente donde varias familias puedan vivir cómodamente y en comunidad (Ros, 2024).

Sistema estructural

Un sistema estructural funciona es el esqueleto de una construcción. Está compuesta por un conjunto de elementos sólidos, interconectados cuya función es garantizar la estabilidad, resistencia y durabilidad de la obra. El objetivo es transmitir y disipar la energía ocasionada

por las cargas que actúan sobre la edificación, estas cargas pueden ser de ocasionadas por el peso propio de la estructura, el peso de los ocupantes, y fuerzas externas como los sismos.

Hormigón armado

El hormigón armado se erige como uno de los materiales de construcción más polivalentes y de mayor uso en la ingeniería contemporánea. Esta relevancia se debe a la acción complementaria de sus elementos constitutivos: la masa de cemento, que presenta alta resistencia a fuerzas compresivas, y las barras de acero embebidas, especializadas en soportar los esfuerzos de tensión y flexión. "El comportamiento del hormigón armado se fundamenta en la compatibilidad de deformaciones entre ambos materiales, donde el acero compensa la frágil naturaleza del hormigón ante cargas de tensión". (MacGregor, 2015)

En cambio, en el hormigón, el autor Náutica explica que es "un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante (en la mayoría de las ocasiones cemento, al que se añade partículas o fragmentos de un agregado (áridos, como grava, gravilla y arena) agua (hidratación) y aditivos específicos" (Náutica, 2015).

Resistencia a la compresión "F'c" del hormigón

La (NEC, 2015), indica que el valor mínimo del hormigón estructural es de $f'c=210$ kgf/cm².

Módulo de elasticidad del hormigón "E"

El ACI 318s 19 indica que, para calcular el módulo de elasticidad, se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = 15100 \times \sqrt{f'c}$$

Acero de refuerzo

En el ámbito de la construcción con concreto reforzado, se debe utilizar aceros de refuerzo que presenten características de adherencia mejoradas y que se ajusten a las especificaciones técnicas definidas en la normativa INEN. En el Ecuador, estos elementos

estructurales se comercializan en dimensiones estandarizadas de 6, 9 y 12 metros de largo, tal como se detalla en la tabla 1.

Las propiedades mecánicas de estas barras corresponden a una calidad Grado 60, con un límite de fluencia especificado de $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$. La resistencia última a tracción alcanza un valor de $F_u = 6300 \text{ kgf/cm}^2$, lo que equivale a 1.5 veces su esfuerzo de fluencia. El material presenta un coeficiente de Poisson de 0.30, mientras que su módulo de elasticidad longitudinal tiene un valor característico de $E_s = 2,000,000 \text{ kgf/cm}^2$.

Mampostería confinada

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. Bien implementada, supone un proceso constructivo secuencial: primero, los paneles de mampostería, y posteriormente los elementos de confinamiento de Hormigón Armado, HA. En Ecuador, junto con la tipología de marco de HA relleno de mampostería, constituyen las dos tipologías más populares para edificaciones de baja altura (John Quinde, Juan Pacheco, Y Erika Ortega, 2023).

Materiales de la mampostería confinada

Unidades de mampostería

“Las unidades de mampostería se clasifican en dos tipos principales: sólidas/macizas y huecas/perforadas, y se subclasifican según su material (v.g. arcilla, hormigón) o su tipo de fabricación (artesanal o industrial).” (John Quinde, Juan Pacheco, Y Erika Ortega, 2023).

En el caso de Ecuador, la NEC especifica el tipo de unidades permitidas y sus resistencias mínimas a compresión, pero no establece los requerimientos geométricos para las unidades huecas, de acuerdo al mercado nacional. La mayoría de normas exigen que las unidades huecas portantes tengan un área neta mínima del 40% al 50% del área bruta de la unidad, permitiéndose únicamente las unidades con perforaciones verticales (John Quinde, Juan Pacheco, Y Erika Ortega, 2023).

Tabla 1. Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos. Fuente: INEN 297:1977

Tipo de ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa*		Resistencia mínima a la flexión MPa*	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
macizo tipo A	25	20	4	16
macizo tipo B	16	14	3	18
macizo tipo C	8	6	2	25
hueco tipo D	6	5	4	16
hueco tipo E	4	4	3	18
hueco tipo F	3	3	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295	INEN 296

Mortero

“Es conocido que la resistencia a compresión de la mampostería ($f'm$) depende de la resistencia a compresión del mortero ($f'j$) y del espesor de la junta horizontal.” (John Quinde, Juan Pacheco, Y Erika Ortega, 2023)

Los autores también detallan que la resistencia mínima permitida del mortero debe ser de 2.5 MPa, pero que recomiendan que el valor debe ser entre 5 a 7.5 MPa para morteros de pega usados en mampostería estructural.

Según el autor (Tomažević & Klemenc, 1998) El panel de mampostería, está compuesta por los mampuestos y pegados con mortero, es la parte del panel de mampostería confinada que contribuye a resistir las cargas ocasionadas por las fuerzas sísmicas.

Mampuestos

“Está elaborado por cemento hidráulico, agua, áridos finos y gruesos, con o sin aditivos, su forma es paralelepípedo con o sin huecos.” (Yanez, 2022)

Tabla 2. *Bloque de hormigón.* Fuente: NTE INEN 3066

Bloques de hormigón de acuerdo con su uso	
Clase	Uso
A	Mampostería estructural
B	Mampostería no estructural
C	Aliviamiento en losas

Tabla 3. *Dimensiones mínimas de paredes y tabiques, bloques clase A.* Fuente: NTE INEN 3066

Ancho modular del bloque (mm)	Espesores mínimos de paredes y tabiques (mm)		Área mínima normalizada de tabiques (mm²/m²)
	Paredes	Tabiques	
≤ 100	19	19	45 140
101 a 150	25	19	45 140
> 150	32	9	45 140

Resistencia Nominal a la compresión de la mampostería

La resistencia característica a compresión de la mampostería confinada, identificada en la normativa como "f_m", constituye el parámetro de referencia empleado en los métodos de cálculo y dimensionamiento de estructuras de mampostería, de acuerdo con lo establecido en la reglamentación técnica vigente.

La norma Mexicanada (NTC CDEM, 2023) sugiere la siguiente tabla para la resistencia a la compresión f'_m.

Tabla 4. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla $f'm$ sobre área bruta. Fuente: NTC CDEM

$f'p$ MPa	$f'm$ MPa	
	MORTERO 1	MORTERO 2
6	2	2
7.5	3	3
10	4	4
15	6	6
20	8	7
≥ 30	12	9

Tabla 5. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla $f'm$ sobre área bruta. Fuente: NTC CDEM

$f'p$ MPa	$f'm$ MPa	
	MORTERO 1	MORTERO 2
6	2.5	2
7.5	4	3.5
10	5	4.5
15	7.5	6
≥ 20	10	9

Para los tipos de mortero, la norma establece lo siguiente:

Tabla 6. Proporciones en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra. Fuente: NTC CDEM.

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena
I	1	-	0 a $\frac{1}{4}$	3
	1	$\frac{1}{2}$	-	$4 \frac{1}{2}$
II	1	-	0 a $\frac{1}{2}$	$4 \frac{1}{2}$

Módulo de elasticidad de la mampostería

Para determinar la resistencia de diseño a compresión de la mampostería, se necesita el módulo de elasticidad que se obtiene con la siguiente tabla.

Tabla 7. *Obtención del módulo de elasticidad.* Fuente: NTC CDEM.

Definición	Ecuación
Para cargas de corta duración, bloques de concreto.	$E_m = 800f'm$
Para cargas sostenidas, bloques de concreto.	$E_m = 350f'm$
Para cargas de corta duración, bloques de arcilla.	$E_m = 600f'm$
Para cargas sostenidas, bloques de arcilla.	$E_m = 350f'm$

Para obtener el módulo de cortante de la mampostería, se considerará la siguiente ecuación.

$$G_m = 0.2E_m$$

En cambio, la NEC – SE – MP utiliza la siguiente ecuación:

$$G_m = 0.4E_m$$

La NEC – SE – MP establece ciertas ecuaciones para calcular el módulo de elasticidad según el material de la pieza.

Tabla 8. *Módulo de elasticidad.* Fuente: NEC – SE - MP

Módulo de elasticidad según NEC – SE -MP		
Pieza	Para cargas de corta duración	Para cargas sostenidas
Concreto	$E_m = 800f'm$	$E_m = 350f'm$
Arcilla	$E_m = 600f'm$	$E_m = 350f'm$

Cuantía mínima de mampostería

Para garantizar la estabilidad y capacidad resistente de una estructura de mampostería reforzada, es imprescindible disponer de una densidad mínima de muros portantes en cada dirección principal del edificio. La normativa vigente NEC especifica que esta cuantía, expresada como el porcentaje del área total de muros respecto al área en planta del piso ($d\%$), debe ser igual o superior al 1.5% en ambas direcciones ortogonales.

$$d\% = \frac{A_w}{A_p}$$

Donde:

A_w = Sumatoria de las secciones transversales de los muros confinados en la dirección de interés.

A_p = Área total en planta de la vivienda.

Diseño basado en fuerzas

De acuerdo con lo establecido en la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014) , el análisis estructural de las edificaciones debe realizarse mediante procedimientos de cálculo estático lineal o pseudo dinámico como requisito fundamental. Esta disposición aplica de manera general, con la única excepción de aquellas estructuras que demuestren condiciones de regularidad geométrica y mecánica. Dentro de este marco regulatorio, el Diseño Basado en Fuerzas (DBF) conserva su carácter obligatorio para todos los proyectos, mientras que el Diseño Basado en Desplazamientos (DBD) emerge como una metodología adicional que se enfoca específicamente en la gestión de las deformaciones laterales.

El DBF, enfoque predominante en la reglamentación sísmica contemporánea, incorpora diversas simplificaciones que afectan su exactitud en aplicaciones reales. Una limitación significativa consiste en la implementación de coeficientes de reducción de resistencia (R) predefinidos para cada sistema estructural, lo cual supone tácitamente que todas las construcciones dentro de una misma clasificación presentan niveles equivalentes de ductilidad y resistencia adicional. Esta premisa resulta particularmente cuestionable al omitir dos parámetros determinantes que influyen decisivamente en el comportamiento sísmico: la

frecuencia natural de vibración de la estructura y las propiedades dinámicas del terreno de cimentación.

En la modelación estructural se deben considerar ciertos criterios en base a la NEC 15. Los autores (López y Molina, 2023) detallan en base a la normativa lo siguiente:

De acuerdo con los requisitos establecidos en la normativa vigente, la evaluación de rigidez y el cálculo de las distorsiones máximas deben basarse en valores de inercia que representen fielmente las condiciones de los elementos estructurales bajo solicitaciones de servicio. En el caso específico de las estructuras de concreto armado, se aplican coeficientes de modificación diferenciados: para los elementos horizontales se considera el 50% de la inercia bruta de la sección ($0.5I_g$), factor que incluye la contribución de la losa cuando funciona como sección en T. Por otro lado, los elementos verticales se modelan con una reducción menos severa, empleando el 80% de su inercia bruta ($0.8I_g$), lo cual refleja su distinto mecanismo de fisuración y su mayor capacidad para mantener rigidez ante la presencia de cargas axiales.

Zonificación sísmica y factor Z.

De acuerdo con lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014), la delimitación de las zonas sísmicas para fines de diseño estructural se fundamenta en un análisis de amenaza sísmica que considera una probabilidad de excedencia del 10% en un lapso de 50 años, lo que equivale a un período de retorno de 475 años. Dicho análisis incorpora un valor límite de saturación de 0.50g para las aceleraciones sísmicas en base rocosa, particularmente en la región costera del Ecuador.

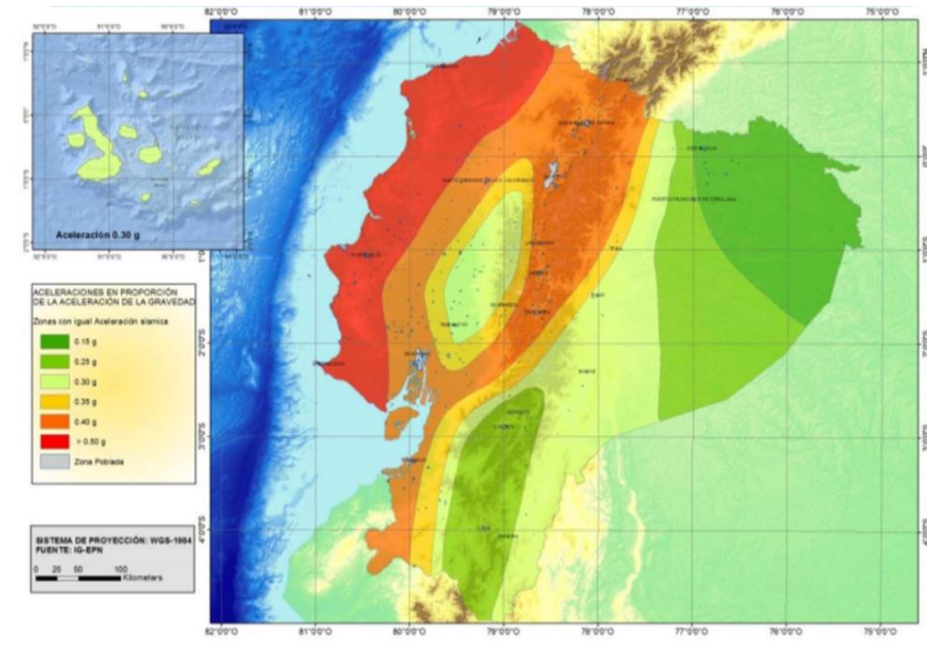


Figura 1. Mapa de peligro sísmico del Ecuador. **Fuente:** NEC 15

Para su mayor entendimiento, la normativa establece la siguiente tabla.

Tabla 9. Factor de zona sísmica. Fuente: NEC 15

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	>0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Consideración del perfil del suelo para el diseño sismorresistente

La NEC 15 establece una clasificación de suelos según sus perfiles y definiciones.

Tabla 10. Perfiles de suelo para la clasificación del sitio de emplazamiento de la edificación. Fuente: NEC 15.

Suelo	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente.	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media.	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s

- C Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante. $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
- Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios. $N \geq 50.0$
 $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
- D Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante. $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
- Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones. $50 > N \geq 15.0$
 $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
- E Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante. $V_s < 180 \text{ m/s}$
- Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas. $IP > 20$
 $w \geq 40\%$
 $S_u < 50 \text{ kPa}$
- F Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:
- F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.
- F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3\text{m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).
- F3—Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5 \text{ m}$ con índice de Plasticidad $IP > 75$).
- F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 30\text{m}$).
- F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.
- F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.
-

Coefficientes de perfil de suelo

Factor de sitio Fa

“Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio” (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)

Tabla 11. *Factor Fa.* Fuente: NEC 15

Tipo de perfil de subsuelo	Factor Z					
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.40	1.30	1.25	1.23	1.20	1.18
D	1.60	1.40	1.30	1.25	1.20	1.12
E	1.80	1.40	1.25	1.10	1.00	0.85

Factor de sitio Fd

“Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio” (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)

Tabla 12. *Factor Fd.* Fuente: NEC 15

Tipo de perfil de subsuelo	Factor Z					
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.10	1.75	1.70	1.65	1.60	1.50

Factor de sitio F_s

“Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos”. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)

Tabla 13. Factor F_s . Fuente: NEC 15

Tipo de perfil de subsuelo	Factor Z					
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00

Espectro elástico de diseño

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014), en su apartado 3.3.1, especifica las características del espectro de respuesta elástico de aceleraciones (S_a), definido como fracción de la gravedad para el sismo de diseño. Esta herramienta de diseño se determina considerando el factor de zona sísmica (z), la clasificación del suelo de cimentación y los coeficientes de amplificación F_a , F_d y F_s , parámetros que se ilustran en la figura 2 para el caso específico del edificio en estudio. Cabe mencionar que el espectro elástico de diseño funciona con una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%.

Según (Sánchez, 2022), los espectros sísmicos de diseño representan envolventes parametrizadas que cuantifican las aceleraciones máximas esperadas en un sitio, derivadas de eventos sísmicos significativos. Estas curvas se generan mediante análisis de peligro sísmico que incorporan relaciones de atenuación de movimientos telúricos y consideran la respuesta dinámica de las estructuras en función de sus propiedades de masa, rigidez y amortiguamiento. La curva espectral obtenida constituye la base para determinar las fuerzas sísmicas de diseño que se emplearán tanto en el análisis como en el dimensionamiento estructural.

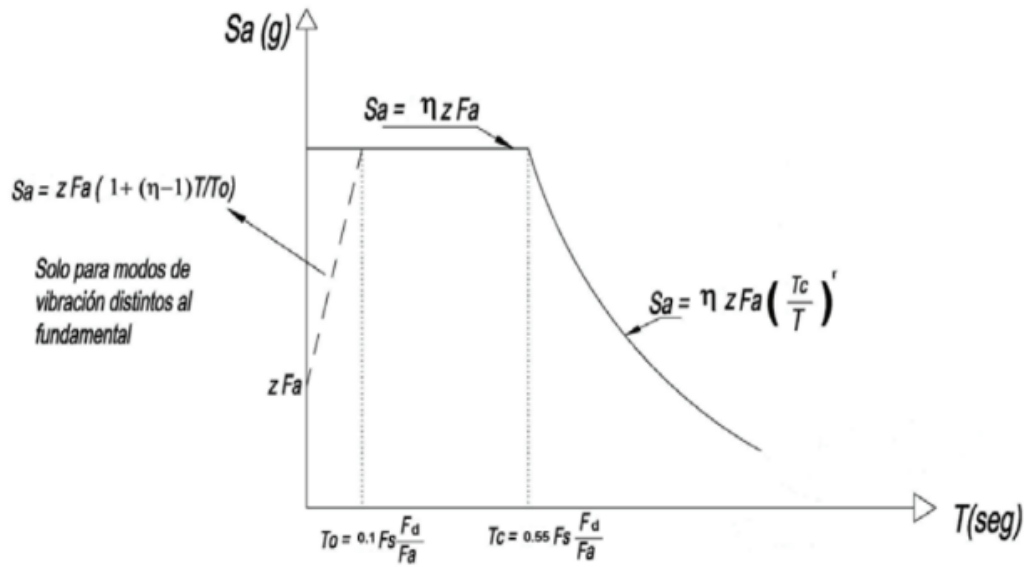


Figura 2. Espectro de diseño elástico. **Fuente:** NEC 15

La NEC 15 especifica la simbología de la siguiente forma:

F_a = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

F_d = Coeficiente de amplificación de suelo.

F_s = Coeficiente de amplificación de suelo en el comportamiento no lineal.

S_a = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones. Depende del período o modo de vibración de la estructura. $0 \leq T \leq T_c = S_a = \eta Z F_a$ pero si $T > T_c = S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$

T = Período fundamental de vibración.

T_0 = Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones.

T_c = Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones.

z = Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño.

η = Razón entre la aceleración espectral en $T=0.1s$ y el PGA para el período de retorno seleccionado.

Para el periodo fundamental de vibración se utiliza las siguientes consideraciones. Cabe mencionar que el valor obtenido por el método 1 no debe exceder en un 30% del método 2.

Tabla 14. Valores de C_t y α para determinar el periodo natural de la estructura. Fuente: NEC 15

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.80
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.90
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basada en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Coefficiente de importancia

De acuerdo con lo estipulado en la normativa ecuatoriana, el factor de importancia (I) tiene como finalidad incrementar los requisitos sísmicos de diseño para aquellas estructuras que, debido a su función estratégica o relevancia social, deben mantener su operatividad y presentar un nivel de daño reducido durante y después de un evento sísmico de intensidad considerada en el proyecto (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

Tabla 15. Factor de importancia. Fuente: NEC 15

Categoría		Coefficiente
		I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas	1.3

	personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1

Factor de reducción sísmica

La NEC – SE – DS en la sección 6.3.2d especifica lo siguiente:

Tabla 16. Coeficiente R para sistemas dúctiles. Fuente: NEC 15

Sistemas estructurales dúctiles	R
Sistemas duales	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8

Otros sistemas estructurales para edificaciones

Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Relación de amplificación espectral

Esta relación depende de la región del Ecuador en donde se encuentre la construcción.

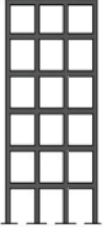
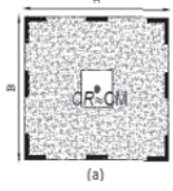
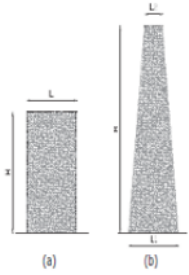
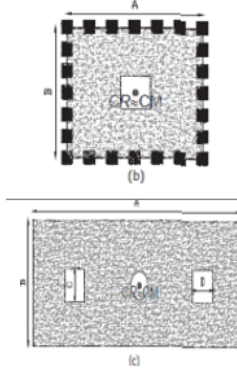
Tabla 17. *Amplificación espectral.* Fuente: NEC 15

Región	Relación de amplificación espectral (η)
Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)	1.80
Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos	2.48
Provincias del Oriente	2.60

Factor de modificación por configuración en elevación y planta.

Los coeficientes de modificación estructural incrementan la resistencia a cortante considerada en el proyecto, con el objetivo de dotar a la estructura de una capacidad adicional. Sin embargo, esta medida no garantiza por sí sola un comportamiento sísmico adecuado de la construcción.

Tabla 18. Configuración estructural. Fuente: NEC 15

Configuración en elevación $\phi_{Ei} = 1$	Configuración en elevación $\phi_{Pi} = 1$
<p>La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas <u>aporticados</u>, es constante en todos los niveles. $\phi_{Ei} = 1$</p> 	<p>La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al Centro. $\phi_{Pi} = 1$</p> 
<p>La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional. $\phi_{Ei} = 1$</p> 	

Cortante basal de diseño.

Una vez obtenido los datos especificados por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, se procede a calcular la fuerza total de diseño por cargas laterales, que son aplicadas desde la base de la estructura, debido a la acción del sismo de diseño.

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E} W$$

$S_a(T_a)$ = Espectro de diseño en aceleración;

ϕ_p y ϕ_E = Coeficientes de configuración en planta y elevación;

I = Coeficiente de importancia;

R = Factor de reducción de resistencia sísmica; y

V = Cortante basal total de diseño.

Derivas de piso

Se entiende por deriva de piso elástica al desplazamiento lateral relativo que experimenta un nivel de una estructura cuando ésta responde dentro de su rango lineal, es decir, cuando todos sus materiales se mantienen por debajo de su límite de fluencia y la estructura es capaz de recuperar su posición original al retirar las cargas.

La deriva de piso inelástica representa el desplazamiento lateral relativo máximo esperado cuando la estructura ingresa de manera controlada en su fase no lineal, y se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E$$

Tabla 19. Derivas inelásticas máximas. Fuente: NEC SE DS

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Presupuesto

“Es la determinación del precio unitario de una actividad o partida (estructura de costos) a ejecutar en una obra, o cuando el constructor la estudia para preparar su proposición al momento de concursar o licitar un proyecto determinado” (Villegas, Análisis de Precios Unirtarios, 2015).

El desarrollo de un presupuesto de obra requiere la definición precisa de las unidades de medida (como metros, metros cuadrados, metros cúbicos, kilogramos-fuerza, piezas o puntos) y el establecimiento de precios unitarios para cada actividad. Dichos precios no solo deben incorporar el costo directo de materiales, equipos y mano de obra, sino también una serie de factores económicos y contractuales adicionales, tales como los porcentajes de administración y utilidad, el impuesto al valor agregado (IVA), los costos de financiamiento y los bonos aplicables, considerando las condiciones particulares en las que se ejecutará el proyecto.

Los costos directos es el apartado donde se consideran los materiales, equipos y mano de obra necesarios para la elaboración de un proceso productivo.

Los materiales de construcción representan el conjunto de recursos fundamentales requeridos para la ejecución de cualquier partida o actividad dentro de un proyecto, abarcando tanto los insumos que se consumen durante el proceso constructivo como los elementos que pasan a formar parte integral de la obra terminada. Por su parte, los equipos se definen como los instrumentos, maquinarias, herramientas menores y dispositivos de protección personal que son necesarios para realizar las tareas específicas programadas en la obra.

La mano de obra representa todo el personal involucrado dentro de la ejecución de la partida (no se incluye al personal técnico) es decir: obreros, albañiles, plomeros, electricistas, chóferes, ayudantes, entre otros), en este ítem se debe desglosar los siguientes datos: descripción, cantidad, jornal, subtotal y total. (Villegas, Análisis de Precios Unirtarios, 2015)

De acuerdo con (Villegas, Análisis de Precios Unirtarios, 2015), los costos indirectos de una construcción se definen como el valor agregado que se suma a los costos directos. Estos no se originan de forma evidente en la ejecución física de las partidas, sino que son necesarios para evaluar y sostener los dos ejes principales de la gestión del proyecto: la administración general de la obra (que incluye los honorarios del personal técnico de oficina, gastos de papelería y otros conceptos administrativos) y la administración de campo (que abarca el pago del personal técnico en sitio, su transporte, suministros como agua y hielo, servicios sanitarios móviles y otros gastos logísticos), además de incorporar el margen de utilidad del contratista.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

Diseño metodológico

El desarrollo metodológico de esta investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo que integra técnicas experimentales, métodos de aproximación sucesiva y procedimientos analíticos. La implementación de esta metodología comprende las siguientes etapas secuenciales:

Inicialmente, se desarrollará un modelo matemático representativo de una edificación multifamiliar de concreto armado, cumpliendo con los requisitos mínimos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y el estándar ACI 318-19. Este modelo constituirá la referencia base para el análisis comparativo posterior.

En una fase subsiguiente, manteniendo idénticas condiciones arquitectónicas y distribución espacial, se generará un modelo estructural alternativo utilizando el sistema de mampostería confinada. Para este modelo se aplicarán los parámetros técnicos definidos en el marco teórico, observando las disposiciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción complementadas con las especificaciones de la normativa mexicana previamente referenciada en el estudio.

La etapa de análisis comparativo evaluará sistemáticamente ambos sistemas estructurales en términos de capacidad de ductilidad, eficiencia en disipación de energía sísmica y costos asociados a la construcción. Esta evaluación multidimensional permitirá establecer, en la fase final, el sistema estructural óptimo para construcciones de interés social, mediante la ponderación equilibrada entre los criterios de seguridad estructural y viabilidad económica.

Diseño basado en fuerzas

Esta investigación estará basada en el diseño basado en fuerzas como lo estipula la NEC 15.

Según (López & Ayala, 2013), la metodología de Diseño Sísmico Basado en Fuerzas (DBF) utiliza procedimientos de análisis lineal para determinar las sollicitaciones mecánicas en los

elementos estructurales. Este enfoque se fundamenta en la aplicación de fuerzas obtenidas de espectros de diseño elástico, las cuales son modificadas mediante coeficientes de reducción que incorporan la capacidad de disipación de energía de la estructura a través de comportamiento inelástico durante sismos severos, permitiendo daños localizados en componentes específicos.

Modelación estructural

De acuerdo con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014), la elaboración del modelo matemático estructural representa una etapa fundamental del proceso de diseño que debe incorporar integralmente todos los componentes del sistema resistente, incluyendo la distribución tridimensional de sus propiedades de masa y rigidez. Para la determinación de la rigidez lateral y el cálculo de las distorsiones máximas entre pisos, la normativa indica la utilización de valores de inercia que consideren el estado fisurado de los elementos. En el caso particular de estructuras de concreto armado, se establecen coeficientes de reducción diferenciados: las vigas deben modelarse con el 50% de la inercia bruta de la sección ($0.5I_g$), incorporando la participación de la losa en configuración de viga T cuando corresponda, mientras que para las columnas se aplica una reducción menor equivalente al 80% de su inercia bruta ($0.8I_g$).

Las consideraciones de peligro sísmico, y todas sus componentes especificadas en el marco teórico de la investigación, son fundamentales para llevar un diseño estructural eficiente cumpliendo con las exigencias mínimas de las normas locales e internacionales.

Alcance

El estudio tiene un alcance explicativo, debido a que busca evaluar la mejor configuración estructural para las viviendas de interés social, dejando una oportunidad de conocer el sistema más eficiente en relación a seguridad y costos de construcción.

Muestra

La muestra se basa en un tipo no probabilístico, de dos modelos estructurales ubicados en Manta, Ecuador. Esta selección fundamenta en los siguientes criterios: Altura, configuración estructural, zona sísmica alta con tipo de suelo D. Los datos a analizar son los resultados de las

derivadas elásticas e inelásticas, periodos fundamentales, modos de vibración y costos de construcción mediante el análisis de precios unitarios.

Variables

La variable independiente consta de la configuración estructural establecida y la variable dependiente sería la relación costo – beneficio de los sistemas estructurales analizados.

Tabla 20. *Variables e indicadores.* Fuente: Propia

Variable	Tipo	Indicadores	Instrumento de Medición
Rigidez Lateral	Cuantitativa	Desplazamiento máximo, periodo fundamental, derivadas.	Software ETABS
Costos de construcción	Cuantitativa	Volumen de hormigón/acero, metros cuadrados de mampostería.	Presupuesto unitario (Análisis de precios)

CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

Los modelos estructurales comparten la misma zonificación de espacios, lo que se diferencia es la configuración estructural. Los parámetros de diseño como las cargas de servicio y características del suelo permanecen igual para ambos modelos, esto con el fin de establecer un punto de comparación con el fin investigativo del presente proyecto.

Distribución

La distribución de la vivienda consta de una estructura compartida para dos familias, cada familia tiene acceso a 2 pisos y consta con sala, comedor, cuartos y baños repartidos en un espacio de 30.8m² por piso.

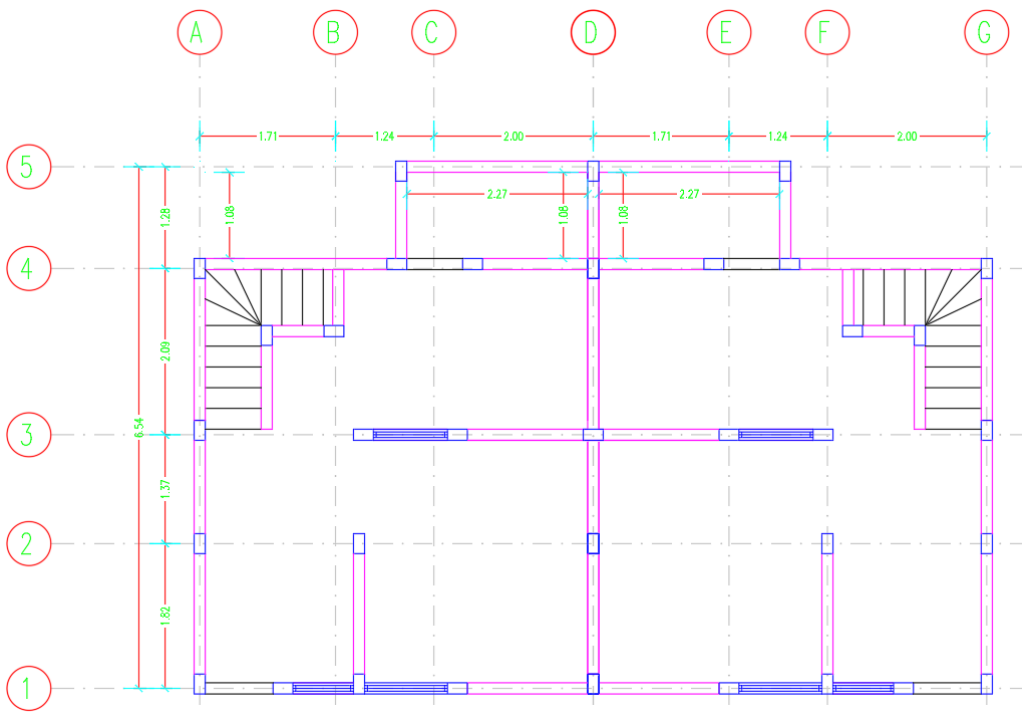


Figura 3. Planta baja estructura con mampostería confinada. **Fuente:** Propia

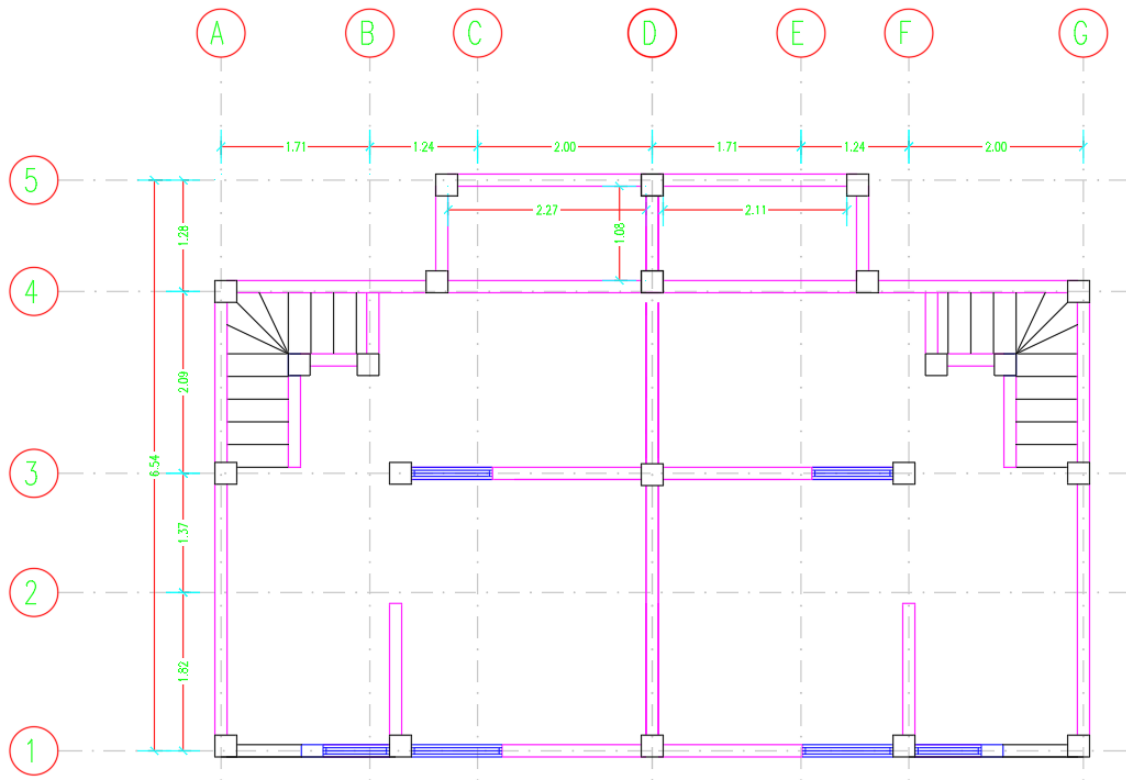
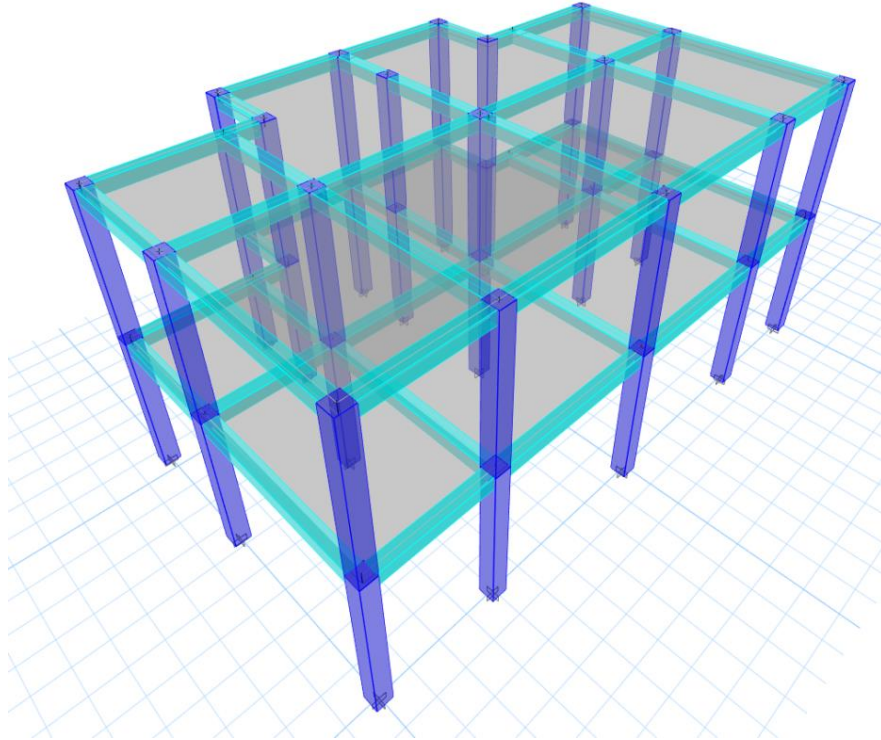


Figura 4. Planta baja estructura de hormigón armado. **Fuente:** Propia

Vivienda con estructura de hormigón armado

El modelo con configuración de hormigón armado se basa en pórticos de hormigón armado con parámetros de diseño del ACI 318-19 y NEC 15. Consta de una configuración en planta y elevación regular con una extensión de 6.54 metros de largo y 9.88 de ancho.



Hormigón

El hormigón es el material noble que se considera para esta configuración estructural, la resistencia de diseño es alcanzada a los 28 días de la fundición en condiciones idealizadas con un correcto curado. En el modelo de hormigón armado se considera un hormigón con resistencia a la compresión $f'c$ de 210 kg/cm² a los 28 días.

Tabla 21. *Propiedades del hormigón 210 kg/cm².* Fuente: NEC 15

Propiedades del hormigón		
Resistencia a la compresión ($f'c$)	21	MPa
Módulo de elasticidad (E_c)	$4,7\sqrt{f'c}$	MPa

Acero de refuerzo

Las propiedades mecánicas del acero de refuerzo respetan la norma INEN que se encarga de establecer un punto base de calidad, al igual que la NEC 15, el acero de refuerzo se caracteriza por tener las siguientes propiedades:

Tabla 22. *Propiedades del acero.* Fuente: NEC 15 – INEN 2167:2011

Propiedades del acero		
Resistencia a la fluencia (fy)	420	MPa
Módulo de elasticidad (Es)	200000	MPa
Resistencia última a tracción	630	MPa

Carga viva

Las solicitaciones por uso incorporadas en este modelo matemático se determinaron según las exigencias funcionales de la estructura, tomando como referencia los valores y criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15).

Tabla 23. *Cargas de servicio.* Fuente: NEC 15

Carga viga	Valor (tonf/m2)
Cubierta inaccesible	0,07
Vivienda plurifamiliar	0,2

Carga muerta

Las solicitaciones permanentes consideradas en este análisis incluyen el peso propio de todos los elementos estructurales y los acabados arquitectónicos, calculados conforme a los pesos volumétricos y espesores especificados en la normativa aplicable.

Tabla 24. *Sobrecarga.* Fuente: Propia

Carga muerta	Valor (tonf/m2)
Acabados	0,2
Elementos estructurales	0,4

Especto de diseño

Para el diseño sismorresistente se considera un suelo tipo D en zona de alta sismicidad VI.

Tabla 25. Factores de sitio para un suelo tipo D en zona VI. Fuente: Propia

Descripción	Valor
Factor Fa	1.12
Factor Fd	1.11
Factor Fs	1.40
Factor Z	0.5
Relación aceleración espectral y el PGA	1.8
Factor r	1

Factor R

El factor de reducción de resistencia sísmica ofrece un factor de seguridad importante a la estructura, este valor lo establece la NEC – SE – DS.

R = 8 “Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.”

Coefficiente de importancia

Se establece un factor de 1 según la clasificación de la NEC 15.

Coefficiente de irregularidades en planta y elevación

Se considera regular la estructura.

Periodo natural de vibración mediante método 1

La NEC – SE – DS establece para la clasificación de la estructura que se debe utilizar los siguientes datos:

$$C_t = 0.055$$

$$\alpha = 0.9$$

Siendo:

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

$$T = 0.055 * 2.85 * 2^{0.9} = 0.263 \text{ s}$$

Periodos límites de vibración

El cálculo de los periodos límites de vibración se consideran los factos del perfil de suelo.

$$T_0 = 0,1 F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.139$$

$$T_C = 0,55 F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.763$$

Aceleración espectral

La aceleración espectral es una herramienta para caracterizar la respuesta máxima de un sistema cuando se somete a un movimiento sísmico específico.

$$S_a = \eta * z * f_a$$

$$S_a = 1.8 * 0.5 * 1.12 = 1.008g$$

Coficiente Basal

Con los datos recopiladores, se calcula el coeficiente basal quedando de la siguiente forma:

$$\frac{V}{W} = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_E}$$

$S_a(T_a)$ = Espectro de diseño en aceleración.

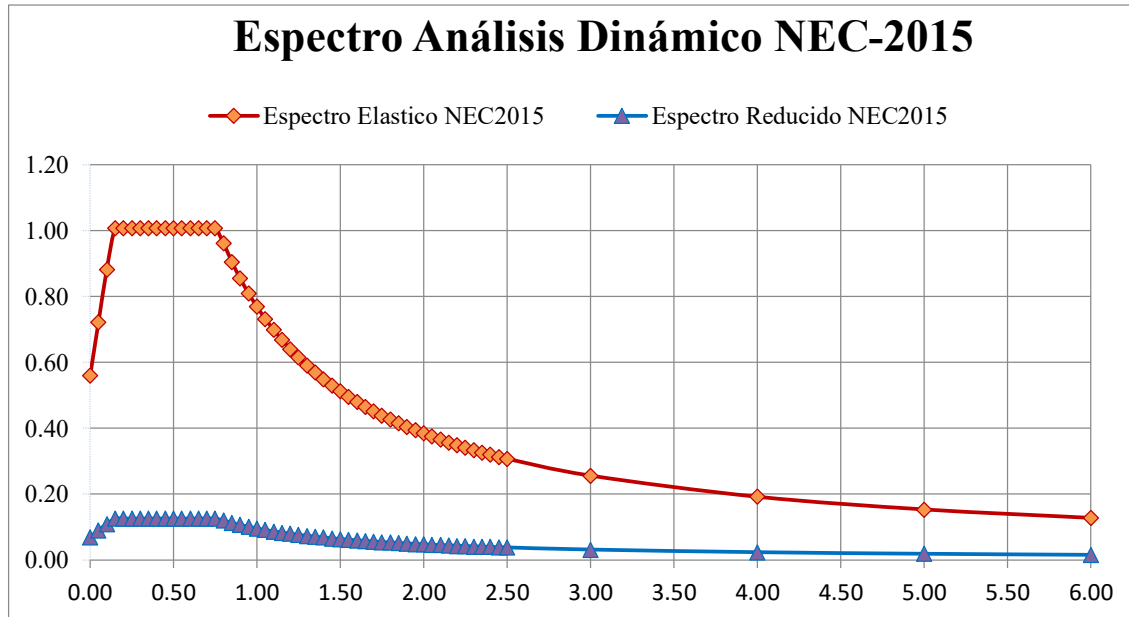
$\phi_p \phi_E$ = Coeficientes de configuración en planta y elevación.

I = Coeficiente de importancia.

R = Factor de reducción de resistencia sísmica.

$\frac{V}{W}$ = Relación del cortante basal total de diseño y la carga sísmica reactiva.

$$\frac{V}{W} = 0.126$$



Columnas de hormigón armado

Las columnas son componentes verticales fundamentales cuya función principal consiste en soportar las cargas gravitacionales y laterales de la estructura, transfiriéndolas posteriormente hacia las cimentaciones. Su clasificación responde a criterios formales, composición material, geometría de la sección y posición.

Para las cuantías de las columnas se considera la NEC -SE – HM sobre el 1% del área gruesa hasta el 3%.

Para el cálculo de la sección, se considera la carga última de las columnas siguiendo la ecuación del ACI 318s 19 en el capítulo 22.

$$P_0 = 0.85f'c(Ag - As) + Fy * As$$

Como en este caso en específico, se trata de una vivienda se aplica la norma NEC – SE – VIVIENDA que en su tabla 5 establece que las dimensiones mínimas de las columnas

entre luces de 4.0 m a 2.5 m pueden ser de 25 x 25 cm para el piso 1 y para el piso número 2 de 20 x 20 cm con una cuantía de 1% y estribos de 8mm cada 10 cm. Se utiliza una dimensión mínima de 25 x 25 cm en ambas plantas. En la figura 5 y la tabla 25 se observa el comportamiento local de la columna más desfavorable, esto obtenido mediante el output de ETABS.

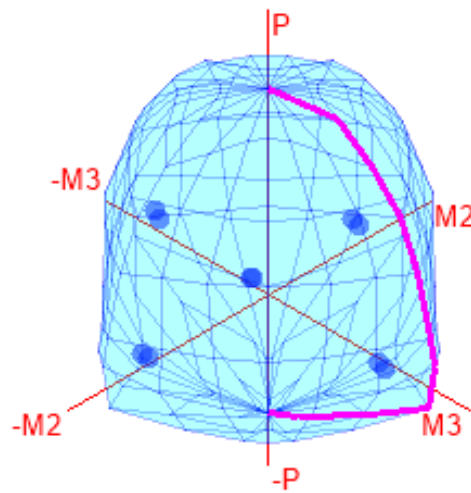


Figura 5. Diagrama de interacción de columna más desfavorable. **Fuente:** Propia

Tabla 26. Datos de la curva de interacción de la columna. Fuente: Propia

Punto	P tonf	M2 tonf-m	M3 tonf-m
1	92,2179	0	0
2	92,2179	0	1,7089
3	80,5816	0	2,5638
4	65,9205	0	3,2762
5	47,0007	0	3,75
6	21,8581	0	4,1216
7	10,2662	0	4,3092
8	-9,8098	0	4,217
9	-30,3301	0	2,7446
10	-53,9781	0	0,9034
11	-61,8174	0	0

Vigas

Para el diseño de las vigas, se tomó como referencia el escenario más conservador estipulado en la normativa, identificado como "Con un extremo continuo". Este criterio está reglamentado en la tabla 9.3.1.1 del código ACI 318-14, que define la altura mínima del elemento mediante la relación:

$$h = \frac{luz}{18.5}$$

Con el fin de incorporar un margen de seguridad adicional, a la altura mínima calculada se le incrementó un 30%. Asimismo, la dimensión de la base o ancho de la viga se fijó con un valor no inferior al 70% del ancho de la columna a la cual se conecta.

Estas disposiciones se complementan con los requisitos de la NEC-SE-HM (Sección de Hormigón Estructural), que en su numeral 4.2.1 establece dos condiciones adicionales:

La luz libre del tramo debe ser mayor a cuatro veces la altura efectiva de la sección transversal de la viga.

El ancho mínimo permitido (b) debe ser de 250 mm.

Adicionalmente como en las columnas, se considera el criterio de la NEC – SE – HM y de la NEC – SE – VIVIENDA, el cual esta última establece que las vigas para luces entre 4 a 2.5 metros pueden tener como dimensión mínima 20 x 20 cm que hace referencia a una “viga banda”.

“Pórticos donde se adopten secciones de vigas y columnas con dimensiones menores que las mínimas especificadas en la NEC – SE -HM, pueden usarse para vivienda de hasta 2 pisos, siempre y cuando satisfagan un diseño estructural donde las fuerzas sísmicas hayan sido calculadas con el coeficiente de reducción R señalado.” (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)

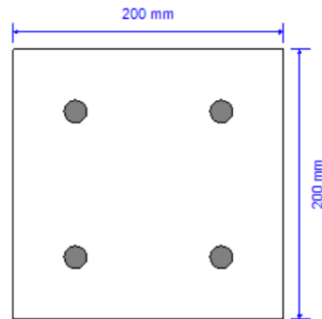


Figura 6. Viga de 20 x 20 cm planteada en la estructura. **Fuente:** Propia.

Acero de refuerzo

Para determinar el armado del acero de refuerzo, se utiliza la tabla 3 de la guía de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros del ministerio de hábitat y vivienda.

Tabla 27. Requisitos mínimos en función del número de pisos de la vivienda con pórticos de hormigón y losas. Fuente: (Ministerio de Habitat y Vivienda , 2016)

Número de pisos de la vivienda	Elemento	Luz máxima (m)	Altura total de entepiso máxima (m)	Sección mínima base x altura (cm x cm)	Cuantía longitudinal mínima de acero laminado en caliente	Refuerzo de acero lamiado transversal mínimo (estribos)
1	Columnas	4	2,5	20x20	1%	Diámetro 8mm @ 10 cm
	Vigas			15x20	14/fy sup. 14/fy inf.	Diámetro 8 mm @ 5 cm en L/4 (extremos) y 10 cm (centro)
2	Columnas	4	2,5	Piso 1: 25x25	1%	

	Piso 2:		Diámetro
	20x20		8mm @ 10 cm
Vigas	20x20	14/fy sup.	Diámetro 8 mm @ 5 cm en L/4 (extremos) y 10 cm (centro)
		14/fy inf.	

Por ende, siguiendo las recomendaciones del MIDUVI, el acero de refuerzo de la estructura conformada por pórticos quedaría de la siguiente forma.

Para el diseño de los elementos verticales de hormigón armado, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 28. *Diseño de acero de refuerzo para las columnas de hormigón armado Planta baja y alta.*
Fuente: Propia

Parámetro	Valor	Comentario
Sección transversal	25×25 cm	Base × Altura
Área bruta de hormigón (Ag)	625 cm ²	25 cm × 25 cm = 625 cm ²
Acero longitudinal	8 barras φ12 mm	Distribución: 4 esquinas + 4 puntos medios de lados
Área de acero total (As)	9.048 cm ²	8 × 1.131 cm ² = 9.048 cm ²
Cuantía	1.45%	$\rho = 9.048/625$ = 0.01448 (1.448%)
Estribos	φ8 mm cada 10 cm	En toda la altura de la columna
Forma de estribos	Rectangular cerrado	Con ganchos sísmicos a 135°
Recubrimiento	4 cm al eje del estribo	Distancia cara concretera al centro del estribo
Distancia cara a centro barra	4.4 cm	Recubrimiento 4 cm + radio estribo 0.4 cm

Separación entre barras en misma cara	16.2 cm centro a centro	$25 \text{ cm} - 2 \times 4.4 \text{ cm} = 16.2 \text{ cm}$
Separación libre entre barras	15.0 cm	$16.2 \text{ cm} - 1.2 \text{ cm} (\varphi 12) = 15.0 \text{ cm}$
Lado interno del estribo	17.8 cm	$25 \text{ cm} - 2 \times (4 - 0.4) = 25 - 7.2 = 17.8 \text{ cm}$
Longitud estribo (al eje)	68 cm	Perímetro: $4 \times 17 \text{ cm} = 68 \text{ cm}$
Capacidad axial nominal (estimada)	135 ton	$P_n = 0.85 f'_c \cdot A_g + f_y \cdot A_s$

Para los elementos estructurales horizontales de hormigón armado, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 29. *Diseño de acero de refuerzo para las vigas de hormigón armado Planta baja y alta.*
Fuente: Propia

Parámetro	Valor/Diseño	Cálculo/Comentario
Sección	20×20 cm	Base × Altura
Peralte efectivo (d)	14.6 cm	$d = h - rec - \varphi_{estribo} - \varphi_{long}/2$
Área de referencia	290 cm ²	$b \times d = 20 \times 14.5 = 290 \text{ cm}^2$
Cuantía mínima NEC	0.33% (0.957 cm ²)	$\rho_{min} \times b \times d$
Cuantía máxima NEC	0.99% (2.871 cm ²)	$\rho_{max} \times b \times d$
Acero inferior (tracción)	2 barras $\varphi 12 \text{ mm}$	$A_s = 2.262 \text{ cm}^2 (\rho = 0.78\%)$
Acero superior (compresión)	2 barras $\varphi 12 \text{ mm}$	$A_s = 2.262 \text{ cm}^2 (\rho = 0.78\%)$
Separación barras	11.2 cm centro a centro	$20 \text{ cm} - 2 \times 4.4 \text{ cm} = 11.2 \text{ cm}$
Recubrimiento	4 cm al eje del estribo	Distancia cara concretera al centro del estribo

Vivienda con estructura de mampostería confinada

El diseño y análisis para la estructura de mampostería confinada se basó en las normativas NEC – SE – VIVIENDA, NEC – SE – MP y NTC CDEM.

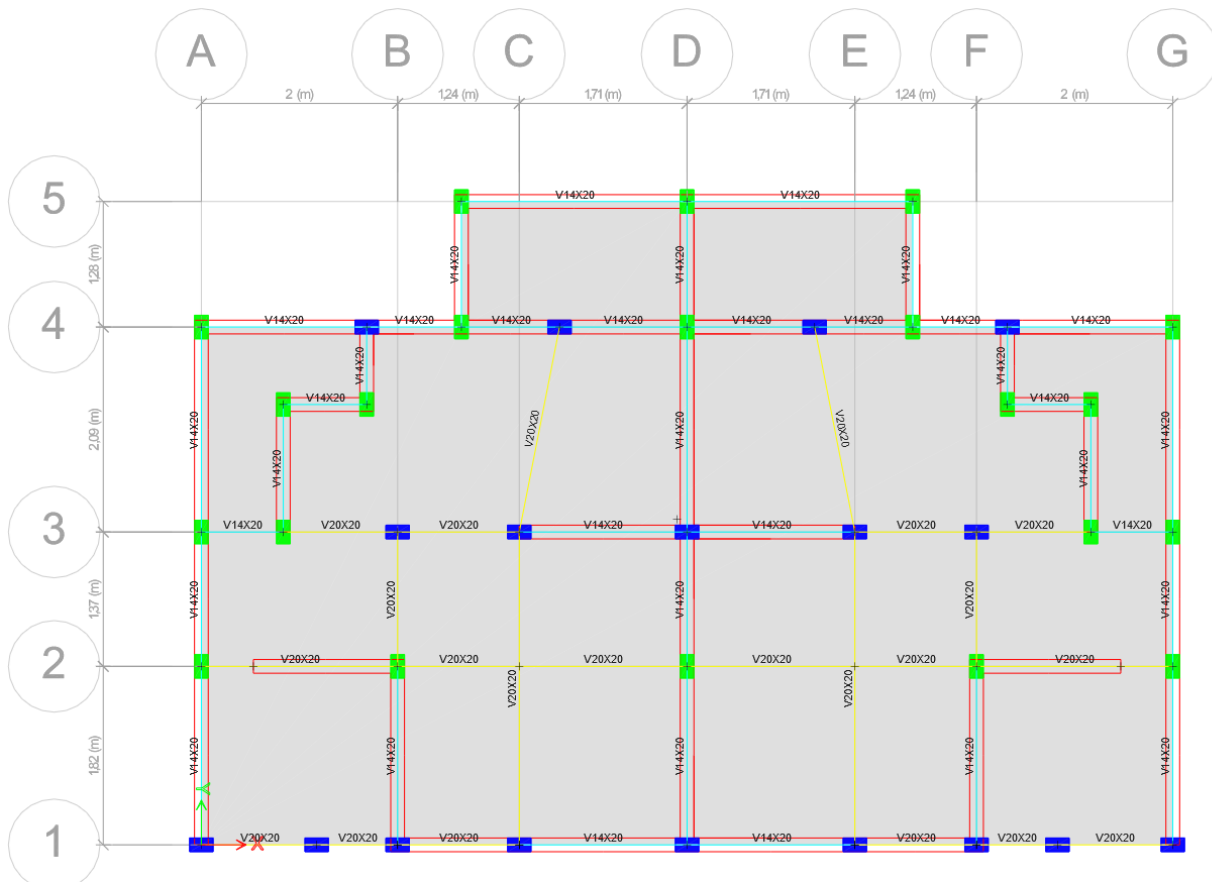


Figura 7. Vista en planta de la estructura de mampostería confinada. **Fuente:** Propia

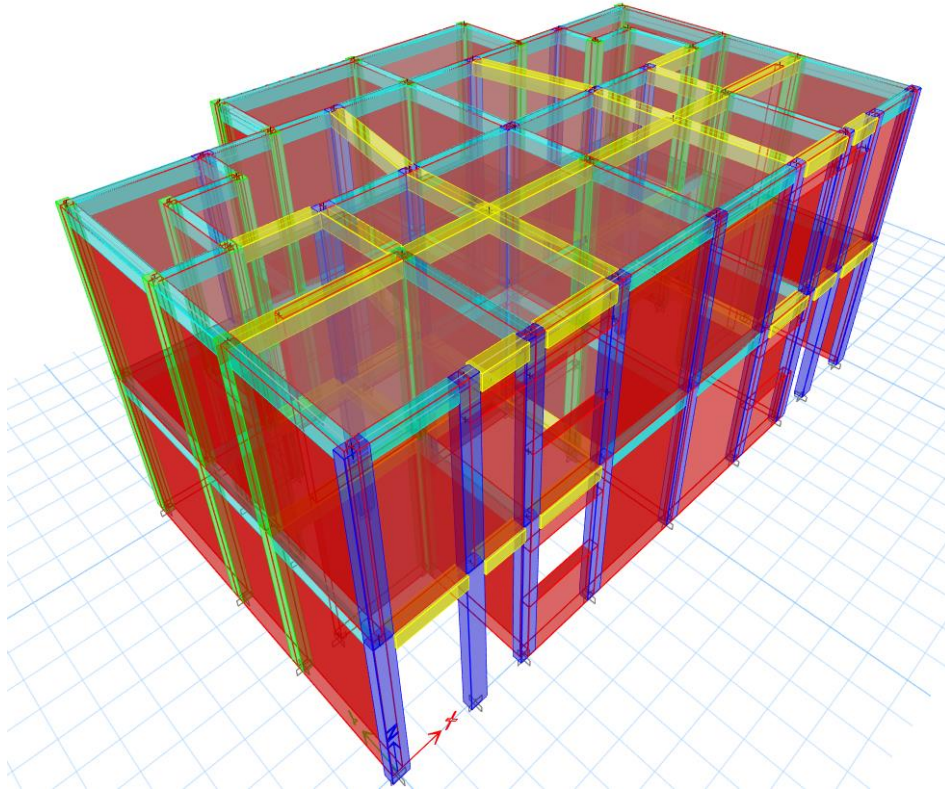


Figura 8. Vista general de la estructura de mampostería confinada. **Fuente:** Propia

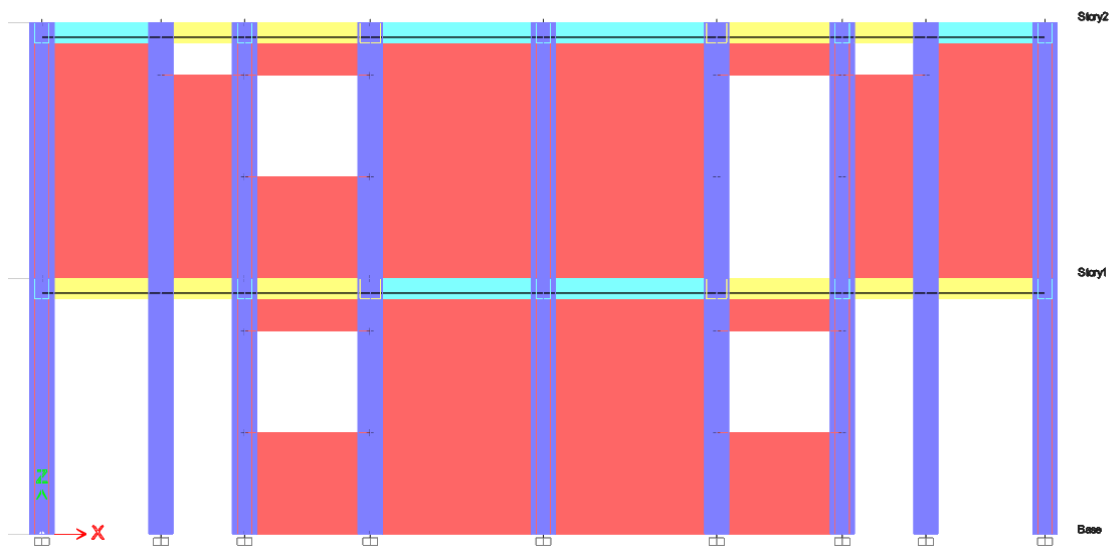


Figura 9. Vista frontal de la estructura de Mampostería confinada. **Fuente:** Propia

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de la estructura son las siguientes:

Propiedades mecánicas y espesor de la mampostería		
Resistencia a la compresión ($f'c$)	21	MPa
Módulo de elasticidad (E_c)	$4,7\sqrt{f'c}$	MPa
Resistencia a la compresión de la mampostería ($F'm$)	45	Kg/cm ²
Espesor efectivo de la mampostería	14	cm

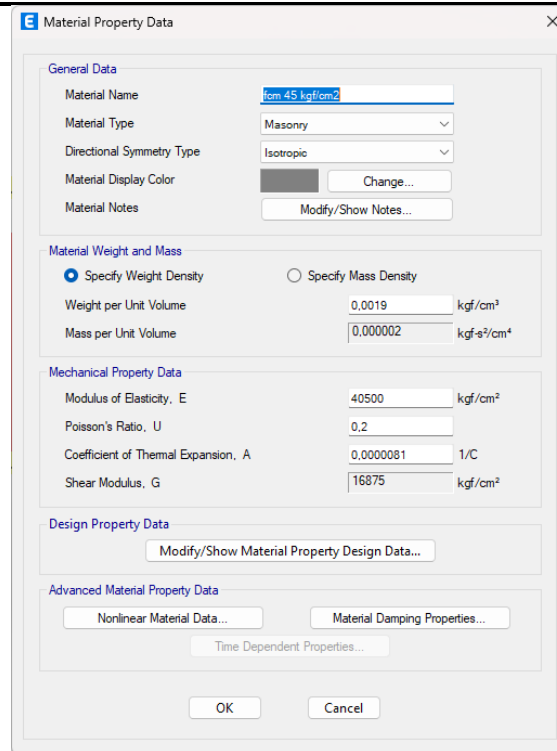


Figura 10. Propiedades de la mampostería. Fuente: Propia

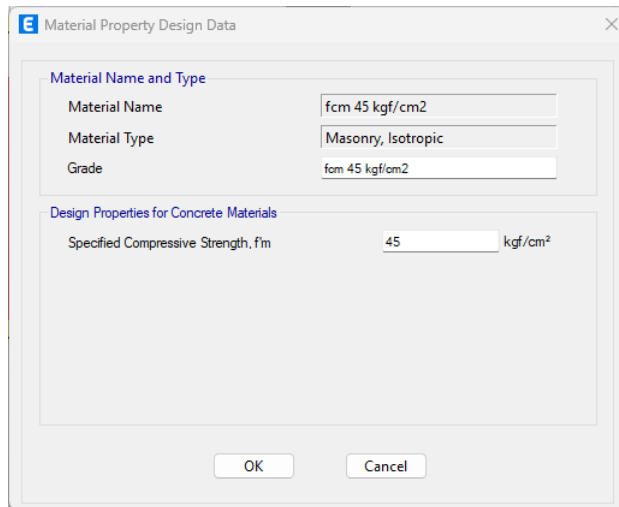


Figura 11. Propiedades de la mampostería. **Fuente:** Propia

Bloque a utilizar en el modelo

Se considera un bloque de arcilla cocinada a 1020°C con medidas de 14x30x41cm.



Figura 12. Bloque Rojo Rayada 14x30x41. **Fuente:** (DOLMEN, 2025)

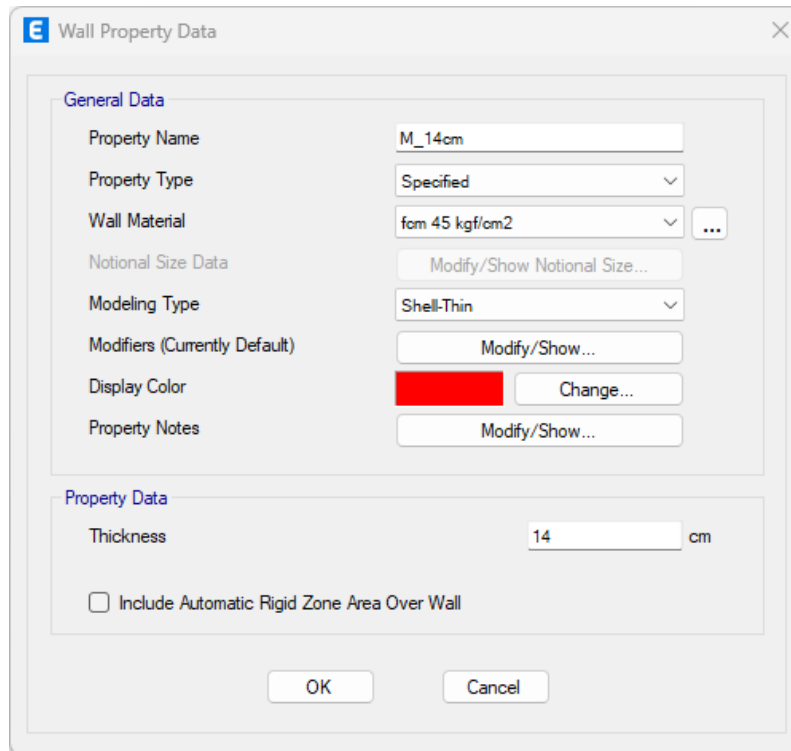


Figura 13. Propiedades de la pared de mampostería. **Fuente:** Propia

Confinamiento

Los elementos de confinamiento son elementos de hormigón armado perdidos en la pared, a excepción de ciertas vigas que se sigue un criterio diferente para así asegurar la ductilidad del sistema.

Tabla 30. Elementos estructurales del confinamiento. Fuente: Propia

Descripción	Criterio	Dimensión
Columnas	Soporta cargas verticales y confina el muro a sus laterales.	14x24cm
Vigas tipo 1	Confinan la parte superior de la mampostería	14x20cm
Vigas tipo 2	Confinan el muro de mampostería presenta luces y aberturas.	20x20cm

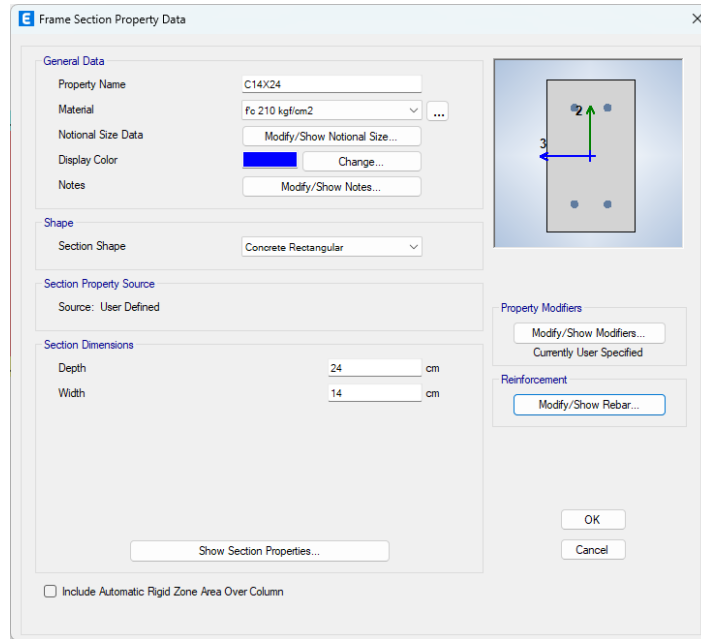


Figura 14. Columnas del sistema confinado. Fuente: Propia

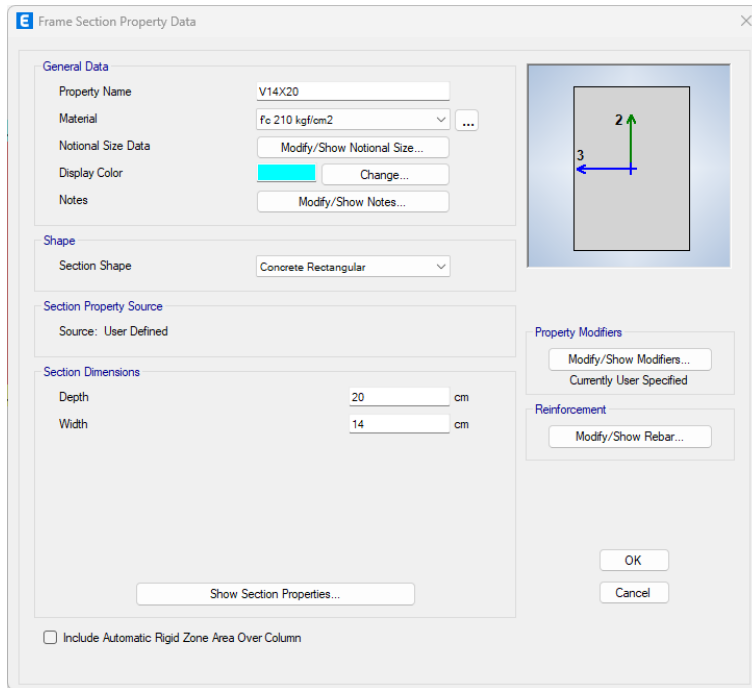


Figura 15. Vigas del sistema confinado 14x20cm. Fuente: Propia

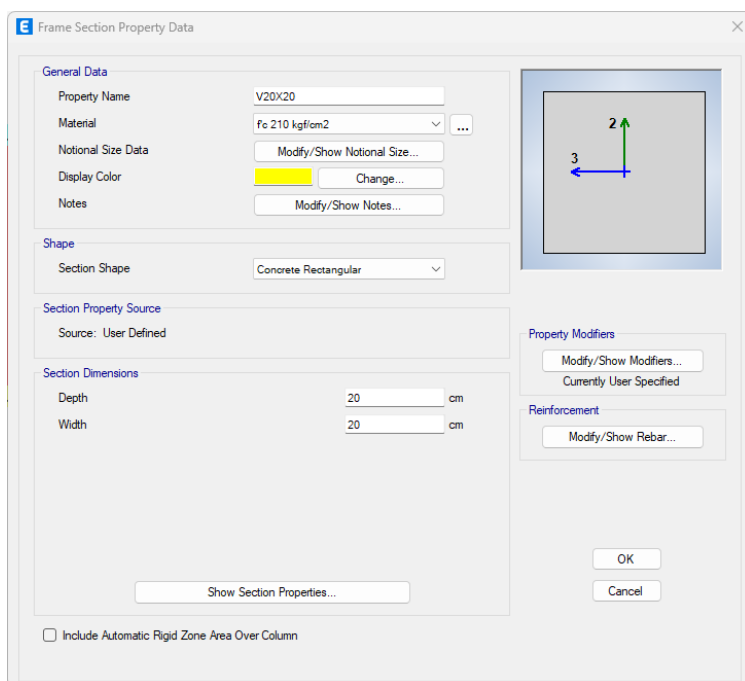


Figura 16. Vigas del sistema confinado 20x20cm. **Fuente:** Propia

Cuantía mínima de mampostería

“En inmuebles de mampostería portante se determina la cantidad de muros estructurales en las dos direcciones, la cuantía mínima en cada dirección deberá ser: $d\% \geq 1,5\%$ área de muros resistente / Área total de la edificación.” (Ministerio de Habitat y Vivienda , 2016)

$$d\% = \frac{Aw}{Ap}$$

Donde:

$d\%$: índice de densidad de muros en cada dirección.

Aw : Sumatoria de las secciones transversales de los muros confinados en la dirección de análisis.

Ap : Área total en planta de la vivienda.

Tabla 31. *Cuantía de mampostería eje X.* Fuente: Propia

Eje	Distancia (m)	Área en plano (m ²)
1	10,02	1,4028
3	6,02	0,8428
4	10,02	1,4028
5	4,96	0,6944
	Total	4,3428

En el Eje X se obtiene un índice de densidad del 7.15%.

Tabla 32. *Cuantía de mampostería eje Y.* Fuente: Propia

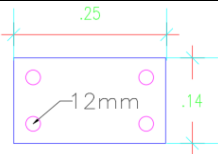
Eje	Distancia (m)	Área en plano (m ²)
A	5,46	0,7644
B	3,37	0,4718
D	6,68	0,9352
F	3,37	0,4718
G	5,46	0,7644
	Total	3,4076

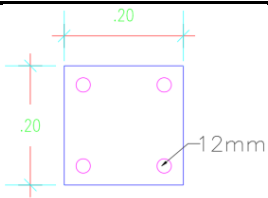
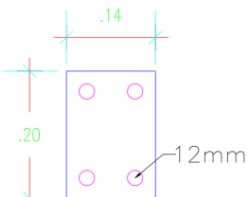
En el Eje Y se obtiene un índice de densidad del 5.61%.

Cuantía de acero en muros de confinamiento

La distribución de aceros longitudinales en los confinamientos de los muros se establece de la siguiente forma:

Tabla 33. *Distribución de aceros de refuerzo en confinamientos.* Fuente: Propia

Descripción	Dimensión	Imagen	Comentario
Columnas P1 – P2	25 x 14 cm		Columnas perdidas en la mampostería.

Vigas P1 – P2	20 x 20 cm		Vigas destinadas a los paños de mampostería con aberturas.
Vigas P1- P2	20 x 14 cm		Vigas destinadas a los paños de mampostería sin aberturas.

Análisis estático lineal

Se utilizan los mismos parámetros sísmicos a excepción el coeficiente de reducción R donde se considera la siguiente tabla.

Tabla 34. *Sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas.* Fuente: NEC 15

Sistema estructural	Materiales	Coefficiente R	Limitación en altura
Muros Portantes	Mampostería No reforzada y no confinada	1	1
	Mampostería enchapada con malla de acero	1.5	2
	Adobe y Tapial reforzado	1.5	2
	Bahareque	1.5	2
	Mampostería reforzada	3	2
	Mampostería confinada	3	2
	Muro de hormigón reforzado	3	2

Muros livianos de acero	1.5	2
Muro de mortero armado u hormigón armado con alma de poliestireno	1.5	2

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Comparación Dinámica Global del Sistema Estructural

El comportamiento dinámico global de ambos modelos se evalúa a partir de los resultados del análisis modal, considerando los períodos naturales, la participación modal de masa traslacional y rotacional, y la secuencia de modos dominantes. Dado que ambos modelos comparten la misma geometría, cargas y condiciones sísmicas, las diferencias observadas responden exclusivamente a la configuración estructural de cada sistema.

Períodos Fundamentales y Rigidez Global

Al examinar los resultados del análisis modal presentados en la Tabla 35, se observa que los períodos naturales de vibración difieren de manera significativa entre los dos sistemas estructurales analizados, lo cual permite identificar comportamientos dinámicos globales claramente contrastantes desde los primeros modos.

Tabla 35. Resultados del análisis modal para los primeros modos de vibración. Fuente: Propia

Sistema estructural	Modo	Período (s)	UX	UY	RZ
Mampostería confinada	1	0.057	0.0008	0.9160	0.0003
	2	0.057	0.8199	0.0008	0.1495
	3	0.042	0.1310	0.0000	0.8046
Pórticos de hormigón armado	1	0.349	0.8694	0.0000	0.0000
	2	0.321	0.0000	0.8855	0.0000
	3	0.279	0.0221	0.0000	0.8592

En el caso del primer modo de vibración, la estructura de mampostería confinada registra un período de 0.057 s, mientras que el sistema de pórticos de hormigón armado alcanza un valor de 0.349 s. Esta diferencia absoluta de 0.292 s equivale a una reducción aproximada del 83.7 % del período en la estructura de mampostería respecto al sistema aporticado, lo que pone de manifiesto una rigidez lateral global considerablemente mayor en el primer caso.

De forma consistente, al analizar el segundo modo, se advierte que el período de la mampostería confinada se mantiene en 0.057 s, en tanto que el sistema de pórticos presenta un período de 0.321 s, lo que representa una reducción relativa cercana al 82.2 %. Asimismo, en

el tercer modo esta tendencia se conserva, ya que el período correspondiente a la mampostería confinada es de 0.042 s, frente a 0.279 s en el sistema de pórticos, dando lugar a una diferencia porcentual del orden del 84.9 %.

En conjunto, estas diferencias, que superan el 80 % en los primeros modos de vibración, evidencian que ambos sistemas interactúan con el espectro sísmico en rangos de período sustancialmente distintos. Esta condición se explica, principalmente, por la elevada rigidez lateral introducida por los muros portantes en la mampostería confinada, mientras que el sistema de pórticos de hormigón armado desarrolla una respuesta más flexible, debido a que la rigidez se distribuye en elementos lineales.

Finalmente, al considerar la naturaleza de los modos dominantes, se aprecia que en ambos modelos los primeros modos están gobernados por traslación en los ejes principales; sin embargo, mientras que en la mampostería confinada se activa de manera temprana un modo con participación rotacional relevante, en el sistema aporricado la torsión aparece en un modo posterior, coherente con una distribución de rigidez más uniforme en planta.

Participación Modal Traslacional de Masa

Una vez analizadas las diferencias en los períodos naturales de vibración, resulta pertinente examinar cómo se distribuye la masa efectiva en los distintos modos, ya que este aspecto permite comprender con mayor detalle la forma en que cada sistema desarrolla su respuesta dinámica global. En este contexto, la Tabla 36 presenta la participación modal acumulada de masa traslacional en las direcciones principales para ambos sistemas estructurales.

Tabla 36. *Participación modal acumulada de masa traslacional.* Fuente: Propia

Sistema estructural	Modo	UX acumulado (%)	UY acumulado (%)
Mampostería confinada	1	0.08	91.60
	2	82.07	91.68
	3	95.17	91.68
	4	95.18	99.98
Pórticos de hormigón armado	1	86.94	0.00
	2	86.94	88.55

Sistema estructural	Modo	UX acumulado (%)	UY acumulado (%)
	3	89.15	88.55
	4	99.68	88.55
	5	99.68	100.00

En la estructura de mampostería confinada, la movilización de la masa traslacional se concentra en un número reducido de modos. Desde los primeros modos se alcanza una participación elevada en una de las direcciones principales y, de manera casi inmediata, la participación acumulada en la dirección ortogonal supera valores del orden del 80 %, tendencia que se mantiene en los modos siguientes hasta aproximarse al 95 % en ambas direcciones antes del cuarto modo. Esta concentración temprana de masa modal es coherente con sistemas estructurales de elevada rigidez lateral, en los que la respuesta dinámica se encuentra dominada por pocos modos principales.

En cambio, el sistema de pórticos de hormigón armado presenta una distribución más gradual de la masa traslacional. En este caso, el primer modo concentra gran parte de la masa en una de las direcciones principales, mientras que la movilización significativa de la masa en la dirección ortogonal se desarrolla en modos posteriores, requiriéndose un mayor número de modos para completar la participación traslacional total. Este comportamiento es característico de sistemas más flexibles, en los que la masa efectiva se reparte de forma progresiva entre los distintos modos de vibración.

Participación Rotacional y Efectos Torsionales

La Tabla 37 resume la participación rotacional acumulada asociada al eje vertical (RZ), como indicador del comportamiento torsional de cada sistema.

Tabla 37. *Participación rotacional acumulada (RZ).* Fuente: Propia

Sistema estructural	Modo	RZ acumulado (%)
Mampostería confinada	1	0.03
	2	14.97
	3	95.43
Pórticos de hormigón armado	1	0.00

2	0.00
3	88.28
4	88.58

En la estructura de mampostería confinada, la participación rotacional alcanza valores elevados en los primeros modos relevantes, lo que indica una activación temprana de efectos torsionales. Este comportamiento puede asociarse a la distribución de rigidez introducida por los muros portantes, que genera excentricidades efectivas entre el centro de masa y el centro de rigidez del sistema.

Por su parte, el sistema de pórticos de hormigón armado muestra una respuesta inicialmente dominada por traslación, con una participación torsional significativa que aparece recién a partir del tercer modo. Esto sugiere una respuesta más uniforme en los primeros modos, coherente con la distribución más regular de rigidez propia de sistemas aporricados.

Síntesis del Comportamiento Dinámico Observado

A partir de los resultados presentados en las Tablas 35 a la 37, se observa que ambos sistemas estructurales presentan respuestas dinámicas claramente diferenciadas. La mampostería confinada se caracteriza por períodos muy cortos, alta rigidez global, concentración temprana de masa efectiva y una activación relativamente temprana de efectos torsionales. En contraste, el sistema de pórticos de hormigón armado presenta períodos mayores, una distribución más progresiva de la masa modal y una aparición más tardía de la torsión.

Estas características dinámicas se reflejan posteriormente en los resultados de desplazamientos y derivas analizados en los apartados siguientes, bajo las mismas condiciones de modelación y acción sísmica.

Desplazamientos laterales y derivas de piso

Desplazamientos laterales máximos

Una vez caracterizadas las diferencias en el análisis modal de los sistemas estructurales, particularmente en términos de períodos naturales y distribución de masa modal, resulta

pertinente analizar los desplazamientos laterales máximos, ya que estos permiten evaluar de manera directa la respuesta global de la estructura frente a la acción sísmica. En este contexto, la Tabla 38 presenta los desplazamientos laterales obtenidos a partir del análisis dinámico lineal, evaluados en el punto superior de cada nivel y referidos a la base de la estructura, para ambos sistemas estructurales y en las direcciones principales.

Tabla 38. *Desplazamientos laterales máximos por nivel.* Fuente: Propia

Sistema estructural	Nivel	Dirección X (mm)	Dirección Y (mm)
Mampostería confinada	N + 5.04 m	0.454	0.472
	N + 2.52 m	0.282	0.262
Pórticos de hormigón armado	N + 5.04 m	18.803	16.803
	N + 2.52 m	9.417	8.222

Al comparar cuantitativamente los desplazamientos laterales máximos en el nivel superior, se observa que la estructura de mampostería confinada presenta valores de 0.454 mm en la dirección X y 0.472 mm en la dirección Y, mientras que el sistema de pórticos de hormigón armado alcanza desplazamientos de 18.803 mm y 16.803 mm en las mismas direcciones, respectivamente. En términos relativos, los desplazamientos de la mampostería confinada representan aproximadamente el 2.4 % en la dirección X y el 2.8 % en la dirección Y de los valores obtenidos para el sistema aporticado.

A lo largo de la altura de la estructura, los desplazamientos laterales muestran una diferencia consistente entre ambos sistemas, tanto en el nivel intermedio como en el nivel superior y en ambas direcciones principales. Este comportamiento guarda relación con los períodos naturales y la distribución de la masa modal obtenidos en el análisis previo, reflejándose en desplazamientos mayores en el sistema de pórticos de hormigón armado y en valores menores para la mampostería confinada.

Derivas de piso

Las derivas de piso obtenidas a partir del análisis estático lineal evidencian un comportamiento diferenciado entre los sistemas estructurales evaluados, por lo que, antes de contrastar el parámetro normativo de interés, resulta pertinente observar la respuesta elástica en cada dirección principal. En este sentido, la Figura 17 y la Figura 18 presentan las gráficas

de derivas elásticas en las direcciones X y Y, respectivamente, donde se aprecia que la mampostería confinada mantiene valores reducidos en ambos niveles, mientras que el sistema de pórticos de hormigón armado desarrolla derivas elásticas significativamente mayores, con una tendencia similar en ambas direcciones.

A partir de estas gráficas se observa, además, que la respuesta de la mampostería confinada conserva magnitudes comparables entre las direcciones X y Y, lo que indica que el comportamiento no se encuentra condicionado por un efecto direccional dominante. Por su parte, en el sistema de pórticos de hormigón armado, las derivas elásticas se mantienen elevadas en ambas direcciones, reflejando una respuesta más flexible y coherente con los mayores desplazamientos laterales identificados previamente mediante el análisis estático. De este modo, las Figuras 17 y 18 permiten establecer una lectura clara del comportamiento elástico: la mampostería confinada limita en mayor medida la deformación relativa entre pisos, mientras que el sistema aporricado refleja una demanda de deformación superior bajo las mismas condiciones.

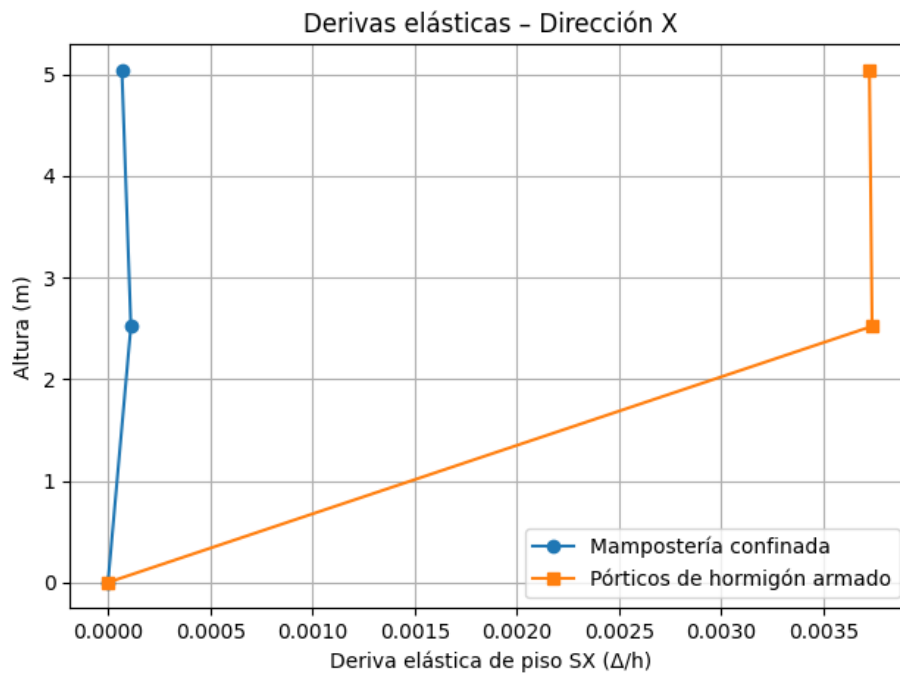


Figura 17. Derivas elásticas – Dirección X. **Fuente:** Propia

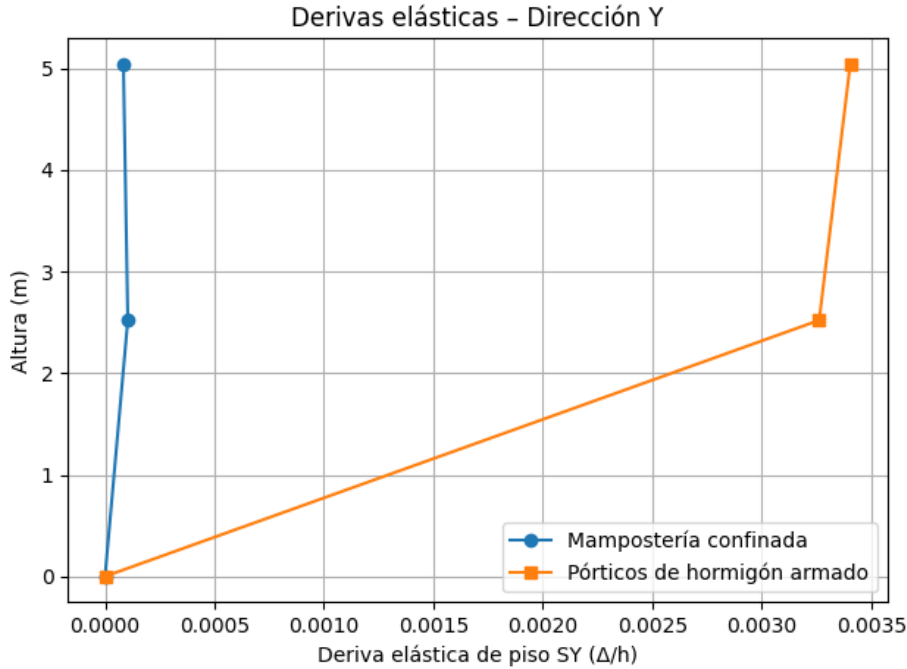


Figura 18. Derivas elásticas – Dirección Y. **Fuente:** Propia

No obstante, dado que la evaluación del desempeño estructural se realiza conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en términos de la deriva máxima esperada, el parámetro de control corresponde a la deriva inelástica máxima, la cual se obtiene a partir de las derivas elásticas del análisis estático lineal y del factor de reducción de respuesta asociado al sistema estructural. En este contexto, la Tabla 39 resume las derivas inelásticas máximas para ambos sistemas, expresadas en porcentaje y reportadas como un valor único, sin distinguir dirección, por corresponder al máximo que gobierna la respuesta.

Tabla 39. Derivas inelásticas máximas de los sistemas estructurales evaluados. Fuente: Propia

Sistema estructural	Dirección	Deriva elástica (%)	Deriva inelástica (%)
Mampostería confinada	X	0.01	0.03
	Y	0.01	0.02
Pórticos de hormigón armado	X	0.37	0.84
	Y	0.34	0.77

De acuerdo con los valores presentados en la Tabla 39, la mampostería confinada presenta una deriva inelástica máxima de 0.03 %, mientras que el sistema de pórticos de hormigón armado alcanza una deriva inelástica máxima de 0.84 %. En términos comparativos, la deriva máxima del sistema apórticado resulta aproximadamente 28 veces mayor que la correspondiente a la mampostería confinada, evidenciando una diferencia marcada en la magnitud de las derivas máximas obtenidas para ambos sistemas bajo el mismo nivel de acción sísmica.

Análisis económico comparativo de los sistemas estructurales

Con base en los cálculos métricos obtenidos de los modelos estructurales, se elaboraron los presupuestos referenciales correspondientes a los sistemas de mampostería confinada y de pórticos de hormigón armado. En ambos casos se consideraron los costos directos asociados a los elementos estructurales, manteniendo constantes las dimensiones de la edificación, el número de niveles y las condiciones de uso, de modo que la comparación económica refleje exclusivamente las diferencias derivadas de la configuración estructural adoptada.

La Tabla 40 presenta el presupuesto referencial correspondiente al sistema de mampostería confinada, elaborado a partir de las cantidades de hormigón, acero de refuerzo y mampostería estructural requeridas por este sistema. Los valores mostrados corresponden a la suma de los rubros estructurales considerados, expresados en términos de costos parciales y costo total.

Tabla 40. *Presupuesto referencial de estructura con mampostería confinada.* Fuente: Propia

Ítem	Descripción del rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	Hormigón en columna de $f'c=210$ kg/cm ²	M3	7.02	204.89	\$1,438.33
2	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	Kg	3338.96	2.70	\$9,015.19
3	Hormigón simple en losas planas de entrepiso $e=20$ cm $f'c=210$ kg/cm ²	M2	15.99	129.24	\$2,066.55

Ítem	Descripción del rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
4	Hormigón en viga para losa alivianada de $f'c=210$ kg/cm ²	M3	6.08	204.89	\$1,245.73
6	Mampostería con bloque de 14cm mortero 1:3 e=2cm	M2	295.58	16.07	\$4,749.97
Total, sin IVA					\$18,515.77

De manera análoga, la Tabla 41 resume el presupuesto referencial del sistema de pórticos de hormigón armado, considerando las cantidades de hormigón y acero de refuerzo necesarias para columnas, vigas y losas, así como la mampostería de relleno correspondiente a la edificación tipo analizada.

Tabla 41. *Presupuesto referencial de estructura con pórticos de hormigón armado.* Fuente: Propia

Ítem	Descripción del rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	Hormigón en columna de $f'c=210$ kg/cm ²	M3	5.76	204.89	\$1,180.17
2	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	Kg	2819.76	2.70	\$7,613.35
3	Hormigón simple en losas planas de entrepiso e=20cm $f'c=210$ kg/cm ²	M2	15.99	129.24	\$2,066.55
4	Hormigón en viga para losa alivianada de $f'c=210$ kg/cm ²	M3	5.00	204.89	\$1,024.45
5	Mampostería con bloque de 10cm mortero 1:3 e=2cm	M2	295.58	15.76	\$4,658.34
Total, sin IVA					\$16,542.86

A partir de los presupuestos presentados, se observa que el costo estructural total del sistema de pórticos de hormigón armado asciende a USD 16 542.86, mientras que el sistema de mampostería confinada alcanza un costo total de USD 18 515.77. La diferencia absoluta entre ambos sistemas es de USD 1 972.91, lo que representa un incremento aproximado del 12 % en el costo del sistema de mampostería confinada respecto al sistema aporticado.

CONCLUSIONES

La caracterización del comportamiento sísmico, sustentada en el análisis dinámico lineal y estático lineal, evidencia que los dos sistemas responden de manera distinta aun cuando se mantiene la misma edificación tipo y las mismas condiciones de peligro sísmico. Desde la lectura modal, la mampostería confinada concentra la respuesta en pocos modos dominantes, alcanza participaciones traslacionales acumuladas elevadas en etapas tempranas y, además, activa la componente torsional con mayor prontitud, puesto que la participación rotacional acumulada alrededor del eje vertical llega a 95.43 % al tercer modo. En contraste, el sistema de pórticos de hormigón armado completa la participación traslacional en un número mayor de modos y muestra la torsión dominante a partir del tercer modo, con una participación rotacional acumulada de 88.28 %, lo que describe una evolución modal más progresiva. Esta diferenciación se confirma con el análisis estático lineal, ya que las derivas elásticas reflejan una demanda por piso consistentemente menor en la mampostería confinada y mayor en los pórticos, por lo que ambos enfoques convergen en el mismo diagnóstico: la respuesta global queda gobernada por configuraciones de rigidez claramente distintas.

La comparación de los parámetros principales de respuesta muestra diferencias sostenidas en período, desplazamiento y deriva, de modo que los resultados se refuerzan entre sí y no quedan limitados a un único indicador. En períodos, el primer modo pasa de 0.349 s en pórticos a 0.057 s en mampostería confinada, lo cual representa una reducción del 83.7 %, mientras que en el segundo modo la reducción es del 82.2 % y en el tercero del 84.9 %, por lo que la separación entre sistemas supera el 80 % en los modos iniciales. Esa diferencia se traduce en los desplazamientos laterales máximos, dado que en el nivel superior la mampostería confinada presenta 0.454 mm en la dirección X y 0.472 mm en la dirección Y, frente a 18.803 mm y 16.803 mm del sistema aporricado, de manera que la respuesta en mampostería equivale aproximadamente a 2.41 % en X y 2.81 % en Y respecto a los pórticos. La tendencia se mantiene al revisar la deriva inelástica máxima obtenida a partir del análisis estático lineal conforme al procedimiento normativo, ya que la mampostería confinada alcanza 0.03 % y el sistema de pórticos llega a 0.84 %, estableciéndose una demanda máxima cercana a 28 veces en el sistema aporricado. En consecuencia, la comparación confirma que las diferencias no son puntuales, sino coherentes a lo largo de los tres indicadores que describen el desempeño global.

Se cuantificó con los mismos rubros se obtuvieron los presupuestos referenciales de cada sistema, en el que se muestra que el costo estructural total del sistema de pórticos de hormigón armado es de USD 16 542.86, mientras que el sistema de mampostería confinada asciende a USD 18 515.77, por lo que se registra una diferencia de USD 1 972.91, equivalente a un incremento aproximado del 12 % en la alternativa de mampostería confinada. Por lo anterior, se observa que el mayor peso proviene del acero de refuerzo y de los volúmenes de hormigón asociados a los elementos de confinamiento, lo cual incrementa el costo global del sistema, mientras que el rubro de mampostería aporta una variación menor, aunque verificable, debido a que en la mampostería confinada se emplea bloque de 14 cm y en el sistema aporticado bloque de 10 cm, manteniéndose el mismo metraje de obra.

Con base en el análisis comparativo realizado para una misma edificación tipo y bajo las mismas condiciones de peligro sísmico en Manta, se evidencia un intercambio directo entre desempeño y costo: la mampostería confinada reduce de manera marcada los desplazamientos de la estructura, reflejada en derivas inelásticas máximas sustancialmente menores, mientras que el sistema de pórticos de hormigón armado disminuye el costo estructural total. Por lo anteriormente expuesto, la definición del sistema más eficiente para la vivienda plurifamiliar evaluada queda condicionada al criterio de priorización adoptado, ya sea el control de deformaciones como indicador de desempeño sísmico o la minimización del costo directo de la estructura, quedando ambos aspectos cuantificados y comparados en términos consistentes.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los hallazgos y conclusiones derivados del presente estudio, se formulan las siguientes recomendaciones con el propósito de traducir el conocimiento generado en acciones concretas que contribuyan a optimizar la seguridad, economía y eficiencia en el desarrollo habitacional de la ciudad de Manta y regiones con condiciones similares.

- Realizar un estudio no lineal para conocer el nivel de daño que puede obtener la mampostería ante un evento externo.
- Indagar sobre los costos de mantenimiento y prevención de factores externos que afectan directamente la integridad de los materiales empleados en los elementos estructurales.
- Evaluar el impacto económico considerando un factor R reducido propuesto por investigadores locales.
- Corroborar la hipótesis con diseños de viviendas unifamiliares de diferentes diseños para así obtener una media estadística.

BIBLIOGRAFÍA

- A, Q. J., Juan, J. P., & Erika, O. G. (Abril de 2023). Revisión de Normas de Diseño para Mampostería Confinada en Latinoamérica: Propuestas para la Norma Ecuatoriana de Construcción. *Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca, Ecuador.*, 16.
- Alcocer, S. M., Meli, R., Sánchez, T. A., & Flores, L. E. (Julio de 1994). Comportamiento ante cargas laterales de sistemas de muros de mampostería confinada con diferentes grados de acoplamiento a flexión. México, México.
- Alejandro, S. A. (17 de Diciembre de 2024). Evaluación y ajuste del factor de reducción de fuerzas sísmicas para estructuras de ductilidad limitada (Mampostería Confinada limitada a 2 Pisos). Manta, Manabí, Ecuador.
- Bartolomé, Á. S., & Quiun., D. (Julio de 2004). Propuesta normativa para el diseño sísmico de edificaciones de mampostería confinada. Caracas, Venezuela.
- Castilla, F. R., & Gomez, C. P. (2024). Análisis comparativo económico y estructural entre sistemas de muros en concreto y mampostería confinada en viviendas de interés social en la ciudad de Cartagena de Indias. Cartagena de Indias, Colombia: Universidad de Cartagena.
- Cazarín, E. F., Gilmore, A. T., Cuevas, O. Z., & Perilliat, R. J. (Junio de 2014). Consideraciones para el diseño sísmico de edificios altos de mampostería confinada ubicados en zonas sísmicas. Ciudad de México, México: SCIELO. Recuperado el 1 de Diciembre de 2025, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-092X2014000100004&script=sci_arttext
- DOLMEN. (1 de 12 de 2025). Bloque rojo rayado. Obtenido de www.dolmen.com.ec
- LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DE. (30 de Junio de 2016). LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DE. pág. 31. Obtenido de <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territorial-Us-y-Gestion-de-Suelo1.pdf>

López, S., & Ayala, G. (2013). *Método de diseño sísmico basado en desplazamientos para marcos de concreto reforzado*. Obtenido de Revista de Ingeniería Sísmica No. 88 91-111: <https://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n88/n88a5.pdf>

MacGregor, J. (2015). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. Pearson.

Ministerio de Habitat y Vivienda . (Septiembre de 2016). Guia de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros de conformidad con la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015. pág. 114.

Mogrovejo, C. A. (2019). Metodología para determinar los precios unitarios en redes de distribución del Ecuador. pág. 176. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/54621/1/T-109695%20Rodr%C3%ADguez%20Mogrovejo.pdf>

Náutica. (2015). Obtenido de El Hormigón. Clase construcción y estructura : https://wiki.ead.pucv.cl/images/5/5a/Clase_2_construcción_1_náutica_2015_Hormigón.pdf

NEC. (2015). *NEC - SE - HM - Estructuras de hormigón armado*. MIDUVI.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *NEC SE DS CAPITULO 1*. Ecuador.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente*. Ministerio de Habitat y Vivienda.

NTC CDEM. (2023). Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras.

NTE INEN 297:1977. (1977). Ladrillos cerámicos. Requisitos.

NTE INEN 3066. (2016). Bloques de hormigón. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO.

Rodríguez, A., & Vergara, R. (2020). Estudio de factibilidad para la construcción de viviendas de interés social utilizando el sistema de construcción en seco Steel Framing por medio de una comparación con el sistema de construcción tradicional de mampostería confinada. Cartagena, Colombia. Obtenido de

<https://repositorio.unicartagena.edu.co/entities/publication/a9a0c79a-c687-4bc0-ab9f-150a398cce63>

Ros, M. (11 de Abril de 2024). *COBOROS*. Obtenido de DIFERENCIA ENTRE VIVIENDA UNIFAMILIAR Y PLURIFAMILIAR: <https://www.coborosarquitectos.com/noticias/diferencia-entre-vivienda-unifamiliar-y-plurifamiliar/>

Sánchez, J. (2022). *Espectros de Diseño Sísmico*. Obtenido de UdeMy: <https://www.udemy.com/course/espectros-de-diseno-sismico/>

Tomažević, M., & Klemenc, I. (04 de Diciembre de 1998). Verification of seismic resistance of confined masonry buildings. *WILEY*. doi:[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199710\)26:10%3C1073::AID-EQE695%3E3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199710)26:10%3C1073::AID-EQE695%3E3.0.CO;2-Z)

Villegas, L. (2015). Recuperado el Julio de 2023, de <https://sf2217758f40e4116.jimcontent.com/download/version/1503948985/module/12362815731/name/GUIA%20A.P.U.pdf>

Yanez, A. E. (Septiembre de 2022). Comparación entre tres sistemas constructivos, pórtico de hormigón, mampostería confinada y mampostería reforzada para un prototipo de vivienda de dos pisos. 116. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23023/1/CD%2012437.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Hormigón simple en columna. Fuente: Propia

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
HORMIGON SIMPLE EN COLUMNA DE F'c=210 KG/CM2			Unidad:	M3	
			K(H/U):	1,30000	
Código: 1					
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
HERRAMIENTA MENOR (5% MANO DE OBRA)					3,62440
VIBRADOOR	1,00	2,00	2,00000	1,30000	2,60000
CONCRETERA	1,00	3,00	3,00000	1,30000	3,90000
				Parcial:	10,12440
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Jornada/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
CARPINTERO	2,00	4,28	8,56000	1,30000	11,12800
PEON	7,00	4,23	29,61000	1,30000	38,49300
ALBAÑIL	3,00	4,28	12,84000	1,30000	16,69200
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES	1,00	4,75	4,75000	1,30000	6,17500

				Parcial:	72,48800
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Unitario	
CEMENTO	SACO	7,00	8,40	58,80000	
ARENA HOMOGENIZADA	M3	0,65	20,15	13,09750	
PIEDRA 3/4 PULGADAS	M3	0,95	16,81	15,96950	
AGUA	M3	0,24	1,10	0,26400	

				Parcial:	88,13100
Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo Unitario	
			Parcial:	0,00000	

TOTAL, COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P):	170,74340
INDIRECTOS Y UTILIDAD 20	34,14868
(OTROS COSTOS INDIRECTOS)	-
COSTO TOTAL DEL RUBRO	204,89208
VALOR PROPUESTO	204,89

Anexo 2. Acero de refuerzo. Fuente: Propia

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ACERO DE REFUERZO FY=4200KG/CM2				Unidad:	KG
				K(H/U):	0,04000
Código:	2				
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
HERRAMIENTA MENOR (5% MANO DE OBRA)					0,02652
CORTADORA	1,00	2,00	2,00000	0,04000	0,08000
				Parcial:	0,10652
Mano de Obra					

Descripción	Cantidad	Jornada/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
FIERRERO	1,00	4,28	4,28000	0,04000	0,17120
PEON	1,00	4,23	4,23000	0,04000	0,16920
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES	1,00	4,75	4,75000	0,04000	0,19000
				Parcial:	0,53040
Materiales					
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Unitario
ACERO CORRUGADO FY 4200 KG/CM2		KG	1,05	1,43	1,50150
ALAMBRE GALVANIZADO		KG	0,11	1,05	0,11550
				Parcial:	1,61700
Transporte					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo Unitario
				Parcial:	0,00000
TOTAL, COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P):					2,25392
INDIRECTOS Y UTILIDAD 20					0,45078
(OTROS COSTOS INDIRECTOS)					-
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2,70470

Anexo 3. Hormigón simple en losas planas de entrepiso. Fuente: Propia**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**HORMIGON SIMPLE EN LOSAS PLANAS DE ENTREPISO E=20CM F'C=210 KG/CM²Unidad: M2
K(H/U): 1,50000

Código: 3

Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
CONCRETERA					3,22650
VIBRADOR WEBER A GASOLINA	1,00	3,00	3,00000	1,50000	4,50000
ELEVADOR	1,00	2,00	2,00000	1,50000	3,00000
	1,00	6,00	6,00000	1,50000	9,00000
				Parcial:	19,72650

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Jornada/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES (ESTR.OC. C1)	1,00	4,75	4,75000	1,50000	7,12500
ALBAÑIL - (ESTR. OC. D2)	2,00	4,28	8,56000	1,50000	12,84000
CARPINTERO - (ESTR. OC. D2)	2,00	4,28	8,56000	1,50000	12,84000
PEÓN - (ESTR. OC. E2)	5,00	4,23	21,15000	1,50000	31,72500
				Parcial:	64,53000

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Unitario
CEMENTO	SACO	1,00	8,40	8,40000
RIPIO HOMOGENIZADO	M3	0,14	16,84	2,35760
ARENA HOMOGENIZADA	M3	0,08	20,15	1,61200
ADITIVO PLASTIFICANTE RETARDANTE	GRANEL, 1 KG	0,10	1,40	0,14000
AGUA.	M3	0,10	1,10	0,11000
TABLA DE ENCOFRAR	UNI 4.00 M	0,80	4,97	3,97600
CUARTON DE ENCOFRADO 2.5" X 2.5" X 4M.	UNI 4.00 M	0,40	2,63	1,05200
BLOQUE DE 15 CM	U	8,00	0,47	3,76000
CLAVO 3" X 9	KG	0,50	1,88	0,94000
ANDAMIOS	GLOBAL	1,00	1,10	1,10000

Transporte			Parcial:	23,44760
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo Unitario
			Parcial:	0,00000
TOTAL, COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P):				107,70410
INDIRECTOS Y UTILIDAD 20				21,54082
(OTROS COSTOS INDIRECTOS)				-
COSTO TOTAL DEL RUBRO				129,24492
VALOR PROPUESTO				129,24

Anexo 4. Hormigón simple en vigas para losa alivianada. Fuente: Propia

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HORMIGON SIMPLE EN VIGAS PARA LOSA ALIVIANADA DE F'C=210 KG/CM2

Unidad: M3
K(H/U): 1,30000

Código: 4

Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
HERRAMIENTA MENOR (5% MANO DE OBRA)					3,62440
VIBRADOOR	1,00	2,00	2,00000	1,30000	2,60000
CONCRETERA	1,00	3,00	3,00000	1,30000	3,90000

Parcial: 10,12440

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Jornada/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
CARPINTERO	2,00	4,28	8,56000	1,30000	11,12800
PEON	7,00	4,23	29,61000	1,30000	38,49300
ALBAÑIL	3,00	4,28	12,84000	1,30000	16,69200

MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES	1,00	4,75	4,75000	1,30000	6,17500
---	------	------	---------	---------	---------

Parcial: 72,48800

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Unitario
CEMENTO	SACO	7,00	8,40	58,80000
ARENA HOMOGENIZADA	M3	0,65	20,15	13,09750
PIEDRA 3/4 PULGADAS	M3	0,95	16,81	15,96950
AGUA	M3	0,24	1,10	0,26400

Parcial: 88,13100

Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo Unitario
			Parcial:	0,00000

TOTAL, COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P):	170,74340
INDIRECTOS Y UTILIDAD 20	34,14868
(OTROS COSTOS INDIRECTOS)	-
COSTO TOTAL DEL RUBRO	204,89208
VALOR PROPUESTO	204,89

Anexo 5. Mampostería con bloque de 10cm Mortero 1:3 e=2cm. **Fuente:** Propia

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MAMPOSTERÍA CON BLOQUE DE 10CM MORTERO 1:3 e=2CM

Unidad: M2
K(H/U): 0,60000

Código: 5

Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
HERRAMIENTA MENOR (5% MANO DE OBRA)					0,26955
ANDAMIOS	1,00	1,00	1,00000	0,60000	0,60000

					Parcial:	0,86955
Mano de Obra						
Descripción	Cantidad	Jornada/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario	
PEON	1,00	4,23	4,23000	0,60000	2,53800	
ALBAÑIL	1,00	4,28	4,28000	0,60000	2,56800	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES	0,10	4,75	0,47500	0,60000	0,28500	

					Parcial:	5,39100
Materiales						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Unitario	
CEMENTO		SACO	0,21	8,40	1,76400	
BLOQUE 10 CM		UNIDAD	13,00	0,37	4,81000	
ARENA DE MAR (LAVADA)		M3	0,02	13,86	0,29106	
AGUA		M3	0,01	1,10	0,00704	

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MAMPOSTERÍA CON BLOQUE DE 14CM MORTERO 1:3 e=2CM

Unidad: M2
K(H/U): 0,60000

Código: 6

Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
HERRAMIENTA MENOR (5% MANO DE OBRA)					0,26955
ANDAMIOS	1,00	1,00	1,00000	0,60000	0,60000

Parcial: 0,86955

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Jornada/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo Unitario
PEON	1,00	4,23	4,23000	0,60000	2,53800
ALBAÑIL	1,00	4,28	4,28000	0,60000	2,56800
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES	0,10	4,75	0,47500	0,60000	0,28500

				Parcial:	5,39100
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Unitario	
CEMENTO	SACO	0,21	8,40	1,76400	
BLOQUE 14 CM	UNIDAD	13,00	0,39	5,07000	
ARENA DE MAR (LAVADA)	M3	0,02	13,86	0,29106	
AGUA	M3	0,01	1,10	0,00704	

				Parcial:	7,13210
Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo Unitario	
			Parcial:	0,00000	

TOTAL, COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P):	13,39265
INDIRECTOS Y UTILIDAD 20	2,67853
(OTROS COSTOS INDIRECTOS)	-
COSTO TOTAL DEL RUBRO	16,07118
VALOR PROPUESTO	16,07

Este Precio No Incluye IVA.

Anexo 7. Cantidades de acero y hormigón en columnas HA. Fuente: Propia

COLUMNAS							
Longitud	b (m)	h (m)	V (m3)	#Estribos	Asv (kg)	As (kg)	Acero de refuerzo total (kg)
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11

2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11

2,52	0,25	0,25	0,16	26	8,32	18,79	27,11
Total, volumen hormigón (m3)			5,76	Total, acero kg		975,96	

Anexo 8. Cantidades de acero y hormigón en vigas HA. **Fuente:** Propia

VIGAS							
Longitud	b (m)	h (m)	V (m3)	#Estribos	Asv (kg)	As (kg)	Acero de refuerzo total
2,65	0,2	0,2	0,11	27	6,75	9,88	16,63
1,28	0,2	0,2	0,06	14	3,5	4,77	8,27
2,3	0,2	0,2	0,1	24	6	8,57	14,57
2,3	0,2	0,2	0,1	24	6	8,57	14,57
1,28	0,2	0,2	0,06	14	3,5	4,77	8,27
2,65	0,2	0,2	0,11	27	6,75	9,88	16,63
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
2,95	0,2	0,2	0,12	30	7,5	11	18,5
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29

3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29
1,28	0,2	0,2	0,06	14	3,5	4,77	8,27
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29
2,95	0,2	0,2	0,12	30	7,5	11	18,5
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
2,95	0,2	0,2	0,12	30	7,5	11	18,5
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
2,95	0,2	0,2	0,12	30	7,5	11	18,5
2,65	0,2	0,2	0,11	27	6,75	9,88	16,63
1,28	0,2	0,2	0,06	14	3,5	4,77	8,27
2,3	0,2	0,2	0,1	24	6	8,57	14,57
2,3	0,2	0,2	0,1	24	6	8,57	14,57
1,28	0,2	0,2	0,06	14	3,5	4,77	8,27
2,65	0,2	0,2	0,11	27	6,75	9,88	16,63
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29

3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
2,95	0,2	0,2	0,12	30	7,5	11	18,5
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29
1,28	0,2	0,2	0,06	14	3,5	4,77	8,27
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29
2,95	0,2	0,2	0,12	30	7,5	11	18,5
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
2,09	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,79	13,29
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
2,95	0,2	0,2	0,12	30	7,5	11	18,5
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
2,95	0,2	0,2	0,12	30	7,5	11	18,5
Total, volumen hormigón (m3)			5,00	Total, acero kg			755,9

Anexo 9. Cantidades de acero y hormigón en columnas confinadas. Fuente: Propia

COLUMNAS MAMPOSTERÍA							
Longitud	b (m)	h (m)	V (m3)	#Estribos	Asv (kg)	As (kg)	Acero de refuerzo total
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15

2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15

2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15

2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15

2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
2,52	0,24	0,14	0,09	26	6,76	9,39	16,15
Total, volumen hormigón (m3)			7,02	Total, acero kg			1259,7

Anexo 10. Cantidades de acero y hormigón en vigas confinadas. **Fuente:** Propia

VIGAS MAMPOSTERÍA							
Longitud	b (m)	h (m)	V (m3)	#Estribos	Asv (kg)	As (kg)	Acero de refuerzo total
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28
1,37	0,14	0,2	0,04	16	3,84	3,55	7,39
2,09	0,14	0,2	0,06	22	5,28	5,42	10,7
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28
1,37	0,14	0,2	0,04	16	3,84	3,55	7,39
2,09	0,14	0,2	0,06	22	5,28	5,42	10,7
1,28	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,32	6,68
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28

1,37	0,14	0,2	0,04	16	3,84	3,55	7,39
2,09	0,14	0,2	0,06	22	5,28	5,42	10,7
1,71	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,43	8,99
1,71	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,43	8,99
1,24	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,22	6,58
2,3	0,14	0,2	0,07	24	5,76	5,97	11,73
1,28	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,32	6,68
1,3	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,37	6,73
1	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,59	5,23
1,175	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,05	6,41
1,3	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,37	6,73
0,85	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,2	4,84
0,79	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,05	4,69
0,835	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,17	4,81
0,965	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,5	5,14
1,685	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,37	8,93
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28
1,71	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,43	8,99
1,71	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,43	8,99
1,24	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,22	6,58

2,3	0,14	0,2	0,07	24	5,76	5,97	11,73
1,28	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,32	6,68
1,3	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,37	6,73
1	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,59	5,23
1,175	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,05	6,41
1,3	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,37	6,73
0,85	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,2	4,84
0,79	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,05	4,69
0,835	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,17	4,81
0,965	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,5	5,14
1,685	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,37	8,93
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28
1,37	0,14	0,2	0,04	16	3,84	3,55	7,39
2,09	0,14	0,2	0,06	22	5,28	5,42	10,7
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28
1,37	0,14	0,2	0,04	16	3,84	3,55	7,39
2,09	0,14	0,2	0,06	22	5,28	5,42	10,7
1,28	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,32	6,68
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28

1,37	0,14	0,2	0,04	16	3,84	3,55	7,39
2,09	0,14	0,2	0,06	22	5,28	5,42	10,7
1,71	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,43	8,99
1,71	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,43	8,99
2,3	0,14	0,2	0,07	24	5,76	5,97	11,73
1,28	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,32	6,68
1,3	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,37	6,73
1	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,59	5,23
1,3	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,37	6,73
0,85	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,2	4,84
0,79	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,05	4,69
0,835	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,17	4,81
0,965	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,5	5,14
1,685	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,37	8,93
1,82	0,14	0,2	0,06	19	4,56	4,72	9,28
1,71	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,43	8,99
1,71	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,43	8,99
2,3	0,14	0,2	0,07	24	5,76	5,97	11,73
1,28	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,32	6,68
1,3	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,37	6,73

1	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,59	5,23
1,3	0,14	0,2	0,04	14	3,36	3,37	6,73
0,85	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,2	4,84
0,79	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,05	4,69
0,835	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,17	4,81
0,965	0,14	0,2	0,03	11	2,64	2,5	5,14
1,685	0,14	0,2	0,05	19	4,56	4,37	8,93
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
0,825	0,2	0,2	0,04	11	2,75	3,08	5,83
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
1,71	0,2	0,2	0,07	19	4,75	6,37	11,12
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
1,165	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,34	7,84
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
0,825	0,2	0,2	0,04	11	2,75	3,08	5,83
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
1,71	0,2	0,2	0,07	19	4,75	6,37	11,12
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71

1,165	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,34	7,84
2,1298	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,94	13,44
1,37	0,2	0,2	0,06	16	4	5,11	9,11
1,37	0,2	0,2	0,06	16	4	5,11	9,11
2,1298	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,94	13,44
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
0,825	0,2	0,2	0,04	11	2,75	3,08	5,83
1,175	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,38	7,88
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
1,71	0,2	0,2	0,07	19	4,75	6,37	11,12
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
1,165	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,34	7,84
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
0,825	0,2	0,2	0,04	11	2,75	3,08	5,83
1,175	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,38	7,88
3,19	0,2	0,2	0,13	32	8	11,89	19,89
1,71	0,2	0,2	0,07	19	4,75	6,37	11,12

1,24	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,62	8,12
2	0,2	0,2	0,08	21	5,25	7,46	12,71
1,165	0,2	0,2	0,05	14	3,5	4,34	7,84
2,1298	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,94	13,44
1,37	0,2	0,2	0,06	16	4	5,11	9,11
1,37	0,2	0,2	0,06	16	4	5,11	9,11
2,1298	0,2	0,2	0,09	22	5,5	7,94	13,44
Total, volumen hormigón (m3)			6,08	Total, acero kg			991,36