

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA MUROS PORTANTES DE  
HORMIGÓN FRENTE AL SISTEMA CONVENCIONAL DE MAMPOSTERÍA  
CONFINADA EN UNA VIVIENDA TIPO SOCIAL."**

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

**AUTORES:**

CÁRDENAS CORONEL RENÉ EDUARDO	C. I. 0302319983
MACANCELA SACOTO ESTEBAN IVÁN	C. I. 0302718127

**DIRECTOR:**

Ing. FERNANDO ZALAMEA LEÓN PH. D C.I 0102059326

CUENCA - ECUADOR

ABRIL 2018



## RESUMEN

En el presente estudio se obtiene y analiza las ventajas y desventajas de los sistemas constructivos de mampostería confinada y muros portantes de hormigón en la construcción de una vivienda de interés social. Para ello se realizó una descripción de cada sistema con base a una revisión bibliográfica extensa, así también como un análisis de funcionalidad, un análisis estructural de los sistemas y un análisis de costos. Para el análisis estructural del sistema muros portantes de hormigón se realizó un modelo virtual de la estructura de la vivienda tipo en el programa SAP2000 V18 y con dicho modelo se obtiene el diseño estructural considerando cargas sísmicas de acuerdo con la zona austral ecuatoriana, cumpliendo los requisitos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) 2015 y ACI318-14. Para el análisis de costos se generó un presupuesto mediante un análisis de precios unitarios (APU) con la ayuda del software InterPro, tomando en cuenta rendimientos reales y especificaciones técnicas establecidas para esta edificación. Finalmente se realiza un cuadro comparativo de estas ventajas y desventajas analizadas.

**Palabras Clave:** *Mampostería confinada, muros portantes de hormigón, diseño estructural, precios unitarios.*



## **ABSTRACT**

In the present study, the advantages and disadvantages of the construction systems of confined masonry and concrete bearing walls in the construction of a house of social interest are obtained and analyzed. For this, a description of each system was made based on an extensive bibliographic review, as well as an analysis of functionality, a structural analysis of the systems and a cost analysis. For the structural analysis of the concrete bearing walls system, a virtual model of the structure of the type house was made in the SAP2000 V18 program and with this model the structural design is obtained considering seismic loads according to the southern Ecuadorian zone, fulfilling the requirements of the Ecuadorian Construction Standard (NEC) 2015 and ACI318-14. For the analysis of costs, a budget was generated through a unit price analysis (APU) with the help of the InterPro software, taking into account real yields and technical specifications established for this building. Finally, a comparative table is made of these advantages and disadvantages analyzed.

**Keywords:** Confined masonry, concrete bearing walls, structural design, unit prices.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
ALCANCE Y CONTENIDO	17
JUSTIFICACIÓN	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	19
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	20
INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	20
ENCOFRADOS	21
HORMIGÓN	22
<i>Propiedades mecánicas del hormigón</i>	23
VIVIENDA TIPO SOCIAL.	24
ANÁLISIS DE COSTOS	25
<i>Precios unitarios</i>	25
<i>Especificaciones</i>	26
<i>Rendimientos y mano de obra</i>	26
ACCIONES SÍSMICAS, SISTEMAS Y CONFIGURACIÓN SISMO RESISTENTE	27
<i>Acciones sísmicas</i>	27
<i>Acciones sísmicas de diseño</i>	28
<i>Zonificación sísmica y factor de zona Z</i>	28
CIMENTACIONES	28
<i>Requisitos mínimos para cimentación de muros portantes</i>	28
<b>CAPÍTULO 3: SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MAMPOSTERÍA CONFINADA</b>	<b>31</b>
FUNDAMENTOS	31
CLASIFICACIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA SEGÚN SU MATERIAL DE CONSTITUCIÓN	31
CLASIFICACIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA SEGÚN SU DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL	32
CLASIFICACIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA SEGÚN SU MATERIAL DE CONGLOMERACIÓN	33
ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA	34
MODELO DE EVALUACIÓN MAMPOSTERÍA CONFINADA	34
FUNCIONALIDAD	36
<i>Aislamiento térmico</i>	36
<i>Aislamiento acústico</i>	36
<i>Resistencia al fuego</i>	37
<i>Transporte</i>	38
COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA CONFINADA	38
<i>Falla ante carga axial</i>	39
<i>Falla por flexión</i>	40
<i>Falla por cortante</i>	40
ESTADOS LÍMITES DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA	40
CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA	42
MÉTODO SIMPLIFICADO DE ANÁLISIS SÍSMICO PARA MAMPOSTERÍA CONFINADA	43
<b>CAPÍTULO 4: SISTEMA CONSTRUCTIVO CON MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN</b>	<b>44</b>
FUNDAMENTOS	44
CONSTITUCIÓN DE UN MURO PORTANTE DE HORMIGÓN	44
CLASIFICACIÓN DE MUROS SEGÚN SU GEOMETRÍA	45
CLASIFICACIÓN DE MUROS SEGÚN SUS MODOS DE FALLA	46
ESPESOR DEL MURO	47
REFUERZO EN EL MURO	47
COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS DE MUROS ESTRUCTURALES	48
PROCESO CONSTRUCTIVO	49



MUROS PORTANTES SISMO RESISTENTES	51
<b>CAPÍTULO 5: MODELO VIRTUAL</b>	<b>52</b>
CARACTERIZACIÓN DEL MODELO VIRTUAL	52
CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO	53
Materiales.	53
Cargas de diseño	54
Carga Muerta (D).	54
Carga Viva (L)	55
Carga Sísmica (E).	56
Combinaciones de Cargas.	59
Interacción con el suelo	60
APLICACIÓN DEL MODELO VIRTUAL EN SAP2000 v18	60
INTERPRETACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MODELO VIRTUAL	69
<b>CAPITULO 6: DISEÑO DE MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN</b>	<b>70</b>
CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MUROS PORTANTES DE HORMIGON	70
DISEÑO A CORTE	70
DISEÑO A FLEXION	72
REFUERZO DE RETRACCION Y TEMPERATURA	73
RESULTADOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	73
Esquema de diseño	77
<b>CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE COSTOS</b>	<b>78</b>
ANÁLISIS DE ENCOFRADO PARA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN	81
Paneles o módulos del encofrado	81
Material de paneles o módulo del encofrado	81
Número de usos del equipo	81
Dimensiones de los módulos	81
Accesorios de sujeción	82
Armado de la formaleta	84
Mano de obra especializada	86
Tiempo de desencofrado	86
Costo y rendimientos del uso de formaletas	86
Consideraciones en el uso de formaletas en la construcción de los muros de hormigón.	87
RUBROS SISTEMA MAMPOSTERÍA CONFINADA	88
1. Enlucido	88
2. Mampostería de bloque	88
3. Columnas y Vigas superiores	90
RUBROS SISTEMA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN	92
1. Hormigón premezclado $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> .	92
2. Suministro y colocación de malla electrosoldada (U-108)	92
3. Encofrados y desencofrado de formaletas para muros de hormigón	94
4. Acero de refuerzo ( $f_y = 4200$ kg/cm <sup>2</sup> )	95
5. Curado de superficie con antisol.	96
RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS	97
Cantidad de material empleado	98
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>101</b>
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS SISTEMAS.	101
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	103
PRESUPUESTO REFERENCIAL	105
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS</b>	<b>113</b>



---

**ANEXOS**

**116**

**ANEXO A:** PLANOS ARQUITECTÓNICOS DE LA VIVIENDA TIPO SOCIAL

**ANEXO B:** PLANOS ESTRUCTURALES DE UNA VIVIENDA CON SISTEMA DE MAMPOSTERÍA CONFINADA

**ANEXO C:** PRESUPUESTOS Y ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**ANEXO D:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA VIVIENDA TIPO SOCIAL

**INDICE DE IMÁGENES**

<i>Imagen 1. Vivienda terminada del proyecto Quillopungo</i>	25
<i>Imagen 2. Típico muro portante de hormigón armado</i>	45
<i>Imagen 3. Encofrado del muro con formaletas especializadas.</i>	49
<i>Imagen 4. Acero de refuerzo en los muros</i>	50
<i>Imagen 5. Ejemplo del armado de una vivienda con formaletas de aluminio</i>	85

**INDICE DE FIGURAS**

<i>Figura 1. Productividad real por actividades</i>	27
<i>Figura 2. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z</i>	29
<i>Figura 3. Tipo de cimentación en muro portante, Cadena de cimentación sobre zócalo de hormigón ciclópeo</i>	30
<i>Figura 4. Principales elementos de mampostería confinada.</i>	34
<i>Figura 5. Dimensiones de elemento de mampostería utilizado en la vivienda tipo social</i>	35
<i>Figura 6. Posibles modos de falla en un muro de mampostería</i>	39
<i>Figura 7. Falla ante carga axial, compresión de un sistema de mampostería</i>	40
<i>Figura 8. Fallas por cortante.</i>	40
<i>Figura 9. Estados de daños para los estados límites ELS, ELO, ELDC y ELU</i>	42
<i>Figura 10. Clasificación de muros según su relación de aspecto: (1) Bajos, (2) Intermedios (3) Altos</i>	46
<i>Figura 11. Modos de falla de muros en voladizo</i>	47
<i>Figura 12. Distribución de los muros según su disposición en planta.</i>	49
<i>Figura 13. Representación de la vivienda tipo, obtenida en AutoCAD 3D.</i>	52
<i>Figura 14. Modelo obtenido en la interfaz de SAP2000 de la vivienda tipo</i>	52
<i>Figura 15. Vista en planta de correas emplazadas en cubierta.</i>	55
<i>Figura 16. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones</i>	56
<i>Figura 17. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones en función de los valores establecidos del caso de estudio.</i>	59
<i>Figura 18. Vista frontal de la vivienda (Muro 1)</i>	61
<i>Figura 19. Muro interior con orientación X-X (Muro 2).</i>	61
<i>Figura 20. Vista posterior de la vivienda (Muro 3).</i>	62
<i>Figura 21. Vista lateral izquierda (Muro 4).</i>	63
<i>Figura 22. Muro interior con orientación Y-Y (Muro 5).</i>	64
<i>Figura 23. Vista lateral derecha (Muro 6).</i>	65
<i>Figura 24. Momentos negativos relevantes en el desarrollo del modelo.</i>	66
<i>Figura 25. Momentos negativos relevantes en el desarrollo del modelo.</i>	68
<i>Figura 26. Disposición de muros portantes en planta baja.</i>	70
<i>Figura 27. Nomenclatura utilizada para dimensiones del muro.</i>	75
<i>Figura 28. Esquema de sección transversal del muro portante de hormigón diseñado.</i>	77
<i>Figura 29. Esquema de sección longitudinal del muro portante de hormigón diseñado.</i>	77
<i>Figura 30. Esquema de malla U-108</i>	93
<i>Figura 31. Catálogo de formaletas de aluminio para construcción de viviendas</i>	82
<i>Figura 32. Esquema y dimensiones de los módulos o formaletas para la construcción de la vivienda social de este estudio.</i>	82
<i>Figura 33. Tipos de pasadores para encofrado de aluminio (Forsa).</i>	83
<i>Figura 34. Cuñas para encofrado de aluminio (Forsa).</i>	83
<i>Figura 35. Tipos de corbatas para encofrado de aluminio (Forsa).</i>	83
<i>Figura 36. Saca módulos de encofrado de aluminio (Forsa).</i>	84
<i>Figura 37. Elementos de esquina en el encofrado de aluminio (Forsa).</i>	84
<i>Figura 38. Armado de módulos para el muro 6 de la vivienda tipo social.</i>	85
<i>Figura 39. Armado de módulos para el muro 3 de la vivienda tipo social.</i>	85



Figura 40. Armado de módulos para el muro 1 de la vivienda tipo social.	86
Figura 41. Comparación de las derivas máximas generadas por el sismo, en ambos sistemas constructivos.	104
Figura 42. Esquema de desplazamientos localizados de los sistemas	104

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas.	28
Tabla 2. Dimensiones y refuerzo mínimos de la cimentación corrida.	29
Tabla 3. Amortiguamiento interno y peso por frecuencia de algunos materiales.	37
Tabla 4. Distorsiones angulares considerando los muros como un todo.	42
Tabla 5. Valores obtenidos de carga muerta distribuida en las correas de la vivienda.	55
Tabla 6. Resumen de valores obtenidos de carga viva distribuida en las correas de la vivienda	55
Tabla 7. Valores de conformación del espectro de aceleraciones.	58
Tabla 8. Resumen de cortante y momentos máximos encontrados en cada muro con su orientación.	69
Tabla 9. Principales propiedades de los materiales utilizados en el diseño del muro de hormigón.	74
Tabla 10. Resumen de propiedades y características mecánicas del muro de hormigón.	74
Tabla 11. Requisitos generales para diseño del muro de hormigón.	75
Tabla 12. Resumen de comprobación de cortante nominal en el diseño a corte del muro.	75
Tabla 13. Resumen de comprobación de momentos en el diseño a flexión del muro.	76
Tabla 14. Resumen de comprobación de acero para retracción y temperatura.	76
Tabla 15. Rubros y cantidades de obra para el sistema constructivo muros portantes de hormigón.	78
Tabla 16. Rubros y cantidades de obra para el sistema constructivo con mampostería confinada.	79
Tabla 17. Análisis de precios unitarios del rubro enlucidos.	89
Tabla 18. Análisis de precios unitarios del rubro mampostería de bloque.	89
Tabla 19. Análisis de precios unitarios del rubro viga electrosoldada V1.	90
Tabla 20. Análisis de precios unitarios del rubro hormigón premezclado para columnas y vigas en el sistema de mampostería confinada.	91
Tabla 21. Análisis de precios unitarios del rubro encofrado recto para columnas y vigas.	91
Tabla 22. Análisis de precios unitarios del rubro hormigón premezclado para muros portantes.	92
Tabla 23. Propiedades de mallas electrosoldadas Armex Ultra. Tomado de IdealAlambrec.com	93
Tabla 24. Análisis de precios unitarios del rubro malla electrosoldada U-108.	94
Tabla 25. Análisis de precios unitarios del rubro encofrados metálico recto para muros.	95
Tabla 26. Análisis de precios unitarios del rubro acero de refuerzo ( $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ).	96
Tabla 27. Resumen de análisis de precios unitarios.	98
Tabla 28. Cantidad de obra y presupuesto referencial de los rubros relevantes para el sistema de mampostería confinada.	99
Tabla 29. Cantidad de obra y presupuesto referencial de los rubros relevantes para el sistema muros portantes de hormigón.	99
Tabla 30. Resumen de presupuesto total de la aplicación de los sistemas constructivos para una vivienda tipo social.	105
Tabla 31. Valores obtenidos del estudio de uso de formaletas en la construcción de viviendas de interés social en el proyecto Miraflores.	87
Tabla 32. Desplazamiento máximo generado por sismo en el sistema muros portantes de hormigón.	103
Tabla 33. Desplazamiento máximo generado por sismo en el sistema de mampostería confinada.	104
Tabla 34. Valores de $\Delta M$ máximos, expresados como fracción de la altura de piso.	105
Tabla 35. Valores de deriva máxima para cada sistema constructivo.	105
Tabla 36. Cuadro comparativo entre sistemas, marcando el sistema que aventaja al otro en cada característica.	110

## INDICE DE ECUACIONES





---

<i>Módulo de elasticidad del hormigón</i>	53
<i>Espectro de respuesta elástico (a).</i>	57
<i>Espectro de respuesta elástico (b).</i>	57
<i>Período de vibración (a).</i>	57
<i>Período de vibración (b).</i>	57
<i>Fuerza cortante requerida.</i>	70
<i>Resistencia nominal al cortante en diafragmas.</i>	71
<i>Resistencia nominal al cortante (ACI).</i>	71
<i>Momento nominal de una viga armada.</i>	72
<i>Cuantía mínima (a) ACI.</i>	73
<i>Cuantía mínima (b) ACI.</i>	73

## **Cláusula de licencia y autorización para publicación en el repositorio institucional**

Yo, René Eduardo Cárdenas Coronel en calidad de autor y titular de los derechos normales y patrimoniales del trabajo de titulación “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN FRENTE AL SISTEMA CONVENCIONAL DE MAMPOSTERÍA CONFINADA EN UNA VIVIENDA TIPO SOCIAL”, de conformidad con el Art. 114 del código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación, reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio constitucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la ley orgánica de educación superior.

Cuenca, 10 de abril de 2018



René Eduardo Cárdenas Coronel

C.I. 0302319983

### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el repositorio institucional

Yo, Esteban Iván Macancela Sacoto en calidad de autor y titular de los derechos normales y patrimoniales del trabajo de titulación “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN FRENTE AL SISTEMA CONVENCIONAL DE MAMPOSTERÍA CONFINADA EN UNA VIVIENDA TIPO SOCIAL”, de conformidad con el Art. 114 del código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación, reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio constitucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la ley orgánica de educación superior.

Cuenca, 10 de abril de 2018



Esteban Iván Macancela Sacoto

C.I. 0302718127



### **Cláusula de propiedad intelectual**

Yo, René Eduardo Cárdenas Coronel, autor del trabajo de titulación “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN FRENTE AL SISTEMA CONVENCIONAL DE MAMPOSTERÍA CONFINADA EN UNA VIVIENDA TIPO SOCIAL”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de abril de 2018

René Eduardo Cárdenas Coronel

C.I. 0302319983

### Cláusula de propiedad intelectual

Yo, Esteban Iván Macancela Sacoto autor del trabajo de titulación "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN FRENTE AL SISTEMA CONVENCIONAL DE MAMPOSTERÍA CONFINADA EN UNA VIVIENDA TIPO SOCIAL", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de abril de 2018



Esteban Iván Macancela Sacoto

C.I. 0302718127



## **AGRADECIMIENTO**

*La gratitud es una virtud propia de quienes aprendemos a valorar el tiempo de vida que nos brindan nuestros semejantes para darnos el mundo, entre otras cosas. Es por ello que, agradezco de todo corazón el apoyo incondicional, incansable e imparable que he tenido de mis padres en esta etapa de desarrollo social y académico en mi vida, a mi madre por ser ese hogar que todo hijo quiere, y a mi padre por ser esa voz de fondo que siempre está presente impulsándome a ser una mejor persona. Gracias a mis hermanas y hermano también por soportar a este insufrible hermano, gracias, gracias una y otra vez, gracias a ustedes, mi familia por este trabajo de grado está*

René Eduardo



## **AGRADECIMIENTO**

*En este largo proceso de formación y adquisición de conocimientos no bastan las palabras para expresar la gratitud hacia mi familia quienes han estado conmigo, a mis padres, mis hermanos, mis tíos, mi amigo entrañable Carlos Ochoa, y de manera especial a mi esposa Amanda y mis hijos Esteban e Isabella por ser el motor para la búsqueda del progreso diario, no me queda más que decir ¡Gracias Totales!*

*Esteban*

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Hoy en día las técnicas de construcción en nuestro medio son bien conocidas, específicamente hablando del sistema de construcción convencional de mampostería confinada de bloque o ladrillo, pues es el que más se utiliza para edificar viviendas pequeñas o que tienen poco alcance de alojamiento; su implementación se ha mantenido por varios siglos según cuenta la propia historia. Sin embargo, el área constructiva no es indiferente a los avances en técnicas de construcción y sistemas constructivos, tal es el caso del sistema de muros portantes de hormigón.

A través de los años el área constructiva ha desarrollado una variedad de sistemas utilizados para la construcción de una obra. Desde la época de los incas ya se levantaban castillos con sistemas constructivos de mampostería, su aplicación (la de este método constructivo), ha logrado hacer que se convierta en el sistema constructivo por excelencia a través de los siglos.

Existe variedad de edificaciones en tamaño, tipo, forma, etc. que dependiendo de su alcance van desde grandes proyectos constructivos hasta pequeñas estructuras tales como viviendas unifamiliares, estas viviendas unifamiliares generalmente son construidas mediante sistemas constructivos tradicionales de mampostería y, que a menudo, son compartidas por un número alto de personas. Por otro lado, las encuestas recogidas tras el sismo de Manta en el 2016 muestran que las construcciones realizadas informalmente para estos sistemas constructivos convencionales, actualmente un 70% en el país (Vizúete, 2016), se conviertan en un agravante a la calidad constructiva.

Entonces se trata de recurrir a un sistema constructivo diferente, un muro portante de hormigón. Un muro portante de hormigón es según el código ACI 3-18S-14, capítulo 11, aquel elemento capaz de presentar resistencia a fuerzas verticales y laterales y cuya función es elementalmente estructural pero su utilización en la construcción de viviendas no es el más común en nuestro medio, (generalmente se utiliza el sistema de construcción de mampostería confinada) y como mencionan Carrillo y Alcocer en su artículo Revision of Sustainable Criteria of Concrete Walls for Earthquake-Resistant Housing, "La construcción de viviendas con muros de concreto es una de las opciones integralmente eficiente, es decir, satisface los requisitos sismorresistentes y puede ser ambientalmente amigable con el planeta". (Carrillo &





Alcocer, 2012). Por lo que el estudio de su implementación en una vivienda social no puede ser desapercibido. Además, Si bien la construcción con muros de hormigón reforzado se asocia con un elevado costo económico, dicho costo podría reducirse mediante el efecto de escala al industrializar el sistema y construir masivamente viviendas de similares características.

Ahora, tan sólo el 46.9% de hogares en el Ecuador cuentan con vivienda propia y totalmente pagada según el último censo poblacional realizado en el país en el 2010 (INEC, 2017). A partir de aquí se tiene que el 60.06% de hogares en el país son catalogados como hogares pobres (INEC & CEPAL, 2011, p. 15), tomando en cuenta aspectos de: economía, educación básica, vivienda, servicios básicos y hacinamiento, se tiene que aún es palpable el déficit de una vivienda propia para hogares pobres en el país, por lo cual la adquisición de una vivienda propia para estas familias se vuelve un asunto de economía mínima, llamando así la atención del sector constructivo que plantea un enfoque no sólo de una óptima aplicación de los sistemas constructivos, sino también de enfoque en seguridad estructural para estas viviendas, pues, por lo general la vivienda social está enfocada en una vivienda de bajo precio, aunque a veces esto signifique disminución de calidad y seguridad mientras que, una vivienda construida con muros portantes de hormigón garantiza o aumenta lo relacionado a seguridad de la vivienda ante un evento sísmico.

Se ha hablado entonces de métodos constructivos y la necesidad humana de una vivienda económica, digna y que garantice seguridad estructural, por lo que, es aquí donde se propone la implementación de un sistema constructivo para la construcción de una vivienda de interés social construida con muros portantes de hormigón, permitiendo de esta manera solventar esta necesidad de vivienda para el sector vulnerable de la sociedad.

### **ALCANCE Y CONTENIDO**

El alcance del presente trabajo de titulación consiste en la obtención de un análisis comparativo entre dos métodos constructivos para la edificación de una vivienda tipo social: El sistema de muros portantes de hormigón, y el método de construcción convencional de mampostería confinada de bloque o ladrillo. Teniendo en cuenta aspectos como: su comportamiento estructural (se obtiene por el diseño y modelación estructural del sistema), su cotización

referencial (se obtiene por un análisis de precios unitarios usando los rendimientos y tiempos de ejecución que se introducen en el software InterPro). De esta manera, se definen ventajas y desventajas de cada sistema constructivo mencionado.

### **JUSTIFICACIÓN**

El uso especializado de la tecnología y metodologías constructivas beneficia al mundo de la construcción en general, así como lo impulsa a su desarrollo y evolución, aportando a romper temeridades tales como la palabra "cambio", la cual resulta en una incertidumbre por la falta de experiencias en la aplicabilidad; en este sentido la implementación de un sistema constructivo que ofrezca una garantía de seguridad estructural a una edificación de vivienda tipo social resulta en gran relevancia en nuestro medio por las siguientes razones:

1. La necesidad de una vivienda tipo social que brinde un nivel de seguridad estructural frente a diferentes desastres naturales tal como sismos, los cuales no han sido indiferentes a nuestro país a lo largo de la historia.
2. La optimización de recursos, lo cual en la construcción resulta vital para el sustento económico del constructor.
3. La disminución en la cantidad de materiales, basado en la disminución de material de encofrado, es otro aspecto vital tanto para el constructor como para el usuario, a más de disminución de la cantidad de desechos.
4. El factor tiempo, el cual tiene su importancia, pues su duración es proporcional al costo final de la edificación.

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar ventajas y desventajas del sistema de muros portantes de hormigón frente al método constructivo convencional de mampostería confinada de bloque o ladrillo para una vivienda tipo social.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- 1.1.1 Realizar una descripción de los sistemas constructivos: muros portantes de hormigón y método constructivo de mampostería confinada.



- 1.1.2 Diseño estructural y análisis del comportamiento estructural del sistema muros portantes de hormigón en una vivienda de tipo social; caso de estudio.
- 1.1.3 Realizar un análisis de costos de los sistemas constructivos mencionados mediante cálculos de precios unitarios a través de la ayuda del software InterPro.
- 1.1.4 Establecer las fortalezas y debilidades de cada uno de los métodos analizados.

### **MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación sobre el método constructivo y su funcionamiento se realiza mediante:

- 1. Revisión bibliográficas; 2. Modelación y simulación virtual del proyecto. 3. Análisis de costos para cada método.

Para el desarrollo de la problemática en cuestión investigada en este trabajo; se desarrolla en primer lugar mediante la manifestación de bibliografía que está estrechamente vinculada al caso, obteniendo ideas que representan y dan paso a la lógica demostrativa de que el uso de un sistema de muros portantes de hormigón deriva en seguridad estructural en la edificación de viviendas tipo social comparado al método de construcción tradicional de mampostería, pues la revisión bibliográfica, como momento ineludible de toda investigación científica, supone al fin y al cabo la aplicación de todo un verdadero método de estructuración teórica en el campo de la investigación. (Izaguirre, Rivera, & Mustelier, 2010).

Por otro lado, se tiene el análisis estructural del modelo de una vivienda tipo social, con lo cual se pretende proporcionar una base matemática demostrativa de las diferencias entre los métodos constructivos, dando a la investigación una base argumentativa sólida. Para lograr esto se opta por utilizar el software para modelado estructural digital SAP 2000 de la casa CSI.

Finalmente, para colaborar con información sobre las diferencias que existen entre estos métodos, se evalúa las diferencias económicas en la construcción de la vivienda social ya sea con uno u otro método constructivo. Para obtener el coste de construcción de esta vivienda con cualquiera de estos dos métodos se utiliza el programa de gestión de construcción InterPro.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Un sistema constructivo se puede definir principalmente de dos maneras según Carrió (2005):

1. Es un conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí.
2. Es un conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

Para el caso de estudio, al igual que define el Arq. Monjo Carrió, en su investigación *"La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización"*. (2005), artículo relacionado al campo de la construcción, se define a un sistema constructivo el conjunto de elementos y unidades de un edificio que forman una organización funcional con una misión constructiva común, sea ésta de sostén (estructura) de definición y protección de espacios habitables (cerramientos) de obtención de confort (acondicionamiento) o de expresión de imagen y aspecto (decoración). Es decir, sistema como conjunto articulado, más que el sistema como método.

### INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

La industrialización consiste en la producción de bienes a gran escala, mediante la utilización de máquinas accionadas por nuevas fuentes de energía (RAE, 2017). Bajo esta definición de enciclopedia aplicada al ámbito constructivo se puede decir entonces que la industrialización consiste en la producción a gran escala de edificaciones utilizando recursos y maquinaria que facilita la construcción de estas estructuras.

Se sabe que, en la construcción cíclica de una estructura, con la misma geometría, tipo, diseño en general; mucho de su material o elementos de apoyo utilizados para la construcción de dicha estructura se reutilizan, es decir cuando estos elementos utilizados tienen una vida útil mayor a un uso, creando de esta manera una conciencia constructiva de cual metodología o sistema constructivo es mejor usar con la finalidad de generar un ahorro en la economía pública o privada. Por ejemplo: en la construcción de un muro con dimensiones definidas, se utiliza un tipo de encofrado específico, suponiendo que dicho encofrado es la pieza reutilizable, este sirve inmediatamente para la construcción de un nuevo muro en una nueva casa; si hablamos de una vivienda construida con muros portantes de hormigón y cuyas dimensiones básicamente son las mismas, es decir un proyecto



modular, se puede alcanzar un ahorro tras la metodología expuesta. Por otro lado, suponiendo que dicho muro de la misma vivienda se ha creado con piezas de mampostería, la construcción de estos muros implica el acomodo de pieza por pieza, verificando su traba, su alineamiento, colocando material conglomerante pieza por pieza, creando de cierta manera un tiempo perdido comparado al tiempo de vaciado de hormigón que implicaría el uso de un encofrado para la construcción de un muro de hormigón.

Si se habla de un proyecto modular, industrializado, el tiempo de colocado de mampostería se puede reemplazar por el tiempo de armado de los encofrados para el vertido de hormigón y construcción del muro, no se habla de la misma metodología constructiva, por lo tanto, una tiene que abaratar costos en tiempo de ejecución con respecto a la otra, convirtiendo este parámetro en punto de comparación dando inevitablemente una ventaja sistemática en la construcción a un sistema de otro.

### **ENCOFRADOS**

Se definen un encofrado o un sistema de encofrado como la estructura externa que sirve como molde para el vaciado del hormigón, los encofrados o moldes son fundamentales para la construcción de viviendas o estructuras, sobre todo para aquellas que se pretenden crear como módulos en una región. Se presentan también en la gerencia de un proyecto como uno de los principales factores que determinan rendimientos o tiempos de ejecución del proyecto, pues su armado o colocación depende netamente de la mano de obra del proyecto u operarios especializados.

Las principales funciones del encofrado son dar al concreto la forma proyectada en el diseño, proveer estabilidad cuando el concreto se encuentra en estado fresco y asegurar la protección y la correcta colocación tanto del acero de refuerzo como de las instalaciones y sus accesorios; proteger al concreto en su edad temprana de golpes que puedan ocasionar problemas de resistencia, de la influencia de temperaturas externas y de la pérdida de agua, conservando la pasta (Silva, 2013).

Existen varios materiales que se utilizan en la construcción de un encofrado, los más usados son la madera y hierro, teniendo este último, una vida útil mayor a la madera y una superficie menos rugosa, lo que posibilita una mejor calidad de la superficie terminada del muro o pared una vez quitado el encofrado, admitiendo de esta manera la no necesidad de un acabado extra en la estructura para mejorar la estética de



la misma como se haría en el caso de utilizar encofrado de madera en zonas vistas (fachadas por ejemplo.), sin embargo, el precio de obtención de un encofrado de hierro es mayor al de obtención de uno de madera, por lo que al hablar de construcciones modulares para viviendas tipo social, se debe hacer un análisis comparativo de cual sistema de encofrado es más benéfico a largo plazo en la construcción de estas estructuras; en esta tesis no se tratará este tema, sólo se contemplará el uso de encofrados.

### **HORMIGÓN**

El hormigón como concepto general es aquel grupo de áridos fino, grueso, cemento, aditivos y agua que al ser mezclados y curados forman una masa sólida que sirve como elemento estructural en la construcción de diferentes edificaciones o estructuras. Su resistencia está en función de la dosificación que se tenga entre sus elementos constituyentes, de la calidad de sus áridos, del cuidado del curado, entre otros parámetros.

El hormigón ha alcanzado importancia como material estructural debido a que puede adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias, de dimensiones variables, gracias a su consistencia plástica en estado fresco.

Al igual que las piedras naturales no deterioradas, el hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a sollicitaciones de tracción. Para aprovechar sus fortalezas y superar sus limitaciones, en estructuras se utiliza el hormigón combinado con barras de acero resistentes a la tracción, lo que se conoce como hormigón armado, o combinado con cables tensados de acero de alta resistencia, lo que se identifica como hormigón preesforzado. (Romo, 2008)

Una vez mezclado el hormigón, este se encuentra en estado fresco y necesita ser curado adecuadamente, por lo tanto, para asegurar que las reacciones de fraguado continúen, a partir del endurecimiento inicial del hormigón (que normalmente se producen en las primeras doce horas después del mezclado), se requiere dotar continuamente al hormigón de agua de curado, la que sirve para reponer el agua de amasado evaporada por el calor emanado como producto de las reacciones químicas. Esta agua de curado usualmente se la proporciona humedeciendo la superficie de los elementos de hormigón.



## Propiedades mecánicas del hormigón

Para el diseño de estructuras de hormigón simple, de hormigón armado, de hormigón preesforzado, de hormigón con perfiles laminados en caliente de acero, de hormigón con perfiles soldados de acero, etc., se utilizan las propiedades mecánicas del hormigón endurecido. Entre las más importantes se tiene de Romo (2008):

### a) Resistencia a la compresión

La propiedad de diseño más importante del hormigón constituye su resistencia mientras que la propiedad constructiva más importante es su trabajabilidad. Usualmente estas dos propiedades son mutuamente conflictivas durante la construcción. Cuando se habla de diseño estructural con hormigón, se habla de un hormigón estructural, el Instituto Americano de Concreto (ACI, por sus siglas en inglés), establece que la resistencia mínima para considerar al hormigón un hormigón estructural es de 210 Kg/cm<sup>2</sup> (ACI 318S, 2014).

### b) Módulo de elasticidad

Los hormigones de menor resistencia suelen mostrar una mayor capacidad de deformación que los hormigones más resistentes. Todos los hormigones presentan un primer rango de comportamiento relativamente lineal y elástico ante la presencia incremental de sollicitaciones de compresión, cuando las cargas son comparativamente bajas (menores al 70% de la carga de rotura), y un segundo rango de comportamiento no lineal e inelástico cuando las cargas son altas. La pendiente de la curva en el rango de comportamiento lineal recibe la denominación de módulo de elasticidad del material. El módulo de elasticidad es diferente para distintas resistencias a la compresión de los hormigones, e incrementa en valor cuando la resistencia del concreto es mayor. Así para un hormigón con resistencia de 210 Kg/cm<sup>2</sup> se tiene un módulo de elasticidad igual a 217000 Kg/cm<sup>2</sup>.

### c) Ductilidad

Definiendo como ductilidad de un material a la capacidad que tiene para continuar deformándose no linealmente a pesar de que los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive si existe una disminución de la carga, una medida cuantitativa de esa ductilidad sería el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico.

### d) Resistencia a la tracción

El hormigón es un material ineficiente resistiendo cargas de tracción; comparativamente esta resistencia representa hasta un 10% de su capacidad a la compresión. Es por ello por lo que en el hormigón armado los esfuerzos de tracción son absorbidos por el acero de refuerzo.

e) Resistencia al corte

Debido a que las fuerzas cortantes se transforman en tracciones diagonales, la resistencia al corte del hormigón "Vc" tiene órdenes de magnitud y comportamiento similares a la resistencia a la tracción.

**VIVIENDA TIPO SOCIAL.**

Llamamos una vivienda tipo social aquella edificación que cumpla con lo estipulado en la Constitución del Ecuador año 2008 Título II.- Derechos. - Capítulo II.- Derechos del Buen Vivir. - Sección Sexta. - Hábitat y Vivienda. Art. 30.- "Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica". En este contexto, una vivienda tipo social es una edificación que a más de suplir este requisito que manda la constitución y, como es necesario los requisitos técnicos demandados por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), se edifica con una economía mínima que crea una estructura simple, que en sustancia es destinada para los hogares más vulnerables en el área económica de nuestro país.

Por otro lado, el capítulo 10: Viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5 metros del CPE INEN-NEC-SE-VIVIENDA (2015) define como vivienda, a aquellas edificaciones que pueden estar formando conjuntos de viviendas adosadas que conforman un cuerpo estructural con dimensión máxima en planta de 30 m., o con luces (distancia libre entre apoyos verticales o elementos de confinamiento):

- Que no excedan 5.0 metros y que no superen dos niveles de altura en ninguna de sus fachadas.
- 0 6.0 metros en altura desde el suelo en cubierta plana y hasta 8.0 a la cumbre en caso de cubierta inclinada, hasta el nivel más alto de su cubierta y cuyo uso sea exclusivamente residencial.

Para el presente caso de estudio se ha tomado el modelo de vivienda proporcionado por el MIDUVI (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014), con nombre de proyecto "Quillopungo", el cual fue ejecutado en las comunidades de



la parroquia Luis Cordero del cantón Azogues, provincia del Cañar, con código de proyecto 201-00196.



Imagen 1. Vivienda terminada del proyecto Quillopungo, Fuente: MIDUVI (2014).

La vivienda tiene una envergadura en planta de 6x6 m, es de un sólo piso, conformada por: dos dormitorios, un baño común, una cocina básica, una sala, cubierta metálica. Los planos se adjuntan en los Anexos.

### **ANÁLISIS DE COSTOS**

Para establecer las diferencias económicas en la utilización de un sistema u otro para construir una vivienda tipo social, se empieza por definir las características a ser evaluadas dentro de este análisis, sabiendo que el análisis presentado en este estudio es netamente referencial, pues no se hace un estudio a profundidad como se haría en el caso de una oferta.

#### Precios unitarios

En los inicios de la construcción, el éxito de un constructor frecuentemente dependía de su habilidad para manejar, de acuerdo con sus experiencias personales, al elemento humano, los materiales y equipo, a fin de ejecutar la obra en el menor tiempo, al más bajo costo y a la más alta calidad posible.

El precio unitario en la construcción es el importe total que el contratante cubre al contratista, por unidad de obra y conceptos de trabajo que ejecute. (Trinidad Torres, 2000). Una vez que se tiene el catálogo de insumos y el análisis de los costos básicos se procede a determinar el factor de sobrecosto que se empleará, para poder calcular todos los precios unitarios del catálogo de actividades.



En los anexos se presentan los costos unitarios que han sido desarrollados para este estudio.

#### Especificaciones

Son la descripción detallada de características y condiciones mínimas de calidad que debe reunir un producto. Las especificaciones deben ser exactas y detalladas y que señalen el proceso constructivo más viable de los sistemas, materiales y equipos que se dispongan para esa zona; ya que proponer especificaciones fuera de la realidad del lugar, puede ocasionar errores en el constructor que impida la calidad deseada (Trinidad Torres, 2000).

Una mala especificación puede impedir integrar un costo unitario, además deben ser claras para evitar interpretaciones personales del contratista. Las especificaciones forman parte integrante del contrato, que otorga la contratante a la compañía constructora, que en el sucesivo se llamará contratista. En los anexos se presenta también un resumen de algunas especificaciones relevante de la vivienda tipo social presentada en este estudio.

#### Rendimientos y mano de obra

El rendimiento en sí es la respuesta de un mecanismo en relación a lo que pretende resolver, es decir, la ganancia ya sea de tiempo, dinero o aplicabilidad de un sistema determinado en comparación a su fin inicial; bajo este contexto, los rendimientos que se levantan en una obra de construcción son aquellos que permiten cuantificar el desarrollo de una actividad dentro del proceso constructivo, ya sea obteniendo un rendimiento de mano de obra o un rendimiento de la maquinaria utilizada para construir. En el caso de rendimiento por mano de obra, el primer paso es determinar el número de obreros y el jornal por cuadrilla (Merritt, 1982), luego este mismo autor afirma que, por experiencia el estimador sabe que dicho personal es suficiente para construir cierta cantidad de obra en un tiempo dado, es decir un rendimiento.

Por lo tanto, en cada caso particular el usuario de los datos, debe investigar en forma exhaustiva, consistente y estadística los rendimiento por grupo y actividad de la construcción, esto para lograr integrar sus propios rendimientos, que al final entonces son un resumen del producto de su experiencia, sus políticas de empresa, sus motivadores, sus facultades de director, sus relaciones humanas, su estudio de tiempos y movimientos, su condición competitiva, etc. (Suarez, 2002).

Entonces, al momento de realizar una programación de obra se tiene obligatoriamente la consideración de rendimiento de la mano de obra de cada cuadrilla en cada actividad que realicen. Estos rendimientos se obtienen por medio de la medición en obras similares en las cuales se haya laborado.

Como referencia a un rendimiento de mano de obra en la manipulación de mampostería se tiene los datos de la figura 1.

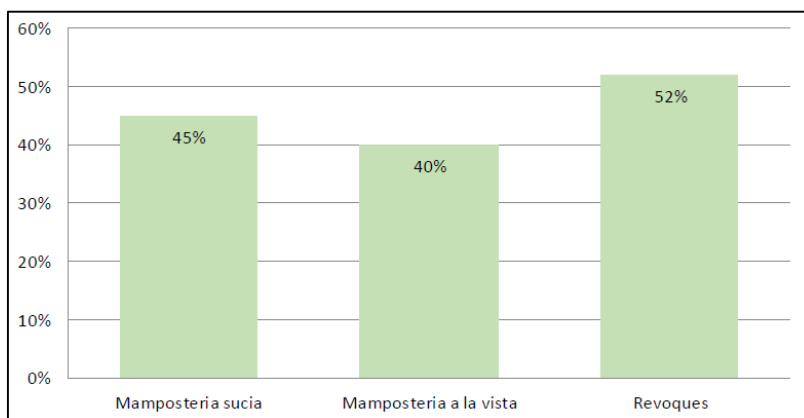


Figura 1. Productividad real por actividades. Tomado de (Jaramillo & Contreras, 2014)

Cuadrilla. - En el caso de estudio, se presenta una cuadrilla máxima de 5 obreros, lo que es lo habitual en el medio para una vivienda pequeña, cumpliendo estos con diferentes cargos como albañilería, carpintería, etc. Dicha cuadrilla tiene al menos un maestro mayor en ejecución de obras civiles (maestro principal).

### **ACCIONES SÍSMICAS, SISTEMAS Y CONFIGURACIÓN SISMO RESISTENTE**

El buen comportamiento sísmico de una edificación de uno y dos pisos depende, en gran parte, de que en su planeamiento estructural se sigan las normas generales. Los más relevantes para el presente caso son (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015):

#### Acciones sísmicas

Se define a los sistemas estructurales en la tabla siguiente, dónde el coeficiente  $R$  es la reducción de respuesta estructural:

Tabla 1. Sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas. Tomado de la Tabla 4 de (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

<b>Sistema Estructural</b>	<b>Coefficiente R</b>	<b>Limitaciones en altura (pisos)</b>
Muros Portantes de mampostería confinada	3	2
Muros Portantes de hormigón reforzado	3	2

#### Acciones sísmicas de diseño

El diseño sísmo resistente para los sistemas constructivos estudiados se basan en fuerzas y consiste en verificar que la resistencia lateral de la estructura  $V_{MR}$  es mayor o igual a la demandada por el sísmo de diseño,  $V_{base}$ . El análisis de las derivas de piso no es mandatorio.

#### Zonificación sísmica y factor de zona Z

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI.

#### **CIMENTACIONES**

##### Requisitos mínimos para cimentación de muros portantes

Deberá existir bajo todos los ejes de muro y debe ser continua incluso en aberturas como puertas y ventanas, además debe tener refuerzo longitudinal superior e inferior y estribos de confinamiento en toda su longitud. Las dimensiones y el refuerzo de los cimientos se presentan en la tabla 2. El nivel inferior de las riostras de cimentación deberá estar a una profundidad mínima de 500 mm debajo del nivel de acabado de la planta baja o de acuerdo con lo especificado por el estudio de suelos.

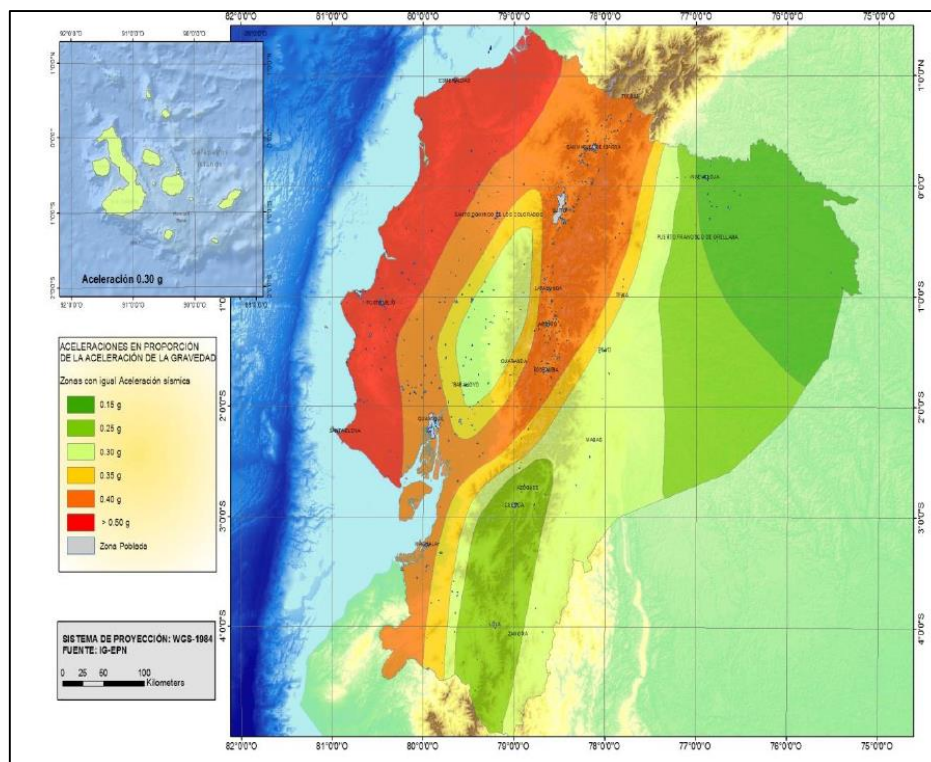


Figura 2. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z. Tomado de (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

Tabla 2. Dimensiones y refuerzo mínimos de la cimentación corrida. Tomado de (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

Cimentación corrida	Un piso	Dos pisos	Resistencia Mínima	
			Acero de Refuerzo	Hormigón
			$f_y$ (MPa)	$f'_c$ (MPa)
Ancho	250 mm	300 mm	* 420 (barra corrugada)	18
Altura	200 mm	300 mm		
Acero longitudinal	4 $\phi$ 10* mm	4 $\phi$ 12* mm		
Estribos	$\phi$ 8* mm @ 200 mm	$\phi$ 8* mm @ 200 mm		
Acero para anclaje de muros	10* mm	10* mm		
NOTA. Cuando se emplee acero de refuerzo de fluencia especificado mayor a 420 MPa (4 200 kg/cm <sup>2</sup> ) las cuantías de acero calculadas se podrían reducir multiplicándolas por 420/ $f_y$ en MPa (4200/ $f_y$ en kg/cm <sup>2</sup> ).				

Para muros portantes, con o sin alma de poliestireno, de hormigón armado o de mortero armado, se debe prever anclaje al sistema de riostras de cimentación, con refuerzo de acero como pasadores tipo espigos o insertos, chicotes de anclaje que cumplen con la longitud de desarrollo establecida en ACI 318. La cimentación para estos dos sistemas podrá ser superficial y diseñada en función de la capacidad portantes del suelo y su verificación estructural.

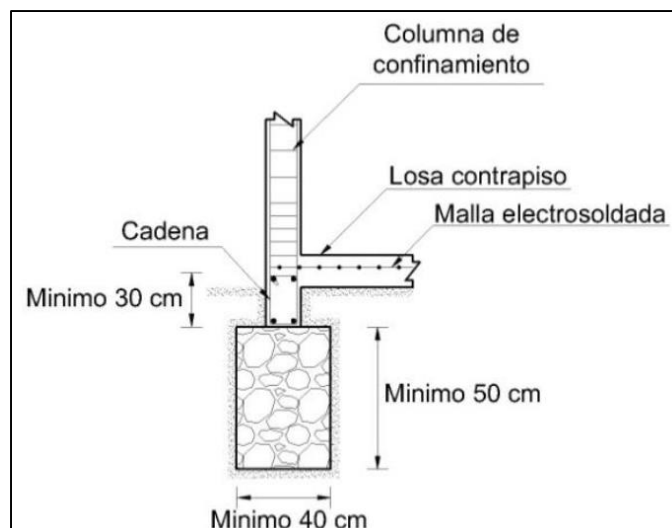


Figura 3. Tipo de cimentación en muro portante, Cadena de cimentación sobre zócalo de hormigón ciclópeo. Tomado de (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

Por lo tanto, al ser la vivienda de tipo social una vivienda de un piso, la configuración de su cimentación será según el diseño mostrado en la figura 3, una cimentación corrida con dimensiones mínimas presentadas en la tabla 2, es decir ancho mínimo de 25 centímetros, altura mínima de 20 centímetros y el acero expuesto, asentada sobre un zócalo de hormigón ciclópeo de profundidad 50 centímetros; y para asegurar la durabilidad de las riostras de cimentación, el recubrimiento será de 5 centímetros, pues estas estarán en contacto con el suelo.



### **CAPÍTULO 3: SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MAMPOSTERÍA CONFINADA**

Un muro que se construye con el sistema de mampostería es aquel muro constituido por piezas individuales unidas entre sí con un conglomerante; le agregamos el calificativo de confinada a este sistema cuando además está reforzado con vigas y columnas de confinamiento de hormigón que cumplen con los requisitos geométricos definidos en la norma ecuatoriana de la construcción y están además reforzados con barras, armadura electro soldada o alambres corrugados o lisos de acero. (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

#### **FUNDAMENTOS**

A través de los años y siglos se ha utilizado la mampostería para la construcción de edificaciones, tal es el caso del imperio Inca, ejemplo vivo de nuestro entorno y, cuyas edificaciones son vestigios de la resistencia a la intemperie de una mampostería bien elaborada, los tipos de mampostería son varios y se pueden clasificar como sigue, siendo estos los más destacables: 1. Según su material de constitución, 2. Según su disposición estructural en un muro y 3. Según el material de conglomeración.

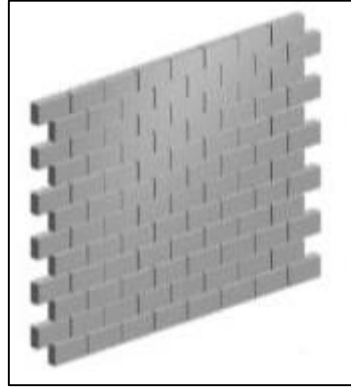
#### **CLASIFICACIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA SEGÚN SU MATERIAL DE CONSTITUCIÓN**

Para el caso del material de constitución, los 4 más usados para la elaboración de mampostería son: Adobe, Piedra, Arcilla y hormigón.

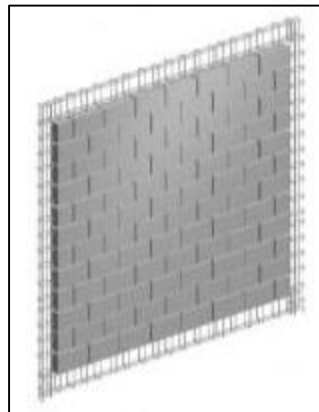
El adobe fue el material por excelencia en la antigüedad para la edificación, pues su baja resistencia (mezcla de barro y paja) era suficiente para las antiguas pequeñas viviendas. La piedra se utiliza más en muros vistos y su utilización no es típica en el país para la elaboración de paredes de viviendas. La arcilla, presente principalmente en los ladrillos, es un material barato y eficiente, sirve eficientemente para el propósito que es destinado, pero sus rasgos tradicionales han limitado de cierta manera su uso, pues generalmente se tiene este elemento de mampostería como un elemento macizo, lo que aumenta el peso en sí de la estructura aunque, hoy en día se puede hallar fácilmente elementos con sección hueca llamado ladrillo tochano, otro elemento de sección hueca finalmente son los elementos constituidos por hormigón, que es el último material de esta lista, siendo el más utilizado en la actualidad, de fácil acceso en el medio, de precio de mercado inferior al de ladrillo tochano y con condiciones funcionales aceptables.

## CLASIFICACIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA SEGÚN SU DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL

Según su disposición estructural en el muro la mampostería puede tenerse en:

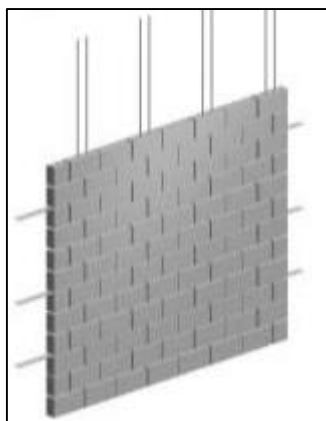


1. Mampostería simple. - Es la estructura conformada por piezas de mampostería unidas por medio de mortero. Esta mampostería no tiene refuerzo por lo general; también es llamada mampostería de relleno, su función es dividir ambientes, no tiene función estructural. (NEC-SE-MP, 2015).

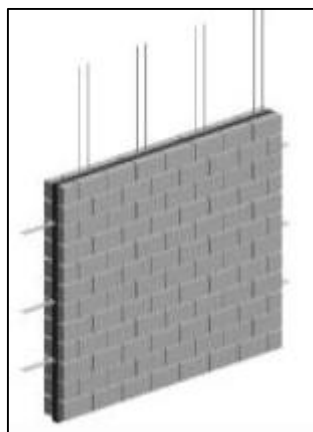


2. Mampostería confinada. - Mampostería construida rígidamente rodeada en sus cuatro lados por pilares y vigas de hormigón armado, proyectados para que trabajen como pórticos resistentes a flexión. (NEC-SE-MP, 2015)





3. Mampostería reforzada. - Muros construidos de piezas de perforación vertical, reforzados en su interior con barras de acero. Las juntas horizontales son de mortero. Es la mampostería con refuerzo embebido en celdas rellenas, conformando un sistema monolítico. (NEC-SE-MP, 2015)



4. Mampostería de cavidad reforzada. - Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado en funcionamiento compuesto. (Rivera, 2010).

#### **CLASIFICACIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA SEGÚN SU MATERIAL DE CONGLOMERACIÓN**

Finalmente, según el material de conglomeración se tiene:

**Junta de mortero de cemento.** - El mortero de cemento es un material de construcción obtenido al mezclar arena y agua con cemento, al hablar de junta de mortero, se da al mortero un uso específico de conglomerante, uniendo cada pieza de mampostería en la disposición estructural que se haya determinado, logrando de esta manera formar una pared o muro como un cuerpo sólido.

**Junta Seca.** - La mampostería seca es la colocada a tope sin junta de conglomerante. Esta junta trabaja por simple fricción y/o por trabamiento de las piezas. (Herrera & Guillermo, 2010).

#### **ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA**

Los principales elementos que constituyen un sistema estructural basado en mampostería confinada se ilustran en la figura 8:

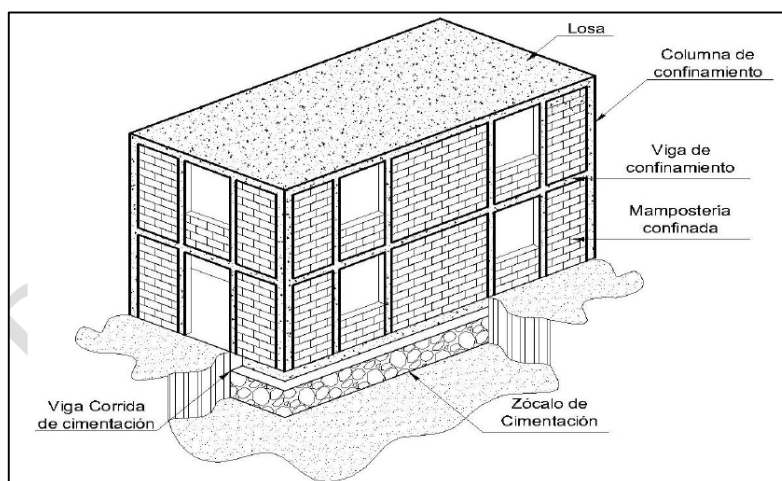


Figura 4. Principales elementos de mampostería confinada. Tomado de (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

#### **MODELO DE EVALUACIÓN MAMPOSTERÍA CONFINADA**

Presentados los materiales típicos de elaboración para mampostería, disposiciones estructurales y materiales de conglomeración, se procede a definir las características con las que se crea el modelo de evaluación para el sistema constructivo de mampostería confinado, empezando con este último parámetro ya definido, la disposición estructural para este caso es de mampostería confinada con vigas y columnas de hormigón conectadas en cada esquina de la pared o muro, convirtiéndolo en un cuerpo homogéneo. El material del elemento de mampostería se toma como el material típico en la zona austral, es decir, bloque hueco de hormigón poroso, fácilmente accesible en el mercado local, cuyas dimensiones se definen en la figura 4; para este tipo de elemento de mampostería, el material conglomerante es pues, como se presentó antes, un mortero de cemento. Quedando de esta manera definido la composición del muro de mampostería confinada a ser evaluado.

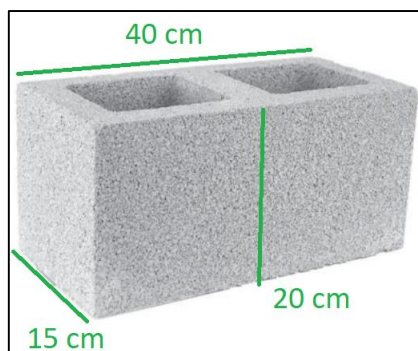


Figura 5. Dimensiones de elemento de mampostería utilizado en la vivienda tipo social.

Por lo tanto, el bloque de mampostería tendrá 40 centímetros de largo (soga), 15 centímetros de ancho (grueso) y 20 centímetros de alto (Tizón) y con dos perforaciones. Para el correcto acoplamiento de estos elementos en la conformación de una pared, todas las hiladas deben estar perfectamente niveladas, trabadas y aplomadas tanto horizontal como vertical, es decir, garantizar su unidad constructiva, para esto las juntas verticales deben estar alternadas entre hiladas y los solapes serán mayores o iguales que un cuarto del largo de un mampuesto. Los muros de dos o más hojas se podrán unir mediante conectores metálicos que garanticen su unidad constructiva. (Amado, 2007)

Las piezas de hormigón deben también asentarse en estado seco, pues colocarlas en estado húmedo producirá dilataciones y contracciones problemáticas. A diferencia de los ladrillos que se humedecen previamente para que no absorban el agua del mortero. (Herrera & Guillermo, 2010)

En cuanto a la estética del conjunto de mampostería, no es lo que en una construcción de vivienda se aspira a ver, por lo tanto, se debe dar un acabado final con una capa de mampostería u otro material como un empastado con el fin de solventar este requisito; a más de ello, esta última capa servirá también como capa de protección contra el agua u otros agentes atmosféricos.

Cuando se utiliza elementos prefabricados como las piezas de mampostería, se requiere manipular, transportar y almacenar las piezas; en la construcción se economizan recursos si los elementos que se utilizan son de menor peso. (Zalamea, 2015)

## FUNCIONALIDAD

### Aislamiento térmico

Sus funciones como aislante térmico o disipador acústico dependen del material de la mampostería, por ejemplo el hormigón poroso utilizado para la construcción de bloques huecos de mampostería posee un coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$  igual a 0.49 Kcal/hm °C con una densidad aparente de 1200 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que un ladrillo macizo con densidad aparente de 1800 Kg/m<sup>3</sup> tiene 0.75 Kcal/hm °C, y un elemento de hormigón armado normal (caso de estudio para muro portante) con densidad aparente de 2400 Kg/m<sup>3</sup> tiene 1.40 Kcal/hm °C. (NBE-CT, 1979). Mientras menor es el valor del coeficiente de conductividad térmica, mayor es el aislamiento térmico que ofrece dicho material, guardando así la temperatura interna de la edificación o evitando que la temperatura externa modifique la temperatura interna generando fluctuaciones de temperatura y volviendo disfuncional el diseño de servicio de una edificación.

El aislamiento térmico que ofrece una pieza de mampostería hueca, es decir que posee una cámara de aire formada por una o generalmente dos oquedades, se presenta con un alto rendimiento en cuanto a aislamiento térmico, es decir, impide la fácil fluctuación de calor de un ambiente a otro, esto ha sido corroborado por Gonzalo Arrau (1988) quien, comprobando experimentalmente en un ambiente donde al aire está completamente en calma y aprovechando la baja conductividad de este, éstas cámaras se presentan como muy buenos aislantes térmicos, encontrando además que la separación mínima entre las oquedades para que la cámara de aire actúe en forma eficiente es de 5 cm. (Arrau, 1988)

### Aislamiento acústico

En cuanto al aislamiento acústico, un bloque de concreto que posee perforaciones verticales permite que su área neta transversal varíe entre el 40% y el 50% del área bruta, lo que proporciona como ya se ha dicho, cámaras aislantes, estas cámaras aislantes por lo tanto pueden ser reforzadas además en su función de aislantes con materiales como espuma, fibra de vidrio, etc. La absorción del sonido se acentúa en los bloques de concreto con textura abierta y disminuye hasta en un 3% cuando han sido recubiertos con acabados lisos que contribuyen a cerrar los poros. Los muros de mampostería de concreto absorben entre el 18% y el 69% del sonido

dependiendo de la textura del concreto y del acabado de la superficie. (Herrera & Guillermo, 2010)

En un informe de la construcción para el aislamiento acústico presentado por el CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España) muestra en su tabla II (pág. 12) una serie de materiales con su factor de amortiguamiento  $n$  (sin dimensiones) a 1.000 Hz.

Tabla 3. Amortiguamiento interno y peso por frecuencia de algunos materiales. Tomado de (Tobio, 1970)

MATERIAL	(kp/m <sup>3</sup> )·Hz $M \cdot f_c$	Amortiguamiento ( $\eta$ )
Aluminio ... ..	34.700	10 <sup>-4</sup>
Ladrillo ... ..	34.700 a 58.600	0,01
Hormigón denso ... ..	43.900	0,005
Hormigón de clínker (enlucido) ...	48.800	0,005
Bloque de cenizas (cemento), 15 cm.	23.200	0,005
Bloque de hormigón denso, 15 cm.	23.000	0,007
Bloque hormigón (doble enlucido).	42.200	—
Placa hormigón de 10 cm ... ..	54.100	0,012
Madera ... ..	4.880	0,04
Vidrio ... ..	38.800	0,002
Plomo puro ... ..	605.000	0,015
Plomo endurecido (Sb) ... ..	508.000	0,002
Panel de yeso (plaster-board) ... ..	24.500	0,005
Plexiglás ... ..	35.400	0,002
Acero ... ..	97.500	10 <sup>-4</sup>
Yeso (bloque), 1 a 5 cm ... ..	12.700	0,01
Madera tipo Novopán ... ..	73.200	—

En esta tabla 3 se puede notar la diferencia en el grado de amortiguamiento entre un bloque de hormigón de 15 cm y una placa de hormigón de 10 cm (referencia al caso de muro portante en estudio con la diferencia en 2 cm de espesor), donde el bloque tiene un coeficiente de  $0.007 \times 10^{-4}$  mientras que la placa tiene  $0.012 \times 10^{-4}$ , esto significa que la placa posee una mayor transmisión de ondas comparado a un bloque de hormigón, pues mientras más bajo el factor, menos amortiguamiento de las ondas acústicas brinda o que es lo mismo, más sonido se transmite por el material. Además, dicha placa de hormigón (caso de estudio) está compuesta también por una malla de acero de refuerzo estructural, lo cual facilita de alguna manera la transmisión de sonido.

#### Resistencia al fuego

La resistencia al fuego de una pieza de mampostería con cámara de aire se expresa en función del espesor equivalente (eq), es decir el espesor del material sólido existente en la trayectoria del flujo calórico. Dicho espesor equivalente corresponde a un número de horas necesario para que se produzca la elevación máxima de temperatura aceptada en el ensayo a resistencia al fuego.



Herrera y Guillermo (2010) presentan algunos valores de horas para que se produzca la elevación máxima de temperatura de la pieza de mampostería en función del espesor de esta, sin embargo, lo que se busca es un tiempo equiparable entre elementos de mampostería y el muro de hormigón portante. Las guías de buenas prácticas del ministerio de trabajo de España ofrecen estos valores que reflejan las características de resistencia ante el fuego que, sin necesidad de ensayo, pueden otorgar las características a estos elementos buscados. Así tenemos que, para un bloque de hormigón hueco con 1,5 centímetros de revestimiento de mortero en la cara expuesta y cuyo espesor (ancho) de pieza es de 15 centímetros, presenta una resistencia al fuego de 120 minutos, mientras que; la resistencia presentada por un muro de hormigón armado con espesor de 10 centímetros sin revestir, con recubrimiento de la armadura principal de 1.0 centímetro posee una resistencia de tan sólo 30 minutos, este valor por supuesto no representa el caso de estudio actual, pues el muro portante tiene 8 centímetros en su ancho y el recubrimiento de la armadura no es de 1 centímetros, sino de 3 centímetros, variando este valor con tendencia a aumentar su resistencia, según la tabla II de las guías citadas, se aproxima la resistencia del muro caso de estudio a 60 minutos con fines comparativos. (NTP, Villanueva, 1983)

#### Transporte

Al ser las piezas de mampostería elaboradas dentro de una fábrica especializada en la construcción de estos elementos, necesariamente se ve en la necesidad de ser transportados hasta el lugar de la obra, lo cual implica tener un cuidado en esta acción, pues no hacerlo significa el deterioro o daño de los elementos de mampostería según el nivel de tecnificación que se tenga (equipos).

#### **COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA CONFINADA**

La mampostería presenta una pérdida de rigidez y resistencia rápida, la falla se presenta por cortante o por tensión diagonal; es una falla de tipo frágil. Antes del agrietamiento, el marco del muro se comporta de manera elástica lineal; al momento de agrietarse el muro, su comportamiento depende sólo de la cantidad y disposición del acero de refuerzo del marco de confinación. Cuando existe poco refuerzo en el confinamiento, el muro tiene poca capacidad de disipar la energía y se presenta la falla frágil; pero, al tener refuerzo suficiente, el muro es capaz

de soportar altos niveles de carga con grandes deformaciones. Los modos de falla más comunes de la mampostería se muestran en la figura 5. Es decir, el muro puede fallar por tensión diagonal o bien por deslizamiento. En el caso de muros de mampostería con el confinamiento reforzado, además de los modos de falla que aquí se presentan, se puede presentar una falla de compresión cuando la cuantía del acero es elevada (Zalamea, 2015)

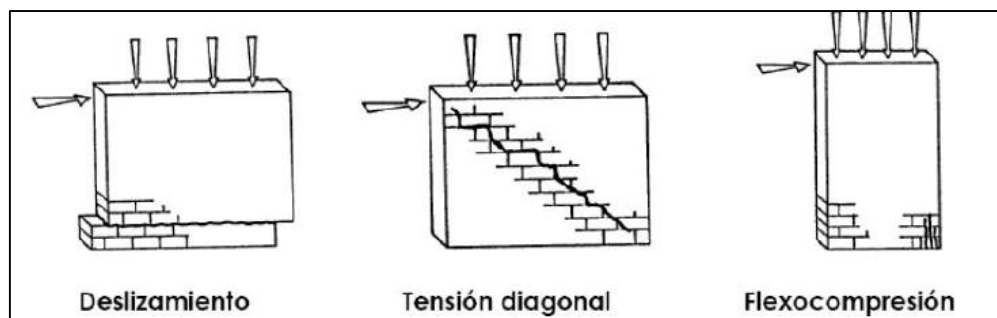


Figura 6. Posibles modos de falla en un muro de mampostería. Tomado de (Zalamea, 2015)

#### Falla ante carga axial

Al tener las piezas de mampostería y el mortero utilizado para unirlos, formando ya un solo conjunto en el muro, pero cada material con características esfuerzo-deformación diferentes, existe una divergencia en las deformaciones ocasionando una redistribución de esfuerzos, llevándose el material con menor resistencia esfuerzos transversales de compresión, mientras que el material más resistente se lleva esfuerzos de tensión que disminuye su resistencia respecto a la obtenida en ensayos de compresión. Generalmente esta falla es ocasionada por elementos de mala calidad. (Zalamea, 2015)

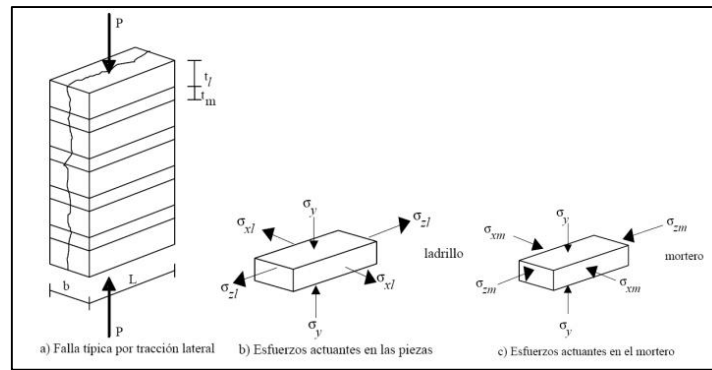


Figura 7. Falla ante carga axial, compresión de un sistema de mampostería. Tomado de (Zalamea, 2015)

#### Falla por flexión

Se produce cuando el esfuerzo resistente en tensión alcanza valores del orden de 1 a 2 kg/cm<sup>2</sup> (para mampostería de ladrillo y bloque). Es cuestión de consideración cuando no existe en la mampostería acero de refuerzo, ya que esta toma los esfuerzos de tensión. Se identifica mediante grietas horizontales en los extremos de los muros, que se van haciendo más grandes en la parte inferior.

#### Falla por cortante

Existen dos tipos de falla por cortante:

- 1) Falla de elementos, cuando la grieta es casi recta, rompiendo las piezas.
- 2) Falla de la junta, cuando la grieta es diagonal y corre sólo a través de las juntas de mortero.

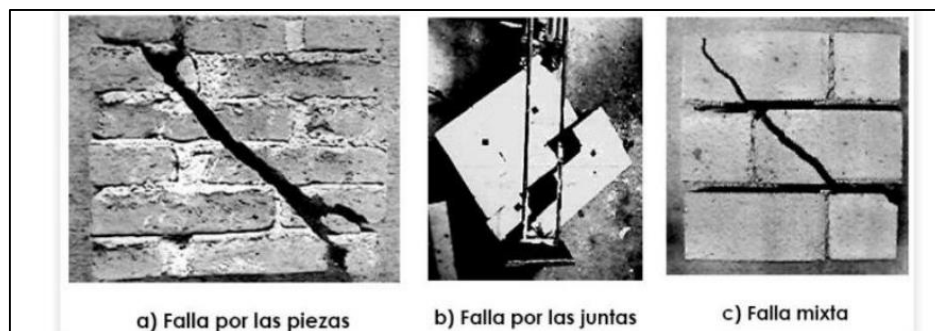


Figura 8. Fallas por cortante. Tomado de (Zalamea, 2015)

#### ESTADOS LÍMITES DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA

Los estados límites o los niveles de desempeño reconocidos en el diseño quedan definidos por un patrón de daños, el que depende del nivel de deformación (deriva o distorsión angular) alcanzado por los elementos primarios de una estructura. (Bonelli, 1999)





Estados límites que se reconocen en un muro de mampostería confinada son los siguientes (Astroza & Schmidt, 2004):

a) Último Nominal (ELU): Estado más allá del cual no queda asegurado que no se producirá el colapso. Para efectos prácticos se ha considerado que este estado se alcanza cuando el muro ha experimentado un deterioro del 20% de la fuerza máxima resistida durante el ensayo. Para este estado, los daños del muro son apreciables, observándose grietas de gran ancho (10 mm o más) y difíciles de reparar. Además de la degradación de la resistencia (20%) se presenta un importante deterioro de la rigidez

b) Resistencia (ELR): Estado en el cual el muro alcanza la máxima capacidad de carga. El muro presenta un daño importante, pero tiene un margen razonable de seguridad contra el colapso parcial o total.

c) Daño controlado (ELDC): Estado en el cual se presenta la formación de un patrón estable de agrietamiento diagonal. El estado del muro permite repararlo en un tiempo razonable y no hay ningún riesgo para las personas y los contenidos.

d) Operacional (ELO): Estado en el cual se presenta el inicio del agrietamiento diagonal. El daño del muro es muy limitado, conservando toda su capacidad resistente y parte importante de su rigidez; el riesgo para los habitantes como resultado de este daño es nulo.

e) Servicio (ELS): Estado en el cual se presenta el inicio de agrietamiento visible del muro y corresponde al nivel donde se produce el término del rango elástico de respuesta del muro.

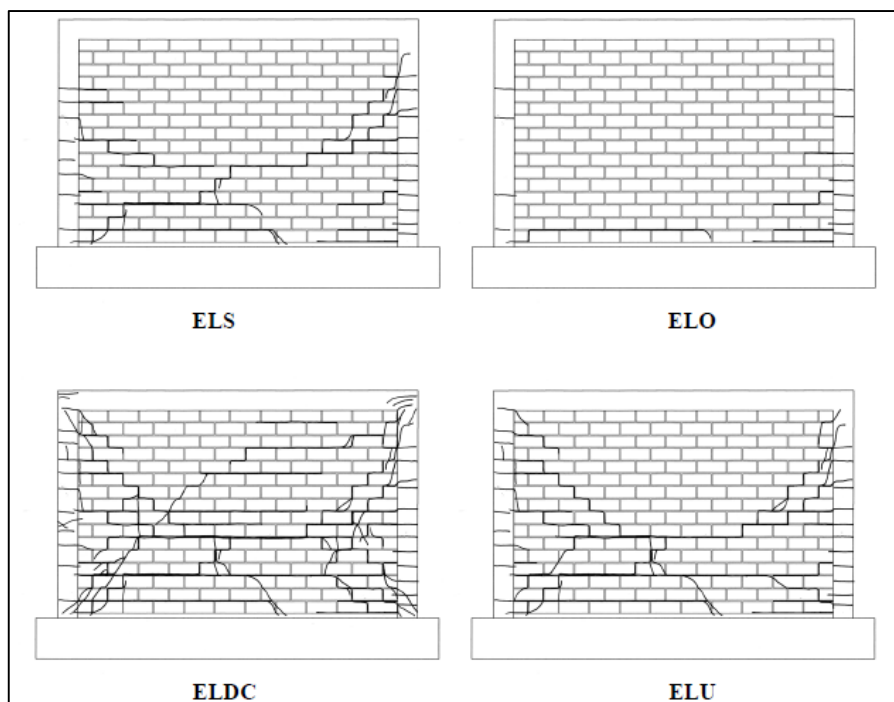


Figura 9. Estados de daños para los estados límites ELS, ELO, ELDC y ELU. Tomado de (Astroza & Schmidt, 2004).

**CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA**

A partir de un análisis de resultados de estudios experimentales realizados en Chile, México y Venezuela, se ha podido establecer la capacidad de deformación de muros de mampostería confinada para distintos niveles de desempeño;

Tabla 4. Distorsiones angulares considerando los muros como un todo. Tomado de (Astroza & Schmidt, 2004).

ESTADO LÍMITE	DISTORSIÓN [%]		
	Fracción defectuosa		
	10 %	20 %	50 %
Servicio (ELS)	0.04	0.05	0.09
Operacional (ELO)	0.09	0.10	0.13
Daño Controlado (ELDC)	0.14	0.17	0.26
Resistencia (ELR)	0.16	0.22	0.40
Último (ELU)	0.33	0.44	0.73

Para efectos prácticos, es recomendable utilizar los valores de la distorsión angular correspondiente a una fracción defectuosa del 20%. La elección de este valor se justifica ya que la distorsión que resulta para cualquier estado límite corresponde a un estado límite superior en menos del 10% de los casos. Si se aceptan fracciones defectuosas mayores al 20%, el porcentaje de casos que representan un estado límite superior es mayor que el 10%, provocando una incertidumbre en el desempeño real que puede presentar la estructura frente



a un evento sísmico. (Astroza & Schmidt, 2004). Los valores de esta tabla son representativos de muros de mampostería confinada cuyo comportamiento está controlado por la falla de corte.

### **MÉTODO SIMPLIFICADO DE ANÁLISIS SÍSMICO PARA MAMPOSTERÍA CONFINADA**

El método de análisis simplificado que permite verificar que en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga en la dirección de análisis sea igual o mayor que la fuerza cortante sísmica que actúa sobre dicho entrepiso.

Es decir, este método permite comparar la demanda sísmica expresada como cortante en la base de la estructura y la capacidad a corte de los muros, sin considerar la participación de los elementos de confinamiento.

Limitación: La aplicación de este método está limitada a edificaciones con una distribución uniforme de masas y rigidez, regularidad en elevación, así como a aquellas en que se garantice la acción de diafragma rígido del sistema de piso.

La vivienda modelo presentada posee una estructura simétrica de vigas y columnas con un material homogéneo permitiendo la uniformidad de rigideces, así como un nivel regular en la elevación de sus columnas simétricas, por lo tanto, la aplicabilidad de este criterio de diseño es fundamentada y respaldado por la norma. (Ver plano de vivienda en anexo)

---

## **CAPÍTULO 4: SISTEMA CONSTRUCTIVO CON MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN**

### **FUNDAMENTOS**

Un muro portante de hormigón es una estructura donde los elementos verticales resistentes son los muros y no las columnas, un muro portante de hormigón es pues aquel elemento que soporta una carga vertical además de su propio peso. (Nielson, 1999).

El sistema constructivo con muros portantes de hormigón tiene varios años ya en el mercado, tal es el caso de Ciudad Jardín, un megaplán habitacional en el sur de Quito construido por Ferroinmobiliaria (empresa ecuatoriana), que ha utilizado este sistema con algunas especificaciones técnicas como hormigón de  $240 \text{ Kg/cm}^2$ , reforzado por malla electrosoldada con varillas de acero de 10 mm colocadas cada 15 cm, y varillas de acero de 12 o 14 mm en partes críticas según Carlos Manzano, Gerente técnico de Ferroinmobiliaria (2009). Tomado de (El Comercio, 2009).

Los muros portantes de hormigón ofrecen además una contribución a la resistencia de pórticos rígidos, absorbiendo las cargas de viento. Pero, además, si el diseño del muro es estructural con hormigón reforzado (también llamado muro de cortante) la función de seguridad aumenta, pues estos muros son capaces de resistir las fuerzas horizontales que se generan en un sismo (Nielson, 1999).

### **CONSTITUCIÓN DE UN MURO PORTANTE DE HORMIGÓN**

Un muro portante de hormigón está constituido principalmente por hormigón estructural, malla electrosoldada y dependiendo de los requisitos de cargas, por varillas de acero estructurales convenientemente espaciadas para soportar momentos de diseño según muestra la imagen 2.



Imagen 2. Típico muro portante de hormigón armado. Tomado de Construmática.com

A continuación se presenta dos clasificaciones de los muros estructurales (Briceño & Carreras, 2013):

#### **CLASIFICACIÓN DE MUROS SEGÚN SU GEOMETRÍA**

Una distinción entre los tipos de muros existentes se realiza según diversos aspectos relacionados a la geometría. Se clasifica en primera instancia según su relación de aspecto. Algunos muros pueden ser de distintas alturas y/o de longitud variable a medida que se asciende en los niveles de las edificaciones.

Según Fratelli (1999), los muros se clasifican en cuanto a su relación de aspecto en tres tipos:

- Muros bajos: Cuando la relación de altura vs longitud es menor a 2.
- Muros intermedios: Cuando la relación de altura vs longitud está entre 2 y 5.
- Muros altos: cuando la relación de altura vs longitud es mayor a 5.

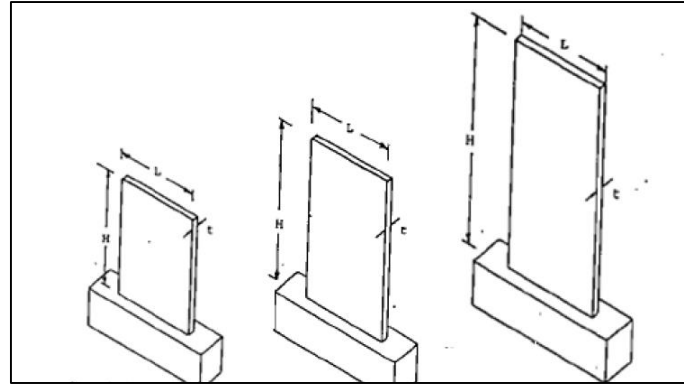


Figura 10. Clasificación de muros según su relación de aspecto: (1) Bajos, (2) Intermedios (3) Altos. Tomado de Fratelli (1999).

A medida que la relación de aspecto disminuye, se aumenta la probabilidad de falla por corte en la estructura. En cambio, cuando esta relación es alta, este se comporta como viga en voladizo, donde la sollicitación predominante será la flexión. (Briceño & Carreras, 2013)

#### **CLASIFICACIÓN DE MUROS SEGÚN SUS MODOS DE FALLA**

El principal medio de disipación de energía en un muro diseñado como viga en voladizo, cargado lateralmente debe ser la cedencia del refuerzo a flexión en las regiones de articulación plástica, normalmente en la base del muro. (Paulay & Priestley, 1992). Así se muestra en la figura 11(b) y 11(e). Se deben prevenir los modos de falla producidos por tracción diagonal (figura 11(c)) o compresión diagonal causados por corte, así como las fallas por corte a lo largo de las juntas de construcción (figura 11(d)) o fallas por adherencia a lo largo de los empalmes y anclajes. Para el caso de muros estructurales esbeltos, se añaden como modos de falla a evitar los casos de fractura del acero a flexión, y por inestabilidad del alma del muro o del refuerzo vertical a compresión. (Alcocer, 1995).

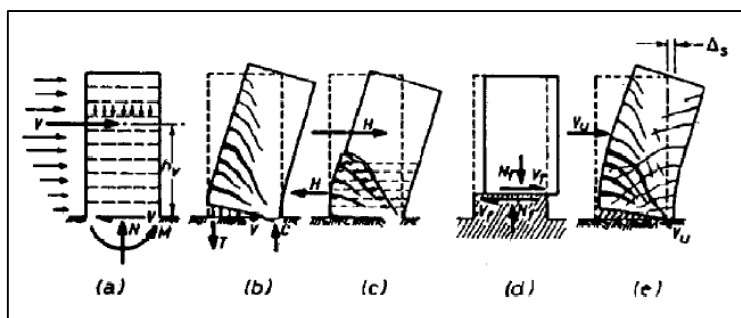


Figura 11. Modos de falla de muros en voladizo. Tomado de Paulay & Priestley (1992).

### ESPESOR DEL MURO

En la aplicación de un muro portante de hormigón en una vivienda tipo social se empieza por definir el espesor que este tendrá, entonces, haciendo énfasis en lo antes estipulado con respecto a orientar el diseño de la vivienda bajo este sistema constructivo hacia un ahorro económico, se dispone a determinar un espesor mínimo que cumpla con los requisitos de las normativas y códigos de construcción.

La tabla 11.3.1.1 del ACI 318S - 14 da los espesores mínimos de un muro de hormigón diseñado de acuerdo con el método de diseño simplificado dado en su numeral 11.5.3, de dicha tabla se concluye para el tipo de muro en estudio (muro portante) que se requiere un espesor mínimo de 10 cm; sin embargo, en su propio enunciado permite el diseño de muros más delgados cuando el análisis estructural demuestre que el muro posee resistencia y estabilidad adecuada. Entonces, en el diseño virtual para el muro portante de la vivienda social se plantea un estudio de un muro con espesor de 8 cm, pues la vivienda es una edificación de un piso y no posee una expectativa de cargas altas más allá de las sísmicas o vivas habituales, este espesor permite también generar un ahorro en la cantidad de material al disminuir su espesor, este efecto se verá reflejado sobre todo a mayor escala cuando la construcción de este tipo de viviendas es modular, es decir se construye un alto número de viviendas; finalmente, la resistencia de este muro se verá comprobada o refutada una vez se realice el modelo virtual sometido a sus cargas de diseño y que a su vez cumpla con aspecto de una buena funcionalidad tales como protección térmica o protección acústica.

### REFUERZO EN EL MURO

El detallado de la distribución del refuerzo a lo largo del muro influye en su desempeño. Según Alcocer (1995), los muros

con refuerzo concentrado en los extremos son, en comparación con aquellos con refuerzo distribuido, más resistentes y dúctiles. Esta ductilidad puede verse reducida si el acero a flexión incurse en el intervalo de endurecimiento de deformación, por lo cual se hace imperativo un adecuado confinamiento del miembro de borde para aumentar la capacidad de deformación útil del concreto y retrasar el pandeo del acero en la zona de compresión.

Una desventaja de este tipo de detallado es el congestionamiento de acero en los extremos, que puede presentar problemas para el vibrado del concreto en esas zonas. Se recomienda una distribución igualitaria del acero longitudinal demandado entre los miembros de borde y el alma para aumentar la resistencia al deslizamiento del muro. (Rodríguez, 2011)

#### **COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS DE MUROS ESTRUCTURALES**

El comportamiento de los muros suele representarse como una viga en voladizo en flexión, por el contrario, los pórticos bajo cargas laterales deforman predominantemente por corte. (Fratelli, 1999). Es práctica común en estructuras de concreto reforzado la combinación de ambos sistemas, dando lugar a sistemas duales pórtico - muro. Como comentario, aunque no es el caso, a partir de los 30 pisos la aplicación de muros estructurales es imperativo al combinarlos con pórticos de vigas acarteladas en un sistema dual (Lobo, 2011).

Resulta necesario destacar las consecuencias de una inadecuada distribución de estos muros y cómo debe ser la ubicación de los mismos según el espacio y uso de la edificación. Es de vital importancia la ubicación simétrica de los muros no estructurales, fisuración prematura del concreto y hasta el inadmisibles peligro de ruina bajo fuertes sollicitaciones. (Briceño & Carreras, 2013).



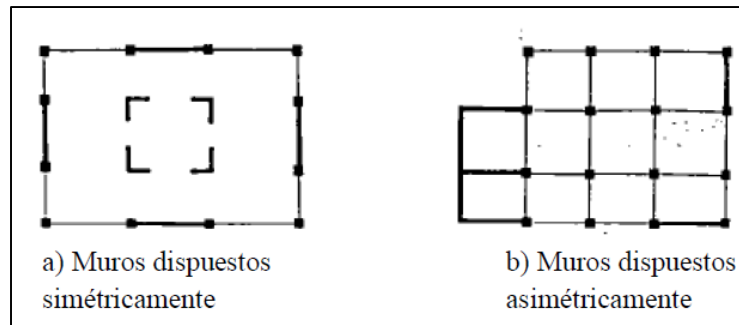


Figura 12. Distribución de los muros según su disposición en planta. Tomado de Fratelli (1999).

Además, dado que se trata de muros de 8 centímetros de espesor, el hormigón requiere un diseño especial con agregados de diámetro máximo de 5/8 de pulgada y con aditivos super plastificante para tener un alto revenimiento.

### PROCESO CONSTRUCTIVO

Algunos aspectos a tener en cuenta durante el proceso constructivo de un muro se presentan a continuación (Construmática, 2017):

1. Encofrado: Debe estar perfectamente aplomado y estanco. Deberá estar limpio y tratado con desencofrante.



Imagen 3. Encofrado del muro con formaletas especializadas. Recuperado a partir de [construirfuturo.ec](http://construirfuturo.ec) (2016).

2. Armaduras: Debe vigilarse el estado de las armaduras, que los separadores se encuentren firmes y bien atados para que no se desplacen o se muevan cuando se realiza el hormigonado.



(a)

(b)

Imagen 4. Acero de refuerzo en los muros: a) Disposición de malla electrosoldada, b) Disposición de refuerzo en marcos de ventanas.

Verificar antes del hormigonado que los pasa tubos y huecos estén en la posición correcta, como así también las placas de anclaje que pudiera contener el muro de hormigón. Todo permanecerá sujeto evitando todo movimiento durante el hormigonado.

Se hormigonará en forma continua, sin interrupciones donde puedan aparecer juntas. El vibrado debe hacerse sumergiendo en forma rápida y profunda la aguja en la masa, manteniéndola entre 5 y 15 segundos y retirándola con cuidado, a velocidad constante y con lentitud. El vibrador permanecerá vertical o ligeramente inclinado hasta penetrar en la tongada anterior.

Vigilar que la constancia del hormigón sea la esperada, tendrá que ser uniforme para todo el hormigonado. No agregar agua al hormigón cuando se encuentra en el camión hormigonera.

3. Vibrado: El vibrador debe tocar lo menos posible las armaduras. Cuidar que el vibrado se prolongue en fondos, vértices y aristas, siendo conveniente la inmersión en puntos próximos y diferentes y no aumentar el tiempo de vibrado colocando el vibrador a distancias mayores. Tener en cuenta las deformaciones previsibles de los encofrados, realizando las tongadas en el orden establecido.

Cuando el clima es muy frío, deben seguirse las indicaciones expresadas en la normativa, esto es efectuar el hormigonado en las horas centrales del día, adicionar anticongelantes u otras medidas necesarias; por otro lado, en época con temperaturas altas, debe agregarse al hormigón la humedad



necesaria para un curado efectivo, hasta que alcance el 70% de su consistencia.

### **MUROS PORTANTES SISMO RESISTENTES**

Se cita a la norma (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015): "Para que se considere un muro como portante debe asegurarse que este no tenga aberturas o vanos, de ahí que no todas las paredes o muros de la vivienda son portantes. Se considera como excepción el caso de los muros de hormigón armado siempre que se cumpla con lo estipulado en la sección 6.5".

Los muros del modelo de vivienda del caso de estudio actual son diseñados con aberturas donde se colocarán ventanas, por lo que se revisa la sección 6.5 de la norma.

Sección 6.5 (CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015):

1. "El área total de las aberturas dispuestas en los muros para la colocación de puertas y ventanas no debe sobrepasar el 35% del área total del muro."
2. "La distancia mínima entre dos aberturas y entre una abertura y el extremo del muro debe ser al menos 50 cm y en todo caso debe ser mayor que la mitad de la dimensión menor de la abertura"

Tanto el punto 1 como el punto 2 de esta sección se comprueban revisando los planos anexados, y se encuentra que el muro 1 (que es el más crítico en esta sección) posee un área total de 20.7% de abertura; de la misma manera, la distancia mínima de aberturas se cumple, dando al diseño de muro los efectos que se buscan, es decir que el muro cumpla como muro portante sismo resistente.

## CAPÍTULO 5: MODELO VIRTUAL

### CARACTERIZACIÓN DEL MODELO VIRTUAL

Se ha hecho un modelo para la simulación tanto del sistema de mampostería confinada como el sistema de muros portante de hormigón.

Siguiendo el diseño establecido en los planos de la vivienda tipo que se va a efectuar, se dibuja modelo virtual mediante el programa AutoCAD.

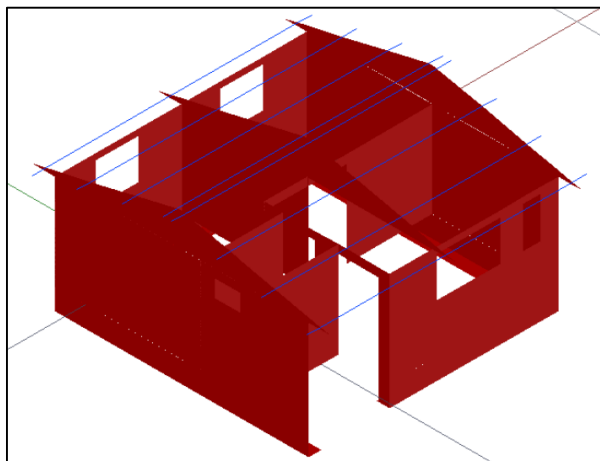
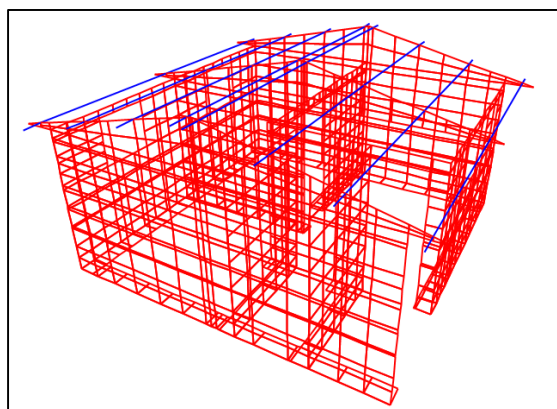
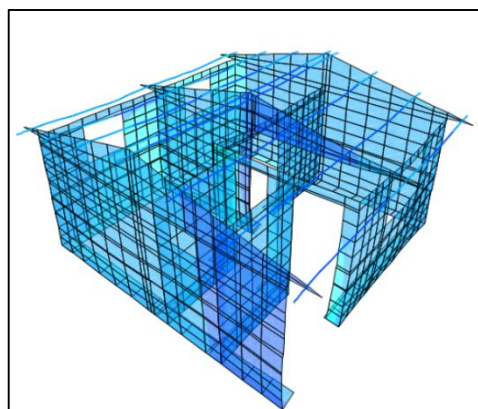


Figura 13. Representación de la vivienda tipo, obtenida en AutoCAD 3D.

Basado en el modelo realizado en el programa AutoCAD se obtiene los modelos para los sistemas estudiados como se muestra en la Figura 14.



(a)



(b)

Figura 14. Modelo obtenido en la interfaz de SAP2000 de la vivienda tipo, simulando: (a) Muros portantes de hormigón armado; (b) Muros de mampostería confinada.



## CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

En la elaboración del modelo virtual se considera los siguientes parámetros:

Materiales.

Como primer parámetro de caracterización del modelo virtual, se define a los materiales de conformación junto a sus respectivas propiedades, esto para dar vida a lo que será la estructura de conformación del modelo, pues de esta manera se simula un entorno físico realista tal y como se debe hacer en este tipo de modelos; los materiales de conformación son: Hormigón armado (para los muros portantes, vigas, cadenas y columnas), mientras que para la conformación de las correas de cubierta se usa acero A36.

Hormigón

Como se estableció antes, la resistencia a compresión ( $f'c$ ) mínima para considerar un hormigón estructural es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto, siguiendo la normativa, se implementa esta resistencia en la caracterización del modelo.

Por otro lado, se tiene que el módulo de elasticidad usado para hormigones (caso de estudio) según el código ACI318-14 es:

$$E_c = 15100\sqrt{f'c} \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Ecuación 1. Módulo de elasticidad del hormigón}$$

Acero A36

Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización

Propiedades del acero A36

Como la mayoría de los aceros, el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulg. (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPa (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPa (58 ksi).

Para este caso, se toma la resistencia a la fluencia del Acero como  $f_y = 250$  MPa. Para las correas de la cubierta. Con módulo de elasticidad  $E_s = 200000$  MPa; mientras que, para la malla de refuerzo en el muro portante, el acero se presenta en barras corrugadas con  $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>.



### Cargas de diseño

Para simular las condiciones a las que va a estar expuesta la estructura, se determina lo que se conoce como cargas de diseño de acuerdo con la normativa nacional. Las cargas se definen como la fuerza o conjunto de fuerzas que se encuentran presentes en una estructura, estas cargas pueden variar según su orientación, magnitud y naturaleza. Para la determinación de las diferentes cargas y sus combinaciones se sigue las guías de diseño: NEC-SE-CG (cargas no sísmicas) y la NECSE-DS (cargas sísmicas).

### Carga Muerta (D).

Son cargas permanentes que están constituidas por los pesos de todos los elementos estructurales que actúan en permanencia sobre la estructura (NEC-SE-CG, 2015).

Esta carga se calcula de manera automáticamente por el programa SAP2000 V18 en el instante en el cual se crea el modelo, con sus diferentes características geométricas y dependiendo del tipo de material asignado a cada elemento estructural.

Además, se debe calcular también la carga proporcionada por el peso propio de la cubierta, en este caso la cubierta es de zinc con un peso específico de 72 KN/m<sup>3</sup> y un espesor de 0.40 mm. Por otro lado, esta carga se transmite directamente hacia las correas, por lo que se hace un resumen de la distribución de esta carga en todas las correas (figura 15) y se presenta en la Tabla 5.

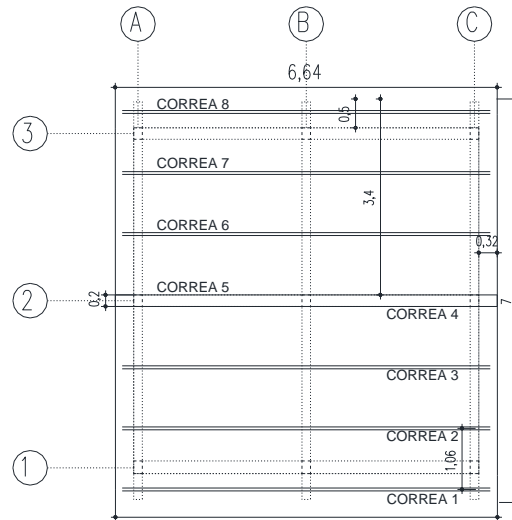


Figura 15. Vista en planta de correas emplazadas en cubierta.

Tabla 5. Valores obtenidos de carga muerta distribuida en las correas de la vivienda.

Correa	Carga Muerta (Kg/m)	Carga Muerta (KN/m)
1-8	2,10	0,021
2-7	3,00	0,030
3-6	3,00	0,030
4-5	1,80	0,018

**Carga Viva (L)**

La carga viva, también llamada sobrecargas de uso, depende de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras (NEC-SE-CG, 2015).

**Consideración al Granizo (S).**

Se considera a la carga de granizo como una carga viva. La carga de granizo debe ser considerada para regiones con más de 1500 msnm. Se considera que para la zona austral del país existe una probabilidad de presencia de granizo por lo cual dicha carga se toma en consideración para el diseño, por recomendación del director de esta tesis, se asume una carga de granizo igual a 100 Kg/m<sup>2</sup>. De igual manera esta carga se transmite hacia las correas.

Tabla 6. Resumen de valores obtenidos de carga viva distribuida en las correas de la vivienda

Correa	Carga Viva	Carga Viva
--------	------------	------------

	(Kg/m)	(KN/m)
1-8	74	0,74
2-7	106	1,06
3-6	106	1,06
4-5	63	0,63

Carga Sísmica (E).

Para la determinación de esta carga se parte del cálculo del espectro de respuesta.

Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (Sa).

Representa la amenaza o el peligro sísmico, y más específicamente la respuesta de la estructura al sismo. El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en el tipo de suelo asociado con el sitio de emplazamiento de la estructura. Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño (NEC-SE-DS, 2015).

Determinación del espectro de respuesta.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones es una expresión que se representa como una fracción de la aceleración de la gravedad. Se muestra en la figura 16.

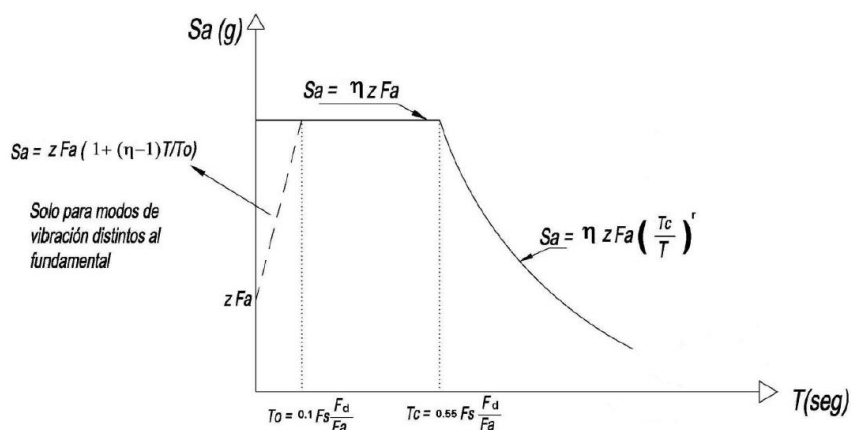


Figura 16. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015).

En donde:

- η: Razón entre la aceleración espectral Sa y el PGA.
- Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.





Fd: Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.

Fs: Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos.

Sa: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

T: Periodo fundamental de vibración de la estructura

T0: Periodo límite de vibración inicial en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

TC: Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Z: Factor de zona sísmica.

Los valores del espectro para diferentes intervalos de períodos, se obtiene de las ecuaciones (NEC-SE-DS, 2015):

$$Sa = \eta Z Fa \quad \text{para } 0 \leq T \leq Tc \quad \text{Ecuación 2. Espectro de respuesta elástico (a).}$$

$$Sa = \eta Z Fa \left(\frac{Tc}{T}\right)^r \quad \text{para } T > Tc \quad \text{Ecuación 3. Espectro de respuesta elástico (b).}$$

En el cálculo de Tc y To:

$$Tc = 0.55Fs \frac{Fd}{Fa} \quad \text{Ecuación 4. Período de vibración (a).}$$

$$To = 0.1Fs \frac{Fd}{Fa} \quad \text{Ecuación 5. Período de vibración (b).}$$

Considerando:

h = 2,48 Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

Z = 0,25 de la Tabla 16 NECSE-DS (cargas sísmicas) para Cuenca-Azogues.

Fa = 1,3 de la Tabla 3 NECSE-DS (cargas sísmicas) para un suelo tipo C.



$F_d = 1,5$  de la Tabla 4 NECSE-DS (cargas sísmicas) para un suelo tipo C.

$F_s = 1,1$  de la Tabla 5 NECSE-DS (cargas sísmicas) para un suelo tipo C.

$r = 1$  Para todos los suelos con excepción del tipo D o E. En este caso se ha planteado simular la estructura en un suelo tipo C.

$T_c = 0,698076923$

$T_o = 0,126923077$

Con estos valores definidos se obtiene el espectro de respuesta de aceleraciones, figura 17.

Tabla 7. Valores de conformación del espectro de aceleraciones.

<b>T (seg)</b>	<b>Sa (g)</b>	<b>T (seg)</b>	<b>Sa (g)</b>	<b>T (seg)</b>	<b>Sa (g)</b>
0	0,806	0,6981	0,806	1,4	0,40189
0,05	0,806	0,7	0,80379	1,45	0,38803
0,1	0,806	0,75	0,7502	1,5	0,3751
0,1269	0,806	0,8	0,70331	1,543	0,36465
0,15	0,806	0,85	0,66194	1,55	0,363
0,2	0,806	0,9	0,62517	1,6	0,35166
0,25	0,806	0,95	0,59226	1,65	0,341
0,3	0,806	1	0,56265	1,7	0,33097
0,35	0,806	1,05	0,53586	1,75	0,32151
0,4	0,806	1,1	0,5115	1,8	0,31258
0,45	0,806	1,15	0,48926	1,85	0,30414
0,5	0,806	1,2	0,46888	1,9	0,29613
0,55	0,806	1,25	0,45012	1,95	0,28854
0,6	0,806	1,3	0,43281	2	0,28133
0,65	0,806	1,35	0,41678		

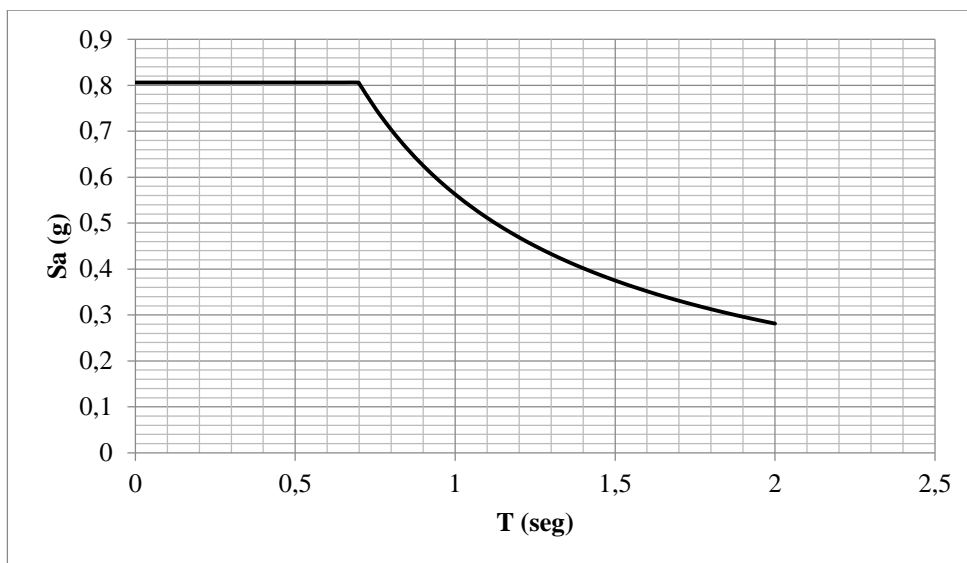


Figura 17. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones en función de los valores establecidos del caso de estudio.

#### Combinaciones de Cargas.

Para el diseño a última resistencia (metodología de aplicación), se considera que la estructura debe ser diseñada para resistir las cargas incrementadas de acuerdo con las combinaciones establecidas en la NEC-SE-CG, estas combinaciones consideran cargas: permanentes, variables, accidentales. Estas combinaciones son:

- Combinación 1: 1.4 D
- Combinación 2: 1.2 D + 1.6 L + 0.5máx. [Lr; S; R]
- Combinación 3: 1.2 D + 1.6 máx. [Lr; S; R]+ máx. [L; 0.5W]
- Combinación 4: 1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 máx. [Lr; S; R]
- Combinación 5: 1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S
- Combinación 6: 0.9 D +1.0 W
- Combinación 7: 0.9 D + 1.0 E

Donde:

D =Carga permanente

E =Carga de sismo

L =Sobrecarga (carga viva)

Lr =Sobrecarga cubierta (carga viva)

S =Carga de granizo



W =Carga de viento

De aquí que se elige pues la combinación de cargas más desfavorable, la cual es la combinación 5:

Combinación 5:  $1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S$

Sin embargo, para la simulación en el software SAP2000 V18 se ingresaron todas las combinaciones de cargas presentadas anteriormente.

Interacción con el suelo

Para la interacción suelo - estructura, en vista de que la vivienda tipo social se presenta con una cimentación superficial, se considera en el modelo virtual que esta estructura se une al suelo por medio de resortes, que simulan el efecto real para el caso de presentarse un sismo, estos resortes van en las tres direcciones; la constante de resorte se toma como  $1 \text{ kg/cm}^3$ , permitiendo simular el contacto dinámico que existe entre la base y la estructura.

#### **APLICACIÓN DEL MODELO VIRTUAL EN SAP2000 V18**

Con las consideraciones antes expuestas, se obtienen los valores correspondientes a momentos flectores, fuerzas cortantes y carga axial a través de la simulación del modelo virtual mediante un análisis de elementos finitos con elementos SHELL. A continuación, se muestra las distribuciones de momentos y cortantes en los muros expuesto desde las figuras 21 a 28.

Figura 18. Vista frontal de la vivienda (Muro 1)

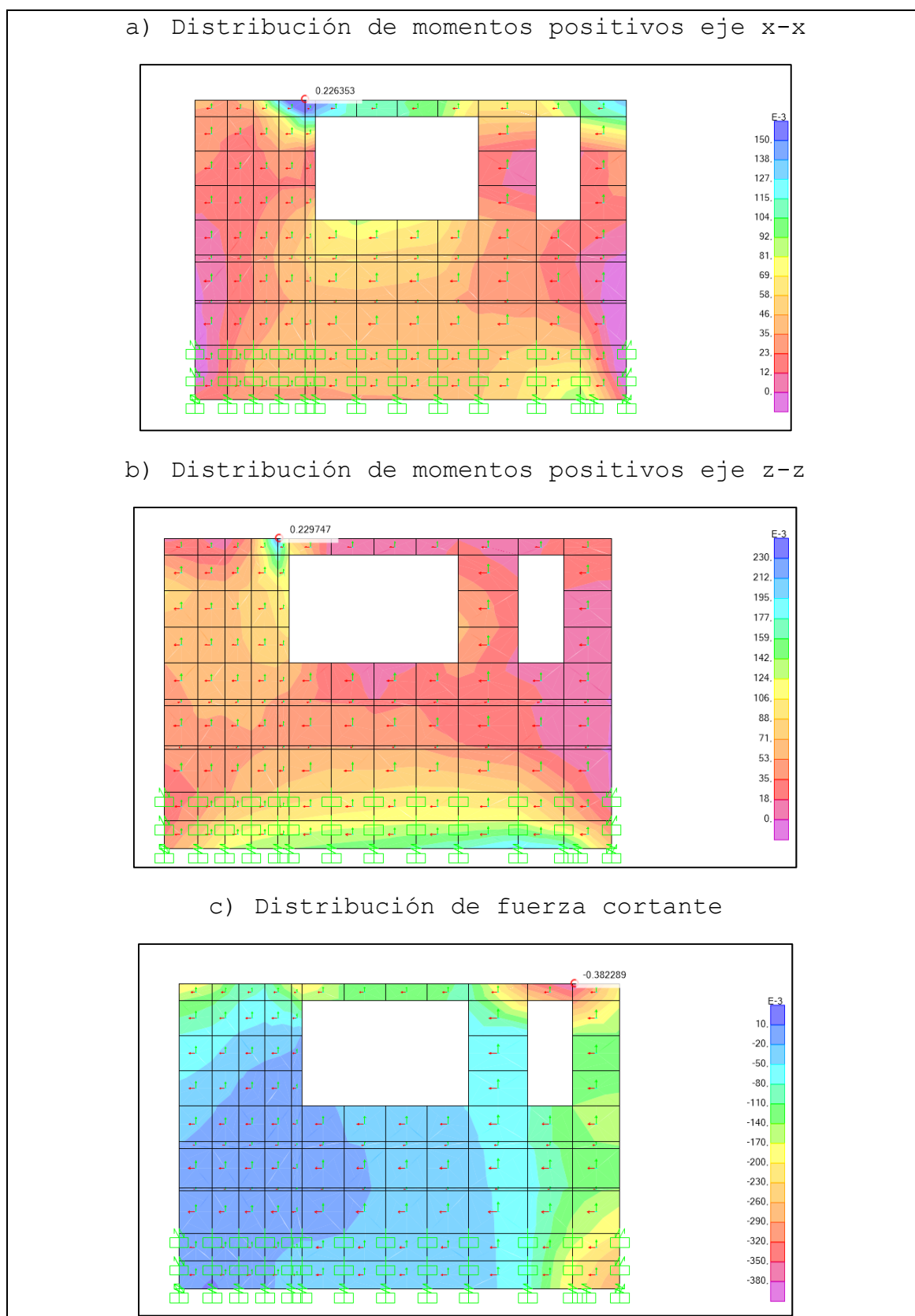


Figura 19. Muro interior con orientación X-X (Muro 2).

a) Distribución de momentos positivos eje x-x

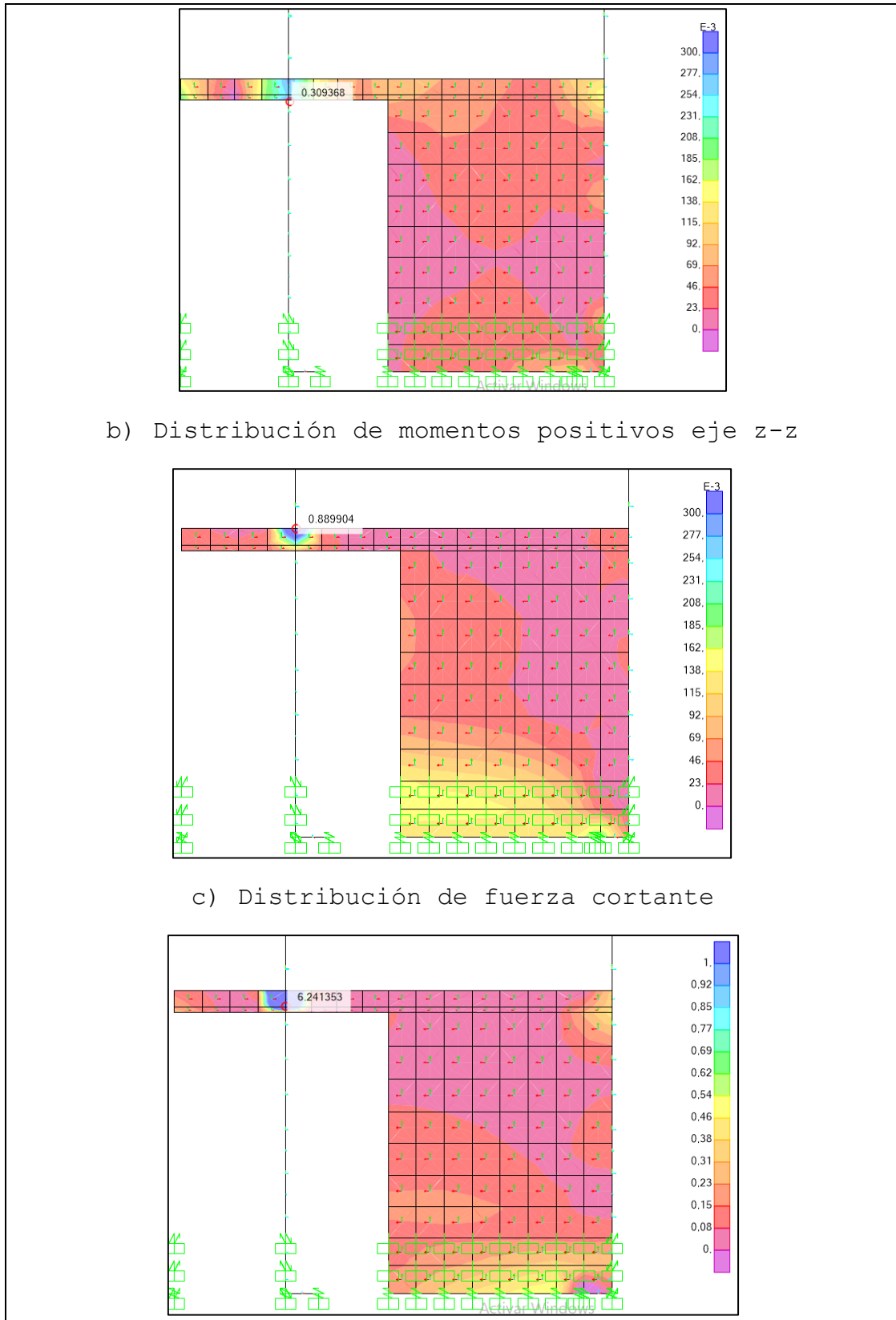


Figura 20. Vista posterior de la vivienda (Muro 3).

a) Distribución de momentos positivos eje x-x

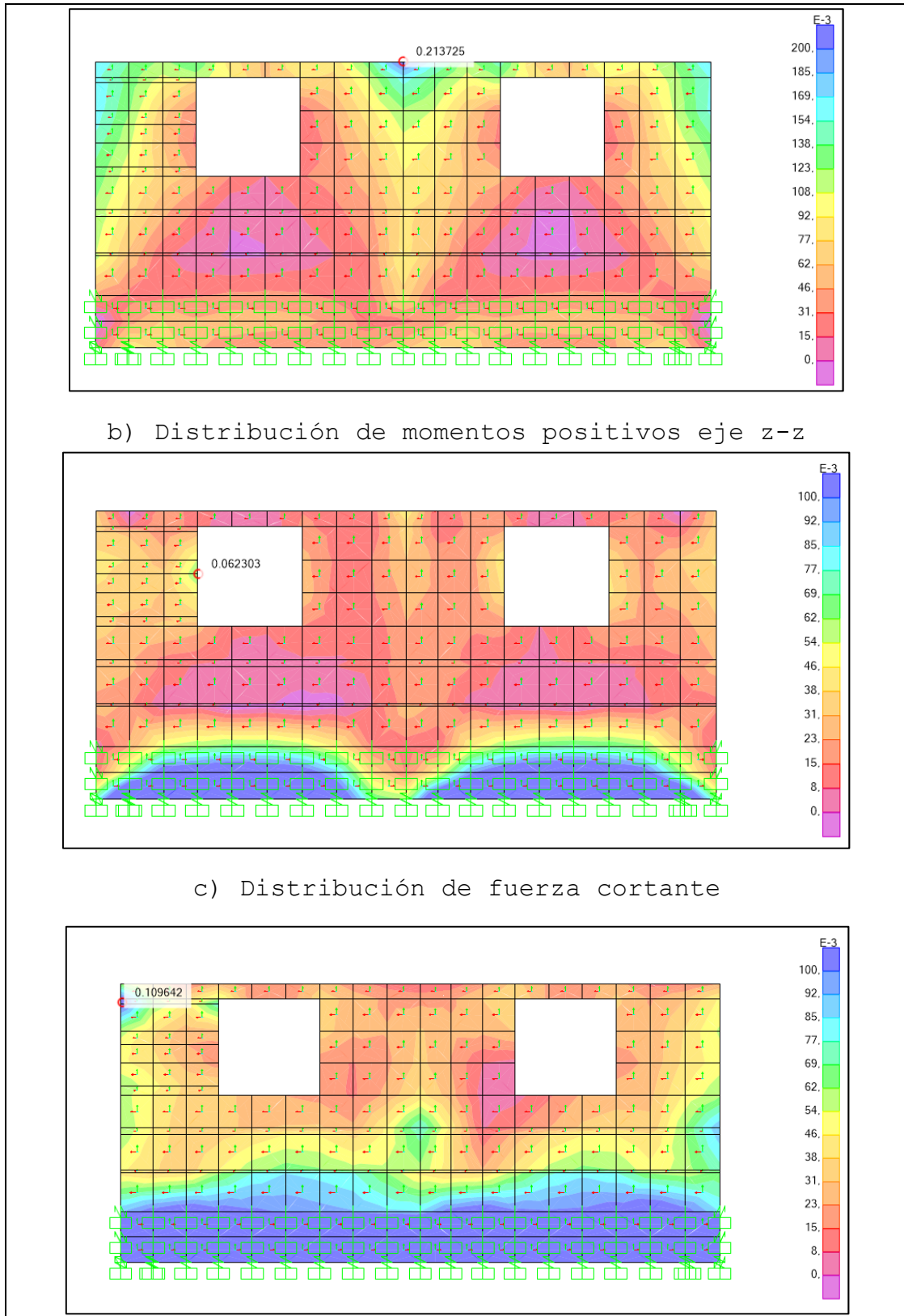
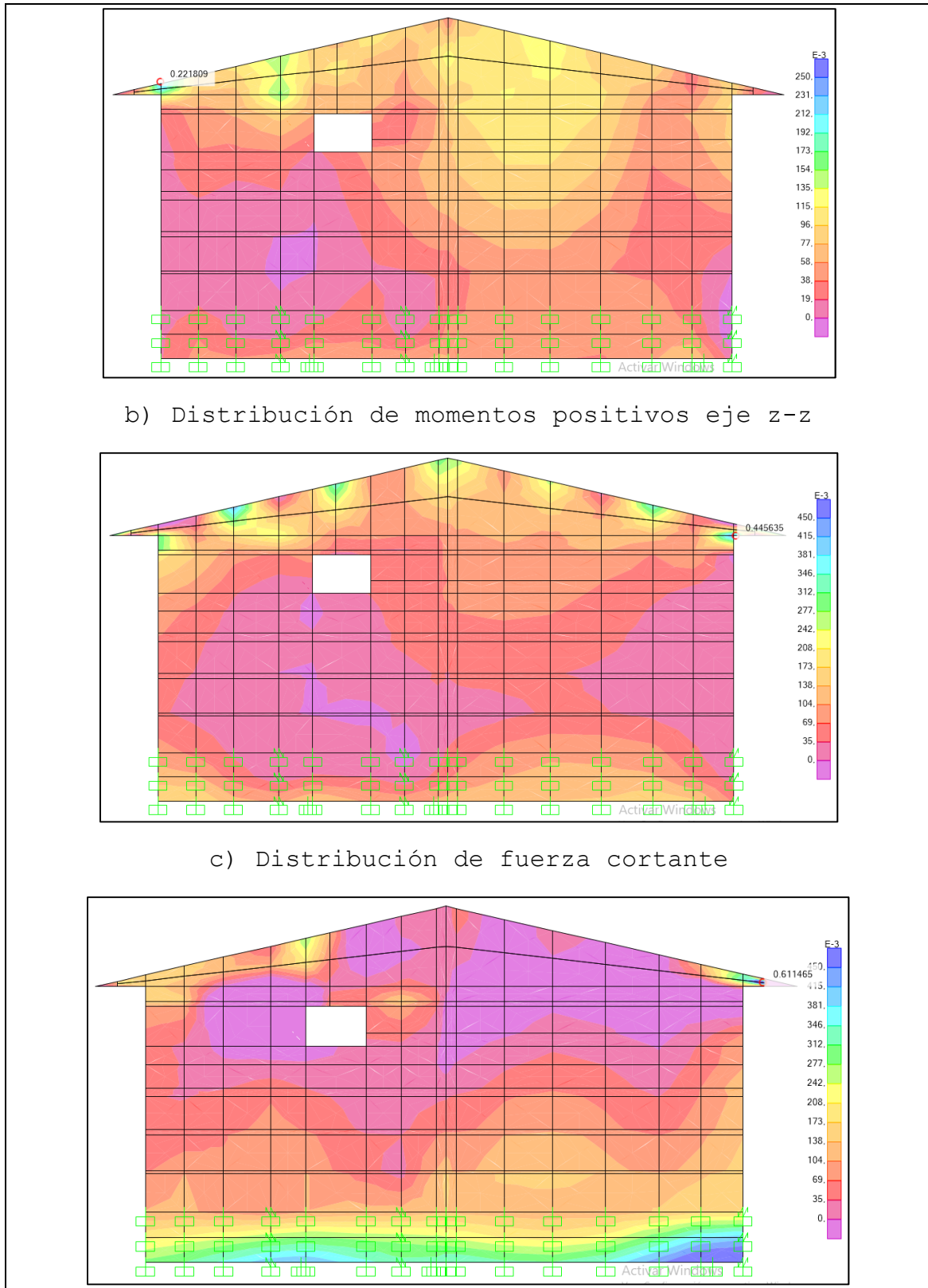


Figura 21. Vista lateral izquierda (Muro 4).

a) Distribución de momentos positivos eje y-y



b) Distribución de momentos positivos eje z-z

c) Distribución de fuerza cortante

Figura 22. Muro interior con orientación Y-Y (Muro 5).

a) Distribución de momentos positivos eje y-y



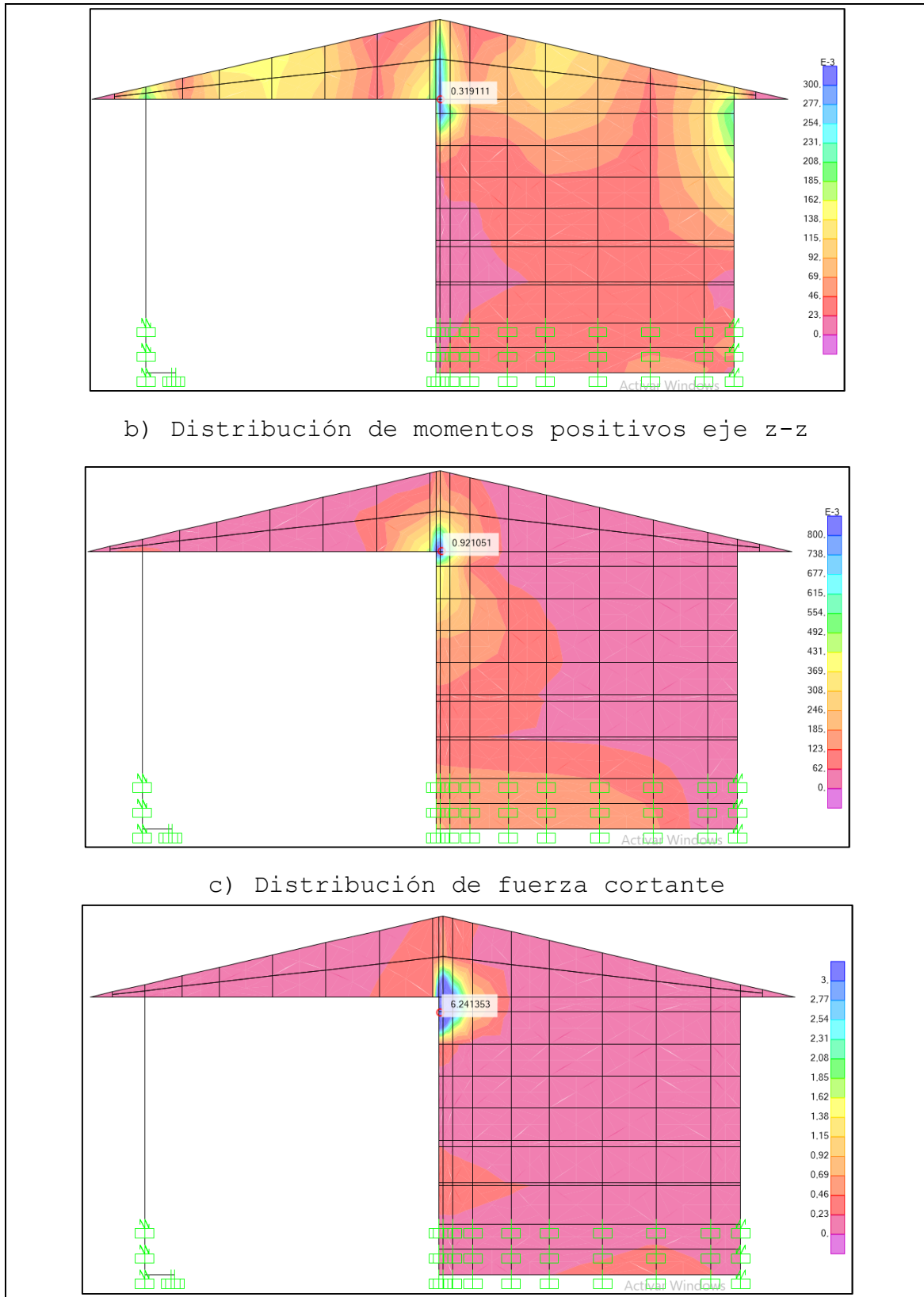


Figura 23. Vista lateral derecha (Muro 6).

a) Distribución de momentos positivos eje y-y

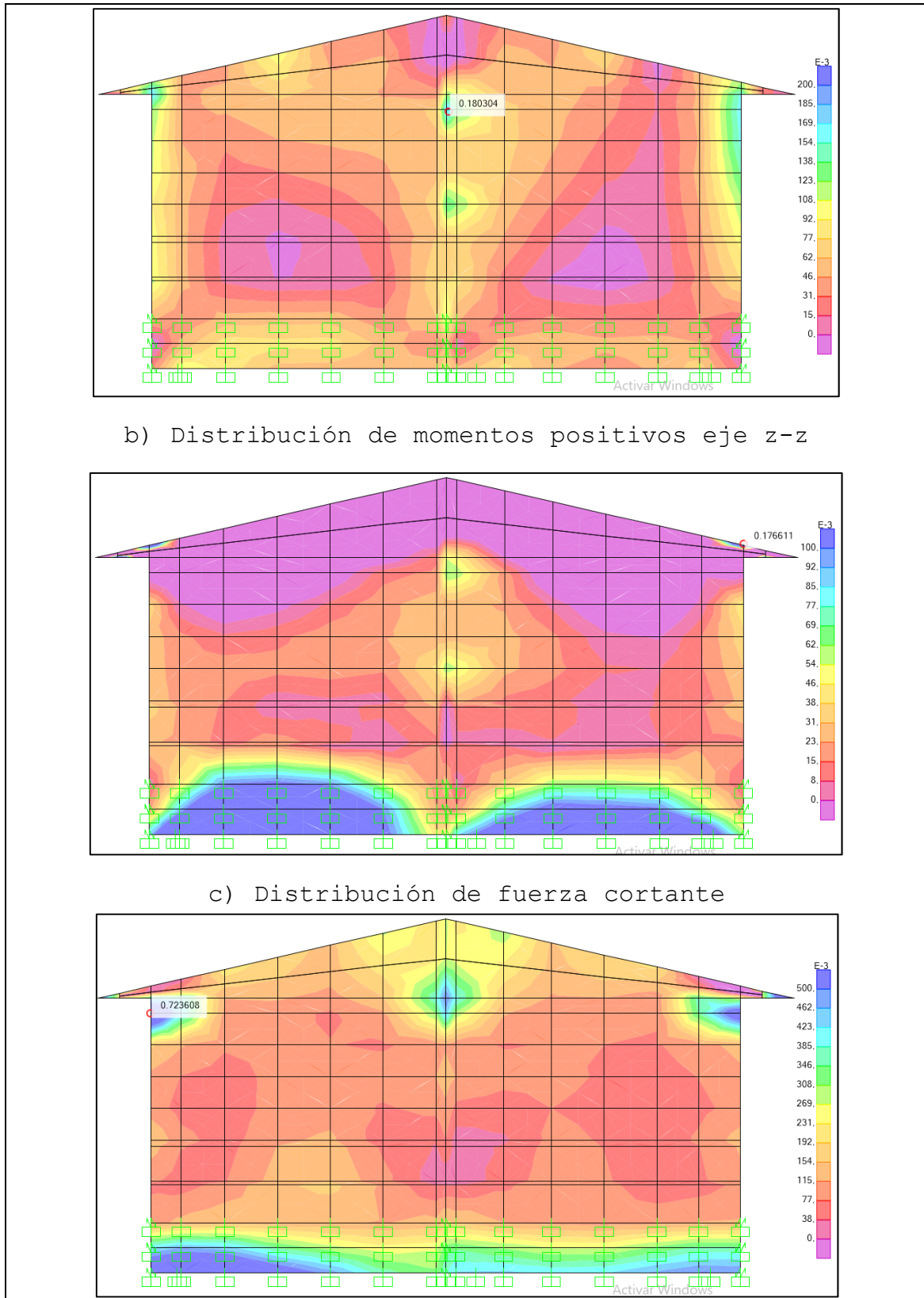
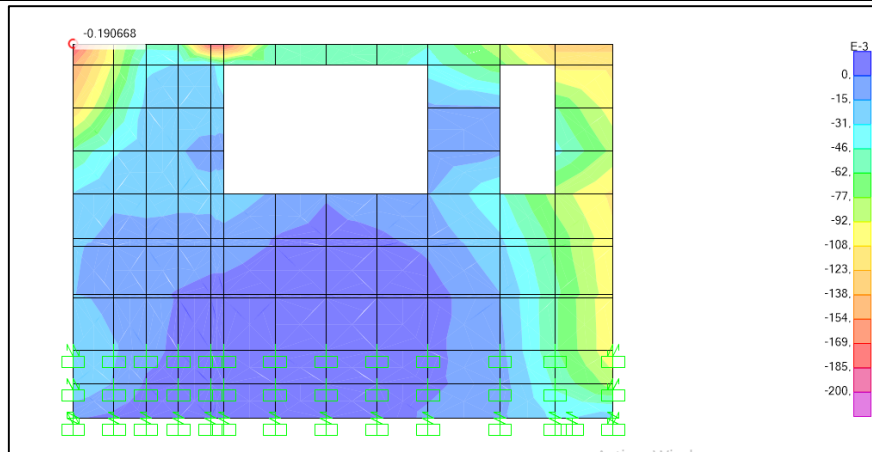
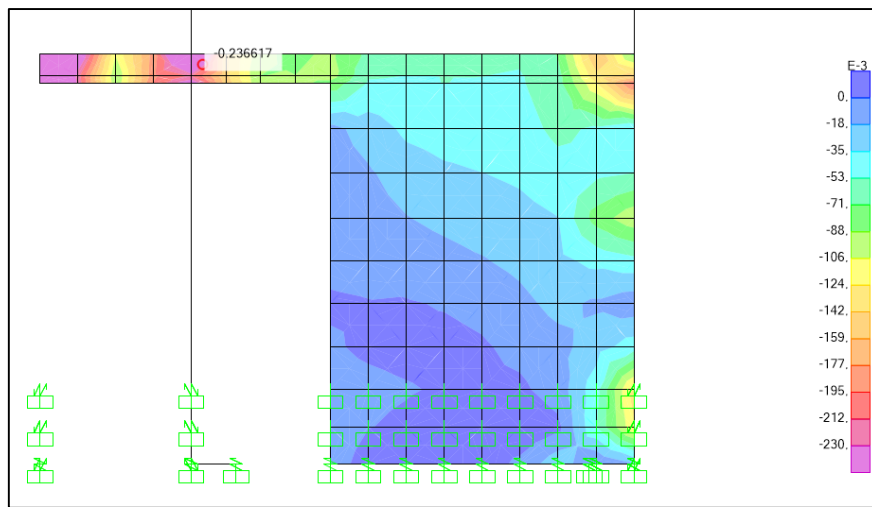


Figura 24. Momentos negativos relevantes en el desarrollo del modelo.



b) Muro 2, momento en eje x -x



c) Muro 3, momento en eje x -x

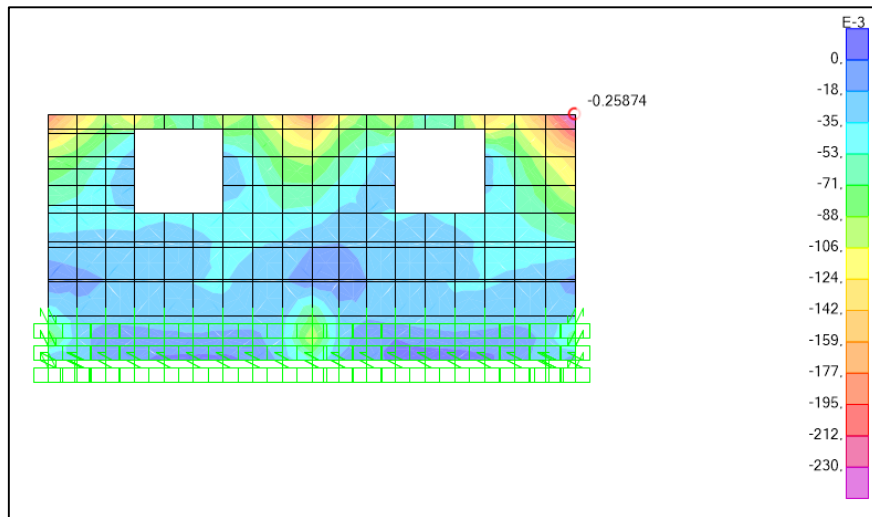
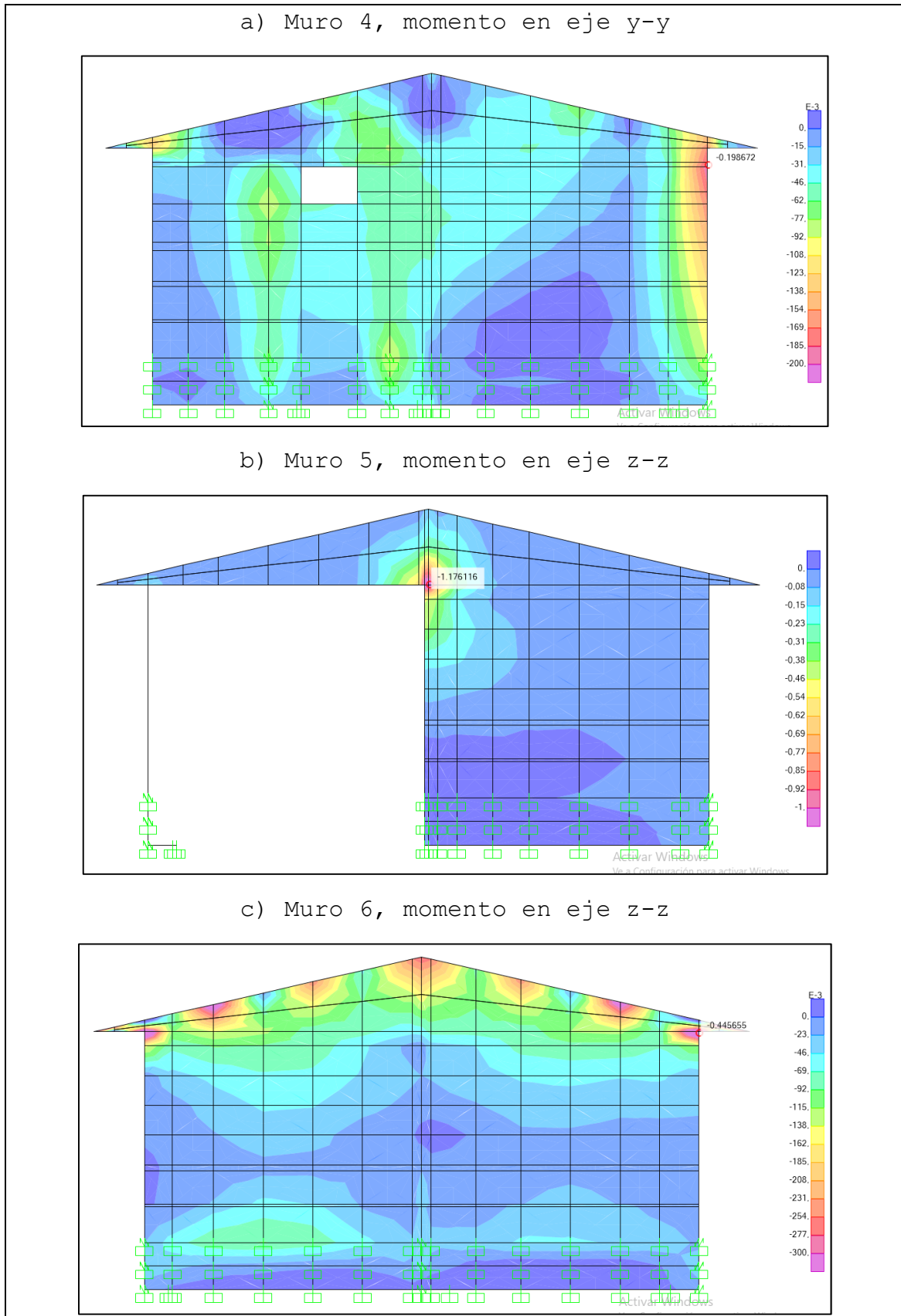


Figura 25. Momentos negativos relevantes en el desarrollo del modelo.



### INTERPRETACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MODELO VIRTUAL

En los diagramas de momentos flectores obtenidos en SAP, se consideran momentos positivos cuando traccionan las fibras exteriores de los muros, mientras que se consideran momentos flectores negativos cuando traccionan las fibras interiores. En los diagramas anteriores se presentan los momentos positivos obtenidos en la modelación de los muros. De igual manera se presentan los momentos negativos de interés con su dirección de acción en cada muro. Todos estos momentos se resumen en la tabla 8. La aplicación del modelo presenta estos momentos en una escala de colores cuyas unidades de representación en los diagramas son tonelada metros (Tn-m) para los momentos, mientras que para las fuerzas cortantes se da en toneladas (T).

En los diagramas también se presenta el momento máximo o cortante máximo, mostrado dentro de la figura de representación del muro dependiendo el caso, valor que es utilizado para verificar la resistencia del muro ante las fuerzas sísmicas para cada tipo de diseño, incluyendo el aporte del acero que este posee.

Tabla 8. Resumen de cortante y momentos máximos encontrados en cada muro con su orientación.

Muro	Momento máximo (+) (Tn-m)	Momento máximo (-) (Tn-m)	Cortante máximo (Tn)	Dirección
1	0.229	-0.190	0.382	M (+) en eje z-z; M (-) en x-x
2	0.889	-0.230	6.241	M (+) en eje z-z; M (-) en x-x
3	0.213	-0.258	0.109	M (+) en eje x-x; M (-) en x-x
4	0.445	-0.198	0.611	M (+) en eje z-z; M (-) en y-y
5	0.921	-1.176	6.241	M (+) en eje z-z; M (-) en z-z
6	0.180	-0.445	0.723	M (+) en eje y-y; M (-) en z-z

El valor máximo para momento flector positivo es 0.92 Tn-m desarrollado en el muro 5 en el eje z-z., el momento máximo para momento flector negativo es -1.17 Tn-m desarrollado en el muro 5 en el eje z-z, el cortante máximo obtenido en la simulación del modelo para un sismo con las condiciones presentadas en el capítulo 5 y 6 es 6.24 Tn desarrollado tanto en el muro 2 como en el muro 5. Estos valores son

entonces considerados para el diseño de los muros portantes de hormigón.

## CAPITULO 6: DISEÑO DE MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN

### CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN

Se analiza las consideraciones del diseño estructural de los muros portantes de hormigón existentes en el sistema conforme dispone la normativa ecuatoriana de la construcción y el American Institute of Concrete (ACI), y se disponen según planos de la vivienda (figura 18) y el muro tipo (figura 19).

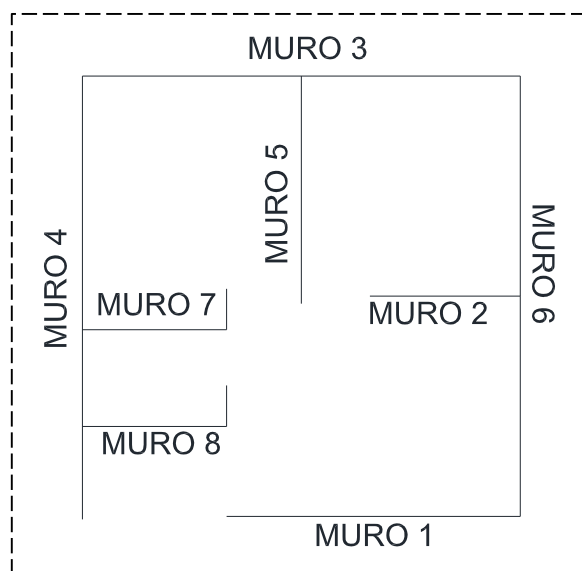


Figura 26. Disposición de muros portantes en planta baja.

Se siguen las normativas de diseño planteadas por la NEC-15 y ACI 318SUS-14.

#### DISEÑO A CORTE

- Se comprueba la necesidad de confinamiento en los bordes del muro según lo especificado en 18.10.6.3 ACI 318SUS-14.
- Se determina la necesidad de una o dos capas de refuerzo según 18.10.2.2 ACI 318SUS-14 cumpliendo lo siguiente. Debe usarse al menos dos capas de refuerzo cuando:

$$V_u > 0.53 A_c v \lambda \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 6. Fuerza cortante requerida.}$$

Donde:

$V_u$  = Fuerza cortante.

$A_{cv}$  = Área bruta de la sección del muro analizado.

$\lambda$  = Factor de modificación según las propiedades del hormigón en este caso se toma un valor igual a 1.

$f'c$  = Resistencia a la compresión simple a los 28 días.

c. Se definen refuerzos mínimos longitudinal y horizontal según Tabla 11.6.1 ACI 318SUS-14 - Refuerzo mínimo para muros con  $V_u \leq 0.5\phi V_c$  en el plano del muro.

d. Se calcula el cortante máximo para los refuerzos que van a soportar esta fuerza; entonces para la resistencia a cortante en diafragmas estructurales según 18.12.9.2 ACI 318SUS-14  $V_n$  no debe exceder:

$$V_n \leq 2.12 A_{cv} \sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación 7. Resistencia nominal al cortante en diafragmas.}$$

e. Se calcula el acero de refuerzo horizontal necesario para el diseño que cumpla con las cuantías mínimas establecidas anteriormente.

f. Se comprueba que la cuantía de acero horizontal escogida soporte la resistencia al cortante según 18.10.4.1 ACI 318SUS-14 donde:

$$V_n = A_{cv}(\alpha\lambda\sqrt{f'c} + \rho_t f_y) > V_u$$

Ecuación 8. Resistencia nominal al cortante (ACI).

Donde:

$V_n$  = Resistencia nominal al cortante.

$V_u$  = Fuerza cortante ultima.

$\rho_t$  = Cuantía de acero horizontal.

$\alpha$  = Coeficiente, toma valores de 0.8 para  $\frac{hw}{lw} \leq 1.5$ ; 0.53 para  $\frac{hw}{lw} \geq 2$ ; y varia linealmente entre 0.80 y 0.53 para  $\frac{hw}{lw}$  entre 1.5 y 2.0. (Sistema Internacional)

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia (hasta 600 Mpa para mallas electrosoldadas).

g. Se necesita refuerzo por cortante en dos direcciones ortogonales en el plano del muro según 18.10.4 ACI 318SUS-14. "Si  $\frac{hw}{lw}$  no excede a 2, la cuantía de refuerzo longitudinal ( $\rho_l$ ) debe ser menor a la cuantía horizontal ( $\rho_t$ )".



- h. Se determina el espaciamiento entre refuerzos tanto longitudinales como transversales para ello el espaciamiento máximo debe cumplir 11.7.2.1 y 11.7.3.1 ACI 318SUS-14.
- i. Adicionalmente se necesita un refuerzo mínimo requerido en los contornos de puertas, ventanas y otro tipo de aberturas; según 11.7.5.1 ACI 318SUS-14. "Debe colocarse por lo menos 2 barras Nro. 16 en ambas direcciones en todos los muros que tengan dos capas de refuerzo y una barra Nro. 16 en ambas direcciones en los muros que tengan una sola capa de refuerzo".

#### DISEÑO A FLEXION

El comportamiento de un muro se suele representar como una viga vertical empotrada en voladizo (cantiléver) con un modo de deformación dominado por flexión (Briceño & Carreras, 2013); a continuación, se especifica el procedimiento a considerarse para el diseño a flexión de hormigón armado siguiendo la Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015.

Para calcular el momento nominal se usa la ecuación 9:

$$Mn = As * fy * d * (1 - 0.59 * \frac{fy}{f'c} * \rho)$$

Ecuación 9. Momento nominal de una viga armada.

Donde:

$A_s$  = Área de acero.

$M_n$  = Momento nominal.

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero.

$f'c$  = Resistencia a la compresión simple a los 28 días.

$\rho$  = Cuantía de acero.

$b$  = Ancho de la sección de hormigón como se muestra en la Figura 19, en este caso se considera una sección del muro con ancho igual a 100cm para todos los muros.

$d$  = Altura de la sección de hormigón desde el refuerzo.

Se comprueba que  $\phi M_n > M_u$  donde  $M_n$  es el momento que resiste con el acero armado por cortante y  $M_u$  es el momento que actúa.





$\phi$ = Factor de reducción de resistencia se utiliza 0,9 según 21.2.1 ACI 318SUS-14.

**En este caso debido a que la sección se encuentra previamente armada debido al diseño a cortante se comprobara que la armadura del muro cumpla con un momento superior al producido por las cargas, pues por lo general el muro de una casa al ser corto suele trabajar a corte, y, por lo tanto, este es el diseño que prima.**

#### REFUERZO DE RETRACCION Y TEMPERATURA

Se necesita refuerzo de retracción y temperatura perpendicular al refuerzo principal, este refuerzo es necesario para minimizar la fisuración y asegurar que la estructura se comporte según el diseño especificado.

- a. Según Tabla 24.4.3.2 ACI 318SUS-14 la cuantía mínima de refuerzo corrugado de retracción y temperatura para barras corrugadas o refuerzo de alambre electrosoldado con un  $f_y \geq 420$  MPa. resulta del mayor de la ecuación 10 y la ecuación 11.

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} \quad \text{Ecuación 10. Cuantía mínima}$$

(a) ACI.

$$\rho_{min} = 0.0014 \quad \text{Ecuación 11. Cuantía mínima}$$

(b) ACI.

- b. Se calcula el espaciamiento máximo del refuerzo para retracción y temperatura que corresponde a 24.4.3.4 ACI 318SUS-14 donde este no debe exceder el menor de  $5 \cdot h$  y 450 mm.

**En este caso debido a que la sección se encuentra previamente armada debido al diseño a cortante se comprobará que la armadura del muro cumpla con la cuantía y espaciamiento requerido para el diseño por retracción y temperatura, pues por lo general el muro de una casa al ser corto suele trabajar a corte, y, por lo tanto, este es el diseño que prima.**

#### RESULTADOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño que gobierna para muros portantes de hormigón clasificados como muros cortos mencionado en las anteriores consideraciones de diseño, es el diseño por cortante y según la tabla 8, el cortante máximo que se desarrolla en el modelo se encuentra en el muro 2 y muro 5 (muros de similares características), por lo que, se presenta a continuación el diseño del muro 2. El diseño de los muros restantes se encuentra en la sección de anexos, en dónde se puede



comprobar que el diseño obtenido para el muro 2 gobierna para todos los muros cumpliendo con los requisitos mínimos, por lo tanto, se toma este diseño como base para el diseño de los muros de la vivienda tipo presentada en este estudio.

Por otro lado, se comprueba para este mismo muro el diseño a flexión, donde se tiene que el diseño obtenido para cortante satisface a su vez a los requisitos demandados para el diseño a flexión. De igual manera el diseño a flexión de los muros restantes se presenta en la sección de anexos.

Tabla 9. Principales propiedades de los materiales utilizados en el diseño del muro 5.

<b>PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADAS</b>				
<i>PARÁMETRO</i>	<i>SÍMBOLO</i>	<i>VALOR</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>
Resistencia a los 28 días	$f'c$	210	kg/cm <sup>2</sup>	
Factor de modificación	$\lambda$	1		Hormigones de peso liviano
Esfuerzo de fluencia del acero	$f_y$	6000	kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 10. Resumen de propiedades y características mecánicas del muro 5.

<b>PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y MECÁNICAS DEL MURO</b>				
<i>PARÁMETRO</i>	<i>SÍMBOLO</i>	<i>VALOR</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>
Longitud del muro	$lw$	1.93	m	Diseño a cortante
Ancho del muro	$tw$	0.08	m	Ancho mínimo
Altura del muro	$hw$	2.25	m	Diseño a cortante
Área de la sección transversal	$Acv$	0.15	m <sup>2</sup>	Diseño a cortante
Distancia al centro del muro	$c$	0.97	m	
Inercia	$I$	0.05	m <sup>4</sup>	
Recubrimiento	$r$	3.50	cm	
Altura de la sección diseño a flexión	$h$	8.00	cm	Diseño a flexión
Base de la sección (seleccionar una franja del muro)	$b$	100.00	cm	Diseño a flexión
Distancia al refuerzo	$d$	4.50	cm	

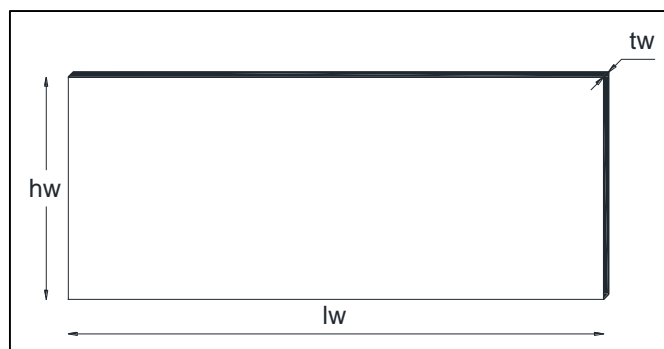


Figura 27. Nomenclatura utilizada para dimensiones del muro.

Dónde: hw es la altura del muro, lw es la longitud del muro y tw el espesor del muro.

Tabla 11. Requisitos generales para diseño del muro de hormigón.

REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO				
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Momento último	$M_u$	0.889	Tn-m	Datos obtenidos del modelo
Cortante último	$V_u$	6.24	Tn	digital obtenido con SAP2000 V18

Tabla 12. Resumen de comprobación de cortante nominal en el diseño a corte del muro.

DISEÑO A CORTANTE				
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Esfuerzo a compresión máximo de la fibra extrema	$\sigma$	24.77	Tn/m <sup>2</sup>	
Comprobación necesidad de elementos de borde				No se necesitan elementos de borde según 18.10.6.3 ACI 318-14
Necesidad de una o dos capas de refuerzo		1		Se necesita una capa de refuerzo según 18.10.2.2 ACI 318-14
Comprobación del cortante máximo	$V_{u\max}$	28.46	Tn	Cumple
Se definen refuerzos mínimos longitudinal	$\rho_{l\min}$	0.0012		Según Tabla 11.6.1 ACI 318-14
Se definen refuerzos mínimos horizontal	$\rho_{t\min}$	0.0012		Según Tabla 11.6.1 ACI 318-14
Se escoge un diámetro de varilla a usar	$\phi$	5.25	mm	



Área de acero según el diámetro en 20cm sección	$As$	0.22	cm <sup>2</sup>	
Cuantía de acero horizontal a utilizar	$\rho_t$	0.0014		Cumple
Coefficiente	$\alpha_c$	0.53		Se usa para el calculo del cortante nominal
Cortante nominal	$V_n$	24.39	$T_n$	Según 18.10.4.1 ACI 318-14
$\phi V_n > V_u$				Cumple según 18.10.4.1 ACI 318-14
Cuantía de acero longitudinal a utilizar	$\rho_l$	0.0014		Cumple $\rho_l$ al menos $\rho_t$ según 18.10.4 ACI 318-14
Espaciamiento horizontal	$s_h$	20	cm	Cumple según 11.7.2.1 ACI 318-14
Espaciamiento longitudinal	$s_l$	20	cm	Cumple según 11.7.3.1 ACI 318-14

Tabla 13. Resumen de comprobación de momentos en el diseño a flexión del muro.

<b>DISEÑO A FLEXIÓN</b>				
<i>PARÁMETRO</i>	<i>SÍMBOLO</i>	<i>VALOR</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>
Factor de reducción de resistencia	$\phi$	0.9		Según 21.2.1 ACI 318-14
Cuantía del diseño a cortante	$\rho_c$	0.0014		Acero previamente armado del diseño a cortante
Momento $\phi M_n > M_u$	$M_n$	38.08	$T_n$	Momento que resiste con la armadura previa <b>Cumple</b>

Tabla 14. Resumen de comprobación de acero para retracción y temperatura.

<b>DISEÑO POR RETRACCIÓN Y TEMPERATURA</b>				
<i>PARÁMETRO</i>	<i>SÍMBOLO</i>	<i>VALOR</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>
Cuantía mínima	$\rho_{tmin}$	0.0013		Según Tabla 24.4.3.2 ACI 318-14
Cuantía mínima $\rho_c > \rho_{tmin}$	$\rho_{tmin}$	0.0014		Según Tabla 24.4.3.2 ACI 318-14 <b>Cumple</b>

Con este diseño se parte entonces para definir cantidades de obra en la construcción del sistema muros portantes, así

como su análisis de seguridad y análisis funcional, de esta manera ampliar los puntos de comparación con el sistema de mampostería confinada.

Esquema de diseño

A continuación, se presenta el esquema con parámetros y dimensiones obtenidas en función del diseño realizado. Es así como, para el muro se escoge una malla U-108 (disponible en catálogos 2018) pues las características de esta malla cumplen con los requisitos para muros portantes. Las especificaciones técnicas se detallan en anexos.

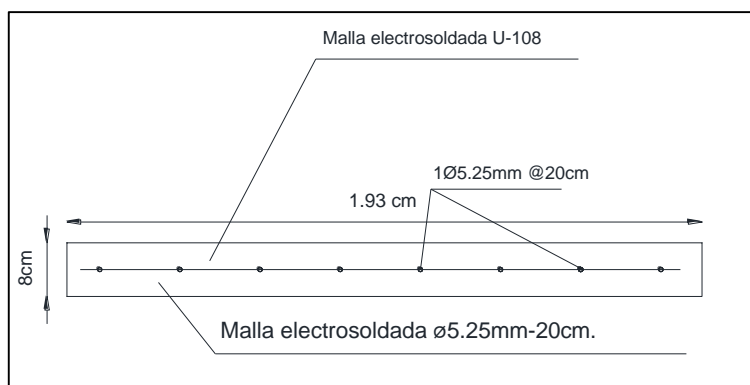


Figura 28. Esquema de sección transversal del muro portante de hormigón diseñado.

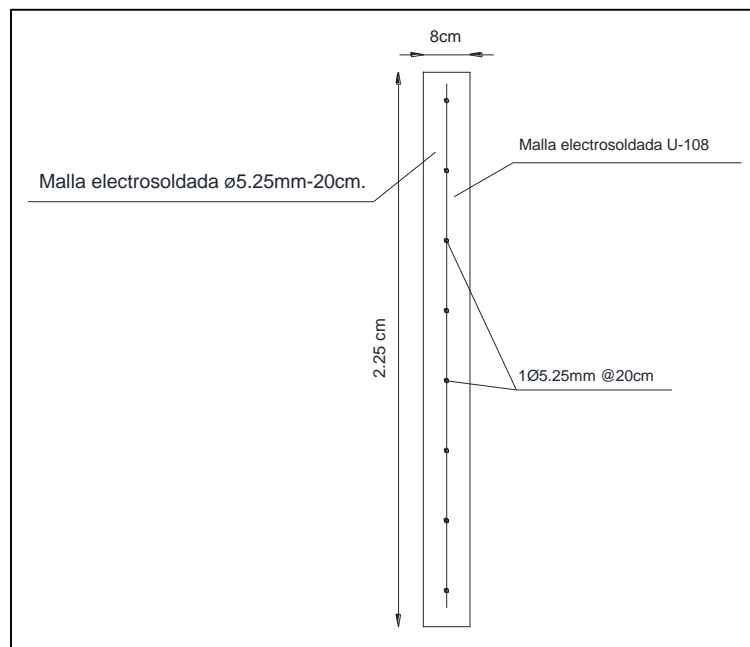


Figura 29. Esquema de sección longitudinal del muro portante de hormigón diseñado.

## CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE COSTOS

Para realizar el análisis de costos mediante la utilización del software InterPro, se ha localizado y estudiado los rubros que difieren en el proceso de construcción de cada sistema, esto es los rubros generales y específicos, dichos rubros se detallan a continuación para cada sistema constructivo. El resto de los rubros como pintura, puertas, ventanas, etc. Son del mismo tipo para ambos sistemas con las mismas cantidades de obra, por lo que se obvia en esta sección. Además, todos los rubros mencionados a continuación son tomados a partir de las especificaciones técnicas que han sido desarrolladas y brindadas para este estudio por el MIDUVI.

Los rendimientos para la evaluación de los precios unitarios se han tomado de la base de datos de rubros proporcionados por el mismo software, así como también de la base de datos de la empresa ETAPA<sup>1</sup> para realizar este análisis de costos, por lo que las limitaciones de estos rendimientos son para el caso de estudio actual.

A continuación, se presenta el listado de todos los rubros involucrados para cada sistema:

Tabla 15. Rubros y cantidades de obra para el sistema constructivo muros portantes de hormigón.

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD
<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>		
Replanteo y nivelación	m2	38.7
<b>ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN</b>		
Excavación de cimientos	m3	4.24
Hormigón ciclópeo (60% H.S. y 40% piedra) f'c = 180 kg/cm2	m3	2.3
Hormigón ciclópeo en plintos (60% H.S. y 40% piedra) f'c = 180 kg/cm2	m3	1.94
<b>CADENA INFERIOR</b>		
Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 para cadenas	m3	0.83
Encofrado recto en cadena	m2	9.57
Viga electrosoldada (Viga tipo V1)	ml	38
<b>MAMPOSTERÍA</b>		
Bordillo de tina de baño (15x20x40)	m2	0.24
<b>CUBIERTA</b>		
Cubierta metálica prepintada e= 0.4 mm con aislamiento de poliuretano e= 5mm	m2	52.12
Kit correas G80 40 x15 x 1.5 con pintura anticorrosiva	m2	52.12
<b>INSTALACIONES SANITARIAS Y AGUA POTABLE</b>		
Instalaciones de agua	pto	3
Instalaciones de agua para ducha	pto	1
Instalación de desagüe PVC d= 50mm	pto	3

<sup>1</sup> Se ha conseguido dicha base de datos para esta investigación gracias al estudio civil y arquitectónico M & M, Cañar (2018).

Instalación de desagüe PVC d= 110mm	pto	1
Fregadero de cocina	u	1
Inodoro blanco nacional	u	1
Lavamanos blanco	u	1
Rejilla para piso d= 2"	u	1
Mesón de cocina (Bloque pómez)	m2	0.6
<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>		
Punto de iluminación	pto	5
Punto de tomacorriente	pto	4
Caja de breakers (4U) incluye breakers	u	1
Instalacion de 220V	u	1
<b>CARPINTERÍA HIERRO - MADERA</b>		
Puerta principal metálica	u	1
Puerta de madera 0.90 x 2.00m incluye marco	u	2
Puerta de madera 0.90 x 2.05m incluye marco	u	1
Puerta de madera 0.70 x 1.8m incluye marco	u	1
Ventana de hierro incluye vidrio de 3mm y protecciones de hierro	m2	3.66
<b>PISOS</b>		
Replanteo de piedra e = 15 cm	m2	33.26
Fundición de contrapiso e= 5cm f'c = 180 kg/cm2	m3	1.65
<b>CERÁMICA</b>		
Suministro y colocacion de cerámica paredes	m2	7.9
Suministro e instalación de cerámica piso	m2	34.1
<b>PINTURA</b>		
Pintura de caucho int - ext (dos manos) incl. fondo	m2	50
<b>MUROS PORTANTES</b>		
Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm2 (incluye bomba)	m3	6.07
Suministro y colocación de malla electrosoldada U-108	m2	90
Acero de refuerzo (fy=4200 Kg/cm2)	kg	53.47
Encofrado metálico recto para muros	m2	155

Tabla 16. Rubros y cantidades de obra para el sistema constructivo con mampostería confinada.

<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>		
Replanteo y nivelación	m2	38.7
<b>ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN</b>		
Excavación de cimientos	m3	4.24
Hormigón ciclópeo (60% H.S. y 40% piedra) f'c = 180 kg/cm2	m3	2.3
Hormigón ciclópeo en plintos (60% H.S. y 40% piedra) f'c = 180 kg/cm2	m3	1.94
<b>CADENA INFERIOR</b>		
Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 para cadenas	m3	0.83
Encofrado recto en cadena	m2	9.57
Viga electrosoldada (Viga tipo V1)	ml	38
<b>COLUMNAS</b>		
Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 para columnas	m3	0.46
Encofrado recto en columna	m2	6.25
Viga electrosoldada (Viga tipo V1)	ml	29.82
<b>VIGA SUPERIOR</b>		



Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> para vigas	m3	0.97
Encofrado recto en vigas	m2	11.87
Viga electrosoldada (Viga tipo V1)	ml	42.31
<b>DINTELES PUERTAS</b>		
Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	m3	0.04
Encofrado recto	m2	0.76
Viga electrosoldada (Viga tipo V1)	ml	2.1
<b>DINTELES VENTANAS</b>		
Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	m3	0.08
Encofrado recto	m2	1.6
Viga electrosoldada (Viga tipo V1)	ml	4.4
<b>MAMPOSTERÍA</b>		
Mampostería de bloque de 15x20x40	m2	65
Bordillo de tina de baño (15x20x40)	m2	0.24
<b>CUBIERTA</b>		
Cubierta metálica prepintada e= 0.4 mm con aislamiento de poliuretano e= 5mm	m2	52.12
Kit correas G80 40 x15 x 1.5 con pintura anticorrosiva	m2	52.12
<b>INSTALACIONES SANITARIAS Y AGUA POTABLE</b>		
Instalaciones de agua	pto	3
Instalaciones de agua para ducha	pto	1
Instalación de desagüe PVC d= 50mm	pto	3
Instalación de desagüe PVC d= 110mm	pto	1
Fregadero de cocina	u	1
Inodoro blanco nacional	u	1
Lavamanos blanco	u	1
Rejilla para piso d= 2"	u	1
Mesón de cocina (Bloque pómez)	m2	0.6
<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>		
Punto de iluminación	pto	5
Punto de tomacorriente	pto	4
Caja de breakers (4U) incluye breakers	u	1
Instalacion de 220V	u	1
<b>CARPINTERÍA HIERRO - MADERA</b>		
Puerta principal metálica	u	1
Puerta de madera 0.90 x 2.00m incluye marco	u	2
Puerta de madera 0.90 x 2.05m incluye marco	u	1
Puerta de madera 0.70 x 1.8m incluye marco	u	1
Ventana de hierro incluye vidrio de 3mm y protecciones de hierro	m2	3.66
<b>PISOS</b>		
Replanteo de piedra e = 15 cm	m2	33.26
Fundición de contrapiso e= 5cm $f'c = 180$ kg/cm <sup>2</sup>	m3	1.65
<b>ENLUCIDO</b>		
Enlucido int-ext	m2	144
<b>CERÁMICA</b>		
Suministro y colocacion de cerámica paredes	m2	7.9
Suministro e instalación de cerámica piso	m2	34.1
<b>PINTURA</b>		
Pintura de caucho int - ext (dos manos) incl. fondo	m2	50



## **ANÁLISIS DE ENCOFRADO PARA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN**

Para la construcción de los muros portantes de hormigón se plantea el uso de encofrado metálico o también llamado formaleta, es un sistema de construcción sencillo, modular, rápido y rentable con el que se puede lograr estructuras sismorresistentes en concreto de alta calidad y durabilidad. Se parte de características de encofrado en aluminio ofrecido por la empresa FORSA (con sede en Colombia) y se detallan las características a continuación.

### Paneles o módulos del encofrado

Son aquellos elementos que conforman la parte principal del armado del encofrado ya que tienen la función de soportar las cargas producidas por el concreto al igual que proporcionar un acabado liso; en los extremos de estos se encuentran ranuras que facilitan la colocación de corbatas o distanciadores, y la unión módulo-módulo.

### Material de paneles o módulo del encofrado

El material de conformación de la pieza de encofrado es de lámina de aluminio que garantiza superficies lisas, El aluminio es un material relativamente ligero y duradero en la construcción.

### Número de usos del equipo

Cada equipo de encofrado de constitución de aluminio puede producir entre 1500 y 2000 unidades de vivienda, dependiendo del uso y cuidado ([www.forsa.com](http://www.forsa.com), 2014).

### Dimensiones de los módulos

Los módulos de conformación del encofrado metálico requieren dimensiones especiales para el proyecto de vivienda en estudio, dichas dimensiones se toman del catálogo (figura 31) presentado por la empresa Forsa (Colombia) y se exponen a continuación.

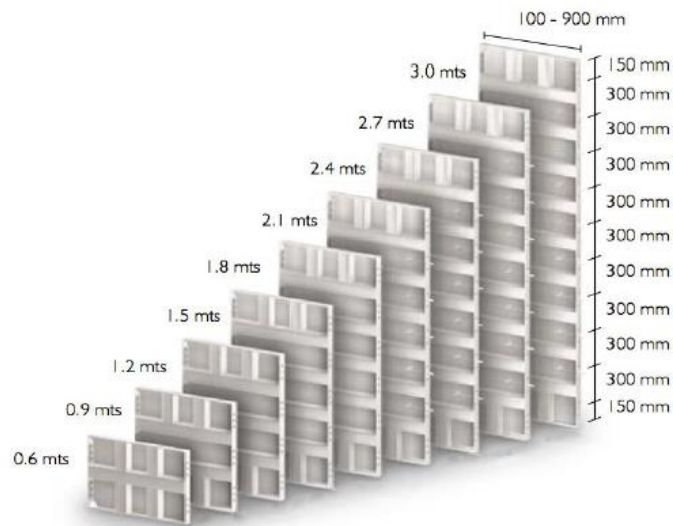


Figura 30. Catálogo de formaletas de aluminio para construcción de viviendas. Tomado de [www.forsa.com.co](http://www.forsa.com.co)

El esquema de los módulos seleccionados para el análisis de construcción de la vivienda en estudio son los que se muestran en la figura 32, el módulo 5 y 6 (M5 y M6) tienen una geometría especial, esto para ajustarse al diseño arquitectónico de los muros 4 y 6.

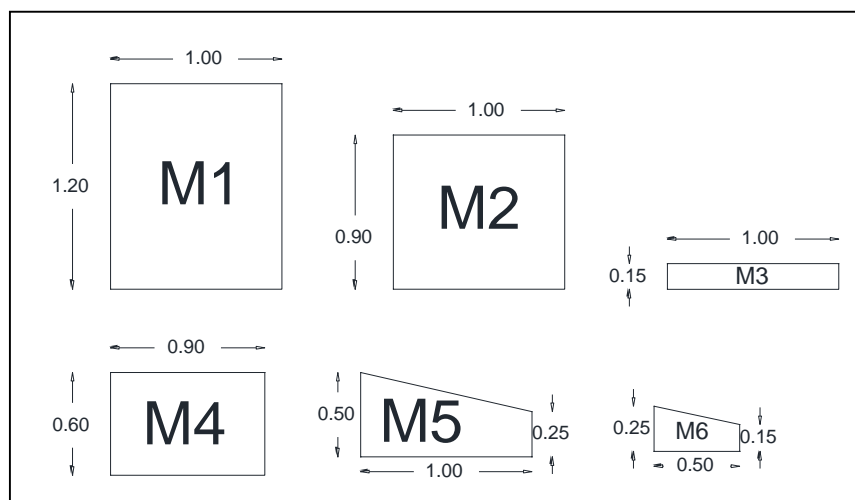


Figura 31. Esquema y dimensiones de los módulos o formaletas para la construcción de la vivienda social de este estudio.

#### Accesorios de sujeción

Los accesorios se ubican en las bandas laterales para mejorar el cierre entre los paneles, se consideran los siguientes accesorios:

Pasadores. - Accesorios que ayudan a la sujeción de paneles de muro entre si con angulares, esquineros de muro, tapa muro y unión muro losa.



Figura 32. Tipos de pasadores para encofrado de aluminio (Forsa). Tomado de [www.forsa.com.co](http://www.forsa.com.co)

Cuñas. - Es un accesorio de forma curva la cual permite insertarla con facilidad reduciendo el daño del panel, su función principal es fijar las corbatas que rodean paneles fundidos con paneles que están por fundir.

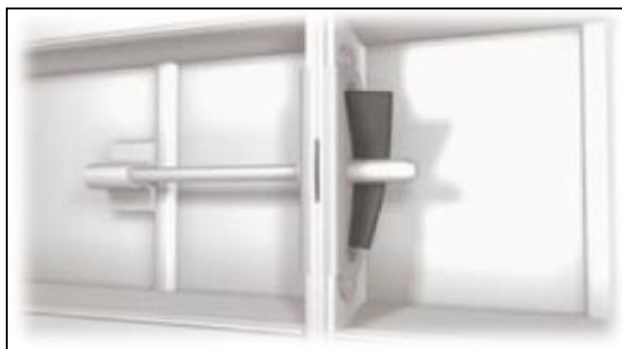


Figura 33. Cuñas para encofrado de aluminio (Forsa). Tomado de [www.forsa.com.co](http://www.forsa.com.co)

Distanciadores o corbatas. - Son separadores y sujetadores de los panes asegurando el espesor de los muros; son situados después de la colocación de las cuñas en los paneles y extraídos al concluir con los vaciados.



Figura 34. Tipos de corbatas para encofrado de aluminio (Forsa). Tomado de [www.forsa.com.co](http://www.forsa.com.co)

Saca paneles. - Son elementos que se utilizan para remover paneles o formaletas del concreto, es decir facilita el desencofre de las formaletas de muro y se realiza después de cada vaciado.



Figura 35. Saca módulos de encofrado de aluminio (Forsa). Tomado de [www.forsa.com.co](http://www.forsa.com.co)

Esquinero de aluminio. - Elementos de aluminio que sirven para unir los extremos de los muros o columnas, estructurando así las esquinas de ángulo recto.



Figura 36. Elementos de esquina en el encofrado de aluminio (Forsa). Tomado de [www.forsa.com.co](http://www.forsa.com.co)

#### Armado de la formaleta

Los módulos empleados se disponen de tal manera que conformen un confinamiento temporal para el vaciado del hormigón y sobre todo para darle la moldura necesaria, consiguiendo así la forma arquitectónica de los muros, ejemplo imagen 5. El tejido del encofrado con estos módulos descritos anteriormente para la construcción de los muros de la vivienda social específica de este estudio. A continuación, se muestra el armado de los módulos de encofrado para los muros 1, 3 y 6, los cuales tienen ciertas consideraciones en su geometría.



Imágen 5. Ejemplo del armado de una vivienda con formaletas de aluminio. Tomado de [www.forsa.com.co](http://www.forsa.com.co)

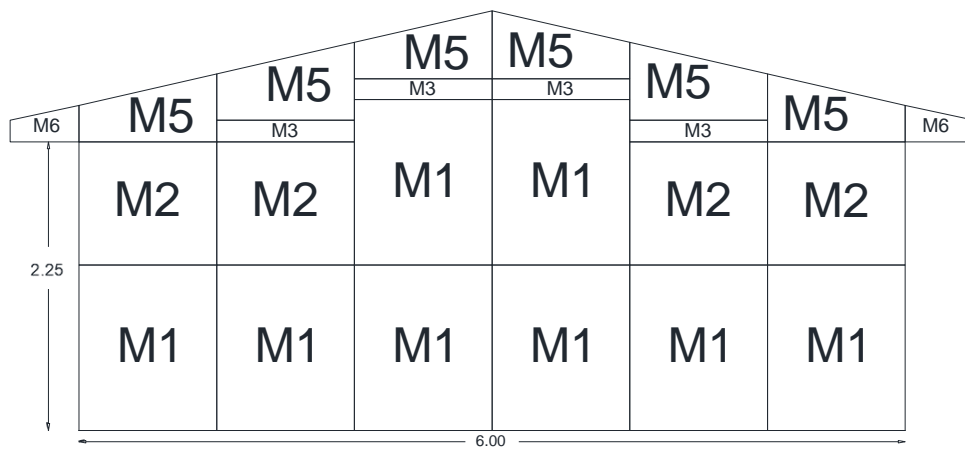


Figura 37. Armado de módulos para el muro 6 de la vivienda tipo social.

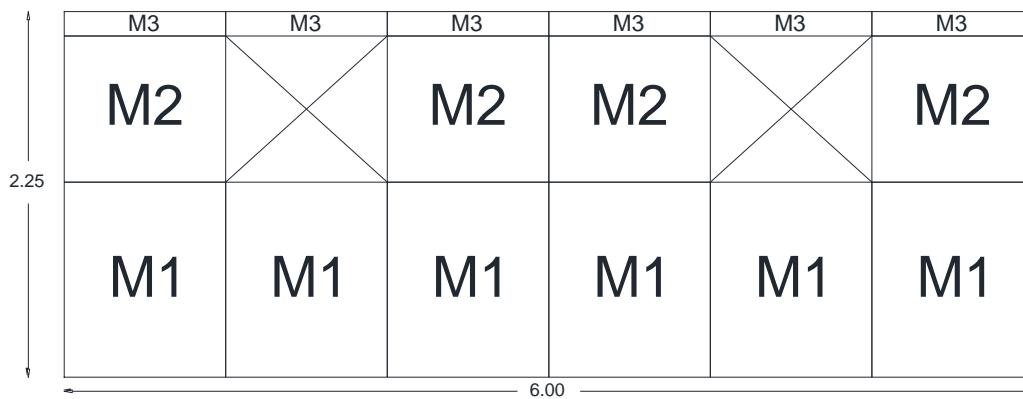


Figura 38. Armado de módulos para el muro 3 de la vivienda tipo social.

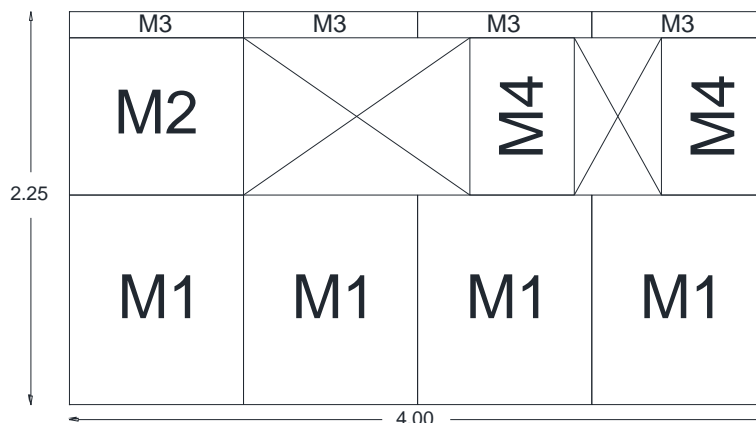


Figura 39. Armado de módulos para el muro 1 de la vivienda tipo social.

#### Mano de obra especializada

Debido a la ligereza que presenta cada panel, la cantidad de personal requerido en obra para alcanzar los rendimientos óptimos por día es bajo, generando ahorros en este sentido. Además, al ser un sistema mecanizado, se debe dar una capacitación del uso de las piezas modulares a la mano de obra, la cual, con el continuo uso adquiere la familiaridad de acople de las piezas, lo cual resulta en un aumento de rendimiento.

#### Tiempo de desencofrado

La construcción de los muros utilizando este sistema de encofrado de aluminio permite que el muro se funda monolíticamente, lo que permite el desencofrado de todos los elementos al día siguiente a la fundición.

#### Costo y rendimientos del uso de formaletas

Al tener un conjunto modular de encofrado exclusivo para este caso de estudio, no se tiene un costo de adquisición real del mismo, pero del estudio "Sistemas constructivos con uso de formaletas metálicas para las viviendas solidarias Miraflores de la ciudad de Cuenca", el cual contempla la construcción de 182 viviendas tipo social, se tiene que el precio de adquisición del conjunto modular utilizado en el proyecto de ese estudio, asciende a un monto de \$ 484 569,89 (Pesántez, 2014). De aquí se tiene que, con un adecuado mantenimiento de las piezas modulares, éstas llegan a una vida útil de 1500 usos, lo cual significa que para cada construcción de una vivienda tipo social el costo por uso del conjunto modular de formaletas es de \$ 323,00. Se hace referencia a estos costos por las características similares presentadas en la vivienda tipo social de ese estudio con las características de la vivienda del estudio actual, esto

tiene entonces una limitación de ser sólo una referencia en cuanto al costo de adquisición de un conjunto modular especializado y costo por uso.

A partir del mismo estudio mencionado en el párrafo anterior, se efectúa un análisis de precios unitarios para el conjunto modular de encofrado utilizado, encontrando que los rendimientos obtenidos al utilizar este sistema de encofrado aumentan sustancialmente comparado al encofrado tradicional de madera, disminuyendo así costos de construcción. De esta manera se tiene que en proyectos modulares (construcción de varias viviendas) el ahorro se vuelve muy significativo. En la tabla 17 se muestra los valores de este estudio.

Tabla 17. Valores obtenidos del estudio de uso de formaletas en la construcción de viviendas de interés social en el proyecto Miraflores. Tomado de (Pesántez, 2014).

---

Armado y encofrado de formaletas en paredes	
Nro. Obreros	5
Tiempo de ejecución	5.4 horas
Cantidad ejecutada	57.795
Unidad	m <sup>2</sup>
Rendimiento Hora	0.018

---

Consideraciones en el uso de formaletas en la construcción de los muros de hormigón.

Instalaciones eléctricas

En la sección de los módulos sin vaciar hormigón todavía, se colocan las tuberías, armaduras e instalaciones requeridas en los planos eléctricos de manera que todas quedan perdidas en la estructura. Se asegura bien a las mallas los cajetines eléctricos para que no se mueve al momento del vertido del hormigón. Se debe tener especial cuidado en esta etapa constructiva pues, una vez vaciado el hormigón, no se puede alterar la estructura del muro.

Instalaciones de tubería de agua potable y desagües

Se toma en cuenta de la misma manera que en las instalaciones eléctricas a las tuberías que atraviesan los muros como por ejemplo en la cocina, se tendrá una tubería que lleve el agua hasta el lavabo, y una tubería que recoja el agua del lavabo, lo mismo para el baño donde se tendrá una ducha y retrete.



## **RUBROS SISTEMA MAMPOSTERÍA CONFINADA**

Se detalla a continuación los rubros relevantes que se han considerado para el análisis de costos de este sistema constructivo, los cuales son:

1. Enlucido
2. Mampostería de bloque
3. Columnas y Vigas superiores: 3.1) Hormigón simple. 3.2) Encofrado recto en columna. 3.3) Viga electrosoldada V1.

### 1. Enlucido

Debido a que el sistema de mampostería se ve en la necesidad de cubrir sus paredes con una capa de enlucido para salvaguardar sus elementos de mampostería de los agentes climáticos externos, así como para brindar una estética aceptable, este rubro es necesario en este sistema, mientras que en el sistema de muros portantes al usar paneles de moldeamiento y confinamiento de sus muros (encofrado), no requeriría que sus muros accedan a un enlucido, y más aún cuando si en este sistema se usan formaletas de aluminio, pues estas le dan un acabado natural más fino al sistema debido a la calidad de su material (Tabla 18).

### 2. Mampostería de bloque

La mampostería de bloque es el rubro más característico de este sistema, es aquí donde se presenta la esencia misma de la diferencia constructiva y constitutiva entre ambos sistemas estudiados, por lo tanto, es menester estudiar este rubro como aporte a la diferenciación realizada en este trabajo. (Tabla 19)



Tabla 18. Análisis de precios unitarios del rubro enlucidos.

COSTOS DIRECTOS							
Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	
112001	Herramientas varias	Hora	1.0000	0.40	0.8000	0.32	
Subtotal de Equipo:						0.32	
Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	
223002	Cemento Portland Tipo I puesto en	saco	0.1000	7.11		0.71	
2EA073	Agua	lt	1.0000	0.01		0.01	
2EI005	Arena puesta en obra	m3	0.0200	20.00		0.40	
Subtotal de Materiales:						1.12	
Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	
Subtotal de Transporte:						0.00	
Mano de Obra							
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
402015	Peón		1.0000	3.51	0.8000	2.81	
403001	Albañil		1.0000	3.55	0.8000	2.84	
405006	Técnico obras civiles		1.0000	3.74	0.1600	0.60	
Subtotal de Mano de Obra:						6.25	
Costo Directo Total:						7.69	
COSTOS INDIRECTOS							
						15 %	1.15
<b>Precio Unitario Total .....</b>						<b>8.84</b>	

Tabla 19. Análisis de precios unitarios del rubro mampostería de bloque.

COSTOS DIRECTOS							
Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	
112001	Herramientas varias	Hora	1.0000	0.40	0.6000	0.24	
Subtotal de Equipo:						0.24	
Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	
2EU012	Bloque pomez de 40 x 20 x 15 cm	u	13.0000	0.45		5.85	
508003	Mortero de cemento 1:3	m3	0.0200	112.23		2.24	
Subtotal de Materiales:						8.09	
Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	
Subtotal de Transporte:						0.00	
Mano de Obra							
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
402015	Peón		1.0000	3.51	0.6000	2.11	
403001	Albañil		1.0000	3.55	0.6000	2.13	
405006	Técnico obras civiles		1.0000	3.74	0.1200	0.45	
Subtotal de Mano de Obra:						4.69	
Costo Directo Total:						13.02	
COSTOS INDIRECTOS							
						15 %	1.95
<b>Precio Unitario Total .....</b>						<b>14.97</b>	



### 3. Columnas y Vigas superiores

Presentes en el sistema de mampostería para dar confinamiento a sus elementos de mampostería. Estos rubros están formados a su vez por 3 sub-rubros, estos son: 1. Hormigón premezclado (Para conformación de las columnas y vigas), 2. Encofrado recto en columna, 3. Viga electrosoldada V1.

El análisis de costo unitario de la viga electrosoldada tipo V1 se muestra en la tabla 18. El análisis de costo unitario del rubro hormigón premezclado tanto para columna o viga en mampostería confinada se presenta en la tabla 21, y el análisis de costo unitario para el rubro encofrado recto tanto para columna y viga en la tabla 22.

Tabla 20. Análisis de precios unitarios del rubro viga electrosoldada V1 (viga de 6 m).

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	1.0000	0.40	0.2500	0.10
Subtotal de Equipo:						0.10
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
263018	Viga V1	u	0.1700	10.71		1.82
Subtotal de Materiales:						1.82
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0.00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		1.0000	3.51	0.2500	0.88
403001	Albañil		1.0000	3.55	0.2500	0.89
405006	Técnico obras civiles		1.0000	3.74	0.0500	0.19
Subtotal de Mano de Obra:						1.96
Costo Directo Total:						3.88
COSTOS INDIRECTOS						
					15 %	0.58
Precio Unitario Total .....						4.46



Tabla 21. Análisis de precios unitarios del rubro hormigón premezclado para columnas y vigas en el sistema de mampostería confinada.

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	5.0000	0.40	0.9000	1.80
102014	Vibrador	Hora	1.0000	1.80	0.9000	1.62
Subtotal de Equipo:						3.42
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
507002	Hormigón Simple f'c = 210 kg/cm2	m3	1.0000	119.42		119.42
Subtotal de Materiales:						119.42
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0.00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		4.0000	3.51	0.9000	12.64
403001	Albañil		1.0000	3.55	0.9000	3.20
405006	Técnico obras civiles		1.0000	3.74	0.4500	1.68
Subtotal de Mano de Obra:						17.52
COSTOS INDIRECTOS						
					15 %	21.05
Precio Unitario Total .....						161.41

Tabla 22. Análisis de precios unitarios del rubro encofrado recto para columnas y vigas.

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
117012	Equipo menor	Hora	1.0000	0.20	0.2000	0.04
Subtotal de Equipo:						0.04
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
253002	Píngos de eucalipto	m	3.5000	0.80		2.80
253005	Tiras de eucalipto 4 x 5 x 300 cm	u	0.5000	1.08		0.54
2EA084	Clavos	kg	0.2000	1.91		0.38
253003	Tabla de encofrado 28 x 3 cm x 300	u	0.9000	2.70		2.43
Subtotal de Materiales:						6.15
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0.00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
403005	Carpintero		1.0000	3.55	0.5000	1.78
402015	Peón		1.0000	3.51	0.5000	1.76
Subtotal de Mano de Obra:						3.54
Costo Directo Total:						9.73
COSTOS INDIRECTOS						
					15 %	1.46
Precio Unitario Total .....						11.19



**RUBROS SISTEMA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN**

Se detalla a continuación los rubros relevantes que se han considerado para el análisis de costos de este sistema constructivo, los cuales son:

1. Hormigón premezclado para muros portantes de hormigón.
2. Suministro y colocación de malla electrosoldada (U-108).
3. Encofrado y desencofrado de formaletas.
4. Acero de refuerzo ( $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ).
5. Curado de superficie con antisol.

1. Hormigón premezclado  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

La cantidad de hormigón premezclado difiere en gran medida en un sistema como en otro, pues el muro en el sistema muros portantes de hormigón está constituido principalmente por este elemento, convirtiendo este material tal vez en uno de los más importantes al momento de comparar precios en la obra por la cantidad usada en ella.

Tabla 23. Análisis de precios unitarios del rubro hormigón premezclado para muros portantes.

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
100006	Herramienta menor	Hora	1.0000	0.40	0.0740	0.03
102027	Bomba para hormigon	Hora	1.0000	13.00	0.0740	0.96
Subtotal de Equipo:						0.99
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
200503	Hormigón premezclado $f'c = 210 \text{ kg}$	m3	1.0000	119.22		119.22
Subtotal de Materiales:						119.22
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0.00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		3.0000	3.51	0.0740	0.78
403001	Albañil		1.0000	3.55	0.0740	0.26
404011	Maestro mayor en ejecución de obras civiles		1.0000	3.93	0.0740	0.29
Subtotal de Mano de Obra:						1.33
Costo Directo Total:						121.54
COSTOS INDIRECTOS						
					15 %	18.23
<b>Precio Unitario Total</b> .....						<b>139.77</b>

2. Suministro y colocación de malla electrosoldada (U-108)  
 Como ya se ha mencionado antes, en el sistema de muros portantes se utiliza una malla electrosoldada que sirve como

refuerzo tanto para la combinación de cargas impuestas, como para esfuerzos de retracción por temperatura, dicha malla no está presente en sistema de mampostería por lo que también se toma en cuenta este rubro para su análisis. Las características de esta malla se obtienen del catálogo de IdealAlambrec (distribuidor autorizado en Ecuador) como se muestra a continuación:

Tabla 24. Propiedades de mallas electrosoldadas Armex Ultra. Tomado de IdealAlambrec.com

MALLA Tipo de malla	DIÁMETRO		SEPARACIÓN		SECCIÓN ACERO As/m		PESO	
	Ø Longitud - Ø Transversal mm		SL Longitudinal - ST Transversal cm		As L - As T mm <sup>2</sup> /m		Kg / Plancha	Kg / m <sup>2</sup>
U-110	3,75		10		110		25,91	1,73
U-106 *	4,5		15		106		25,07	1,67
U-177	4,75		10		177		41,57	2,77
U-173 *	5,75		15		173		40,93	2,73
U-196	5		10		196		46,06	3,07
U-205 *	6,25		15		205		48,36	3,22
U-238	5,5		10		238		55,73	3,72
U-239 *	6,75		15		239		56,41	3,76
U-335 *	8		15		335		79,23	5,28
U-524 *	10		15		524		123,80	8,25
U-55	3,75		20		55		13,16	0,88
U-71	4,25		20		71		16,91	1,13
U-89	4,75		20		89		21,12	1,41
U-108	5,25		20		108		25,80	1,72
U-131	5		15		131		30,95	2,06
U-158	5,5		15		158		37,45	2,50
U-221	7,5		20		221		52,65	3,51
U-284	8,5		20		284		67,62	4,51
U-354 *	9,5		20		354		84,47	5,63
U-433 *	10,5		20		433		103,18	6,88
U-44	3,75		25		44		10,62	0,71

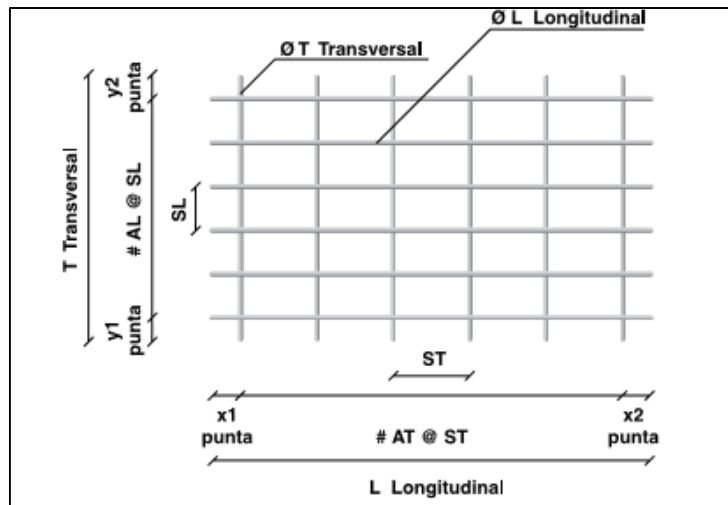


Figura 40. Esquema de malla U-108. Tomado de IdealAlambrec.com

- ØT: 5.25 mm - ØL: 5.25 mm - ST: 20 cm - SL: 20 cm
- Y1, Y2: 12.5 cm - X1, X2: 10 cm - L longitudinal: 6.25 m
- T transversal: 2.40 m - Área: 15 m<sup>2</sup>. - F<sub>y</sub> = 6000 kg/cm<sup>2</sup>



Tabla 25. Análisis de precios unitarios del rubro malla electrosoldada U-108.

COSTOS DIRECTOS							
Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	
112001	Herramientas varias	Hora	1.0000	0.40	0.1000	0.04	
Subtotal de Equipo:						0.04	
Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	
200835	Malla electrosoldada 200mm x 200	u	0.0700	28.75		2.01	
200836	Alambre recocido # 16	kg	0.0500	1.38		0.07	
Subtotal de Materiales:						2.08	
Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	
Subtotal de Transporte:						0.00	
Mano de Obra							
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
404011	Maestro mayor en ejecución de obras civiles		1.0000	3.93	0.0145	0.06	
403004	Fierro		1.0000	3.55	0.1450	0.51	
402015	Peón		1.0000	3.51	0.1450	0.51	
Subtotal de Mano de Obra:						1.08	
Costo Directo Total:						3.20	
COSTOS INDIRECTOS							
						15 %	0.48
<b>Precio Unitario Total .....</b>						<b>3.68</b>	

### 3. Encofrados y desencofrado de formaletas para muros de hormigón

Como se estudió en el subcapítulo análisis de encofrado para muros de hormigón, para colocar el hormigón premezclado constituyente del muro, este se ve en la necesidad de ser confinado y moldeado, es así como en este sistema el uso de un encofrado es totalmente necesario, diferenciándose del caso de muros de mampostería, donde sus piezas de constitución son colocadas una a una a mano sin necesidad de encofrado. Aquí además se hace mención a que, dependiendo del tipo de encofrado (en este caso encofrado de aluminio), este sistema de muros portantes de hormigón rinde de una mejor manera al utilizar formaletas especializadas en proyectos modulares, es decir donde este encofrado tiene una moldura especial para un proyecto definido, adquiriendo mejores rendimientos y por tanto convirtiéndolo en una ventaja constructiva.

Tabla 26. Análisis de precios unitarios del rubro encofrados y desencofrado de formaletas para muros de hormigón.

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	1.0000	0.40	0.3000	0.12
101012	Accesorios para encofrado de m	Hora	1.0000	0.36	1.0000	0.36
100019	Formaleta para muros	Hora	1.0000	3.99	1.0000	3.99
Subtotal de Equipo:						4.47
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0.00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
301002	Tranporte general	m3/km	1.0000	0.13	4.0000	0.52
Subtotal de Transporte:						0.52
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		3.0000	3.51	0.0180	0.19
403001	Albañil		2.0000	3.55	0.0180	0.13
Subtotal de Mano de Obra:						0.32
Costo Directo Total:						5.31
COSTOS INDIRECTOS						
15 %						0.80
<b>Precio Unitario Total .....</b>						<b>6.10</b>

4. Acero de refuerzo ( $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ )

Se debe colocar un refuerzo en los contornos de puertas, ventanas y otros tipos de aberturas para la construcción de muros, este refuerzo debe estar dispuesto en las direcciones verticales como horizontales según lo requiere el código de la construcción y además, el diámetro nominal de la varilla de este refuerzo es de 16 mm; en cambio, el sistema de mampostería tiene en estos espacios especificados lo que se conoce como dinteles, rubro que tiene la misma constitución, en lo que es el análisis de costos unitarios, las columnas y vigas estudiadas en los rubros del sistema de mampostería, por lo que se aclara que al final este rubro de igual manera entra en el análisis del precio referencial.

Tabla 27. Análisis de precios unitarios del rubro acero de refuerzo ( $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ).

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	2.0000	0.40	0.0300	0.02
Subtotal de Equipo:						0.02
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
202001	Acero en varillas	kg	1.0500	1.11		1.17
2EA083	Varios	Global	0.0250	1.60		0.04
209001	Alambre de amarre No. 18 negro re	kg	0.0500	2.05		0.10
Subtotal de Materiales:						1.31
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0.00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		2.0000	3.51	0.0300	0.21
403004	Fierrero		1.0000	3.55	0.0300	0.11
405006	Técnico obras civiles		1.0000	3.74	0.0090	0.03
Subtotal de Mano de Obra:						0.35
Costo Directo Total:						1.68
COSTOS INDIRECTOS						
					15 %	0.25
Precio Unitario Total .....						1.93

5. Curado de superficie con antisol.

A diferencia del sistema de mampostería, los muros portantes de hormigón requieren un tratamiento de curado, el cual consiste en rociar la superficie fresca del hormigón luego de que esta ha sido desencofrada, esto para evitar la pérdida de agua del hormigón por evaporación, evitando el resecamiento prematuro y de esta manera, garantizar una completa hidratación del cemento, llevando así al hormigón a un normal desarrollo de resistencia y así evitando el agrietamiento del hormigón.





Tabla 28. Análisis de precios unitarios del rubro curado de superficie con antisol.

COSTOS DIRECTOS							
Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
102035	Bomba de aspersión	Hora	1.0000	1.50	0.0200	0.03	0.0285714
Subtotal de Equipo:						0.03	0.03
Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	%
200837	Antisol Blanco Concentrado 4 Kg	u	0.0500	19.00		0.95	0.9047619
Subtotal de Materiales:						0.95	0.90
Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00
Mano de Obra							
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%
402015	Peón		1.0000	3.51	0.0200	0.07	0.0666667
Subtotal de Mano de Obra:						0.07	0.07
Costo Directo Total:							1.05
COSTOS INDIRECTOS							
						15 %	0.16
<b>Precio Unitario Total .....</b>							<b>1.21</b>

### RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS

En la tabla 28 se presenta un resumen de los valores de precios unitarios de los rubros analizados de cada sistema, incluyendo aquellos rubros que se obviaron en el anterior análisis.



Tabla 29. Resumen de análisis de precios unitarios.

Rubro	Mampostería confinada	Muros Portantes	Unidad	Precio Unitario
Columnas	Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> para columnas.	X	m <sup>3</sup>	161.41
	Encofrado recto en columna.	X	m <sup>2</sup>	11.19
	Viga electrosoldada (Viga tipo V1).	X	m <sup>1</sup>	4.46
Vigas superiores	Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> para vigas.	X	m <sup>3</sup>	161.41
	Encofrado recto en vigas.	X	m <sup>2</sup>	11.19
	Viga electrosoldada (Viga tipo V1).	X	m <sup>1</sup>	4.46
Mampostería	Mampostería de bloque de 15x20x40.	X	m <sup>2</sup>	14.97
Enlucidos	Enlucido int-ext	X	m <sup>2</sup>	8.84
Hormigón	Hormigón premezclado $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> (incluye bomba) para muro portante.	X	m <sup>3</sup>	139.77
Malla Electro.	Suministro y colocación de malla electrosoldada reforzada.	X	m <sup>2</sup>	3.68
Encofrado recto	Encofrado y desencofrado de formaletas	X	m <sup>2</sup>	6.10
Refuerzo	Acero de refuerzo ( $f_y=4200$ Kg/cm <sup>2</sup> )	X	Kg	3.78
Curado	Curado de superficie con antisol	X	m <sup>2</sup>	1.21

Como se ve en esta tabla, el sistema de mampostería confinada presenta una mayor cantidad de rubros necesarios para desarrollar la construcción comparada al sistema de muros portantes, sin embargo, las cantidades de obra de cada una son las que al final definirán el costo total y ahorro de la una comparada a la otra como se estudiará a continuación.

Cantidad de material empleado

A continuación, se presenta la cantidad de obra estimada para la ejecución de la obra tanto para el sistema de mampostería confinada como para el sistema muros portantes de hormigón, se presenta la cantidad de los rubros concernientes al análisis de costos unitarios de los rubros relevantes mencionados en función de las especificaciones técnicas presentadas para la vivienda tipo.



Tabla 30. Cantidad de obra y presupuesto referencial de los rubros relevantes para el sistema de mampostería confinada.

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Presupuesto Referencial	
Columnas	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 para columnas.	m3	0.46	161.41	74.25
	Encofrado recto en columna.	m2	6.25	11.19	69.94
	Viga electrosoldada (Viga tipo V1).	m1	29.82	4.46	133.00
Vigas superiores	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 para vigas.	m3	0.97	161.41	156.57
	Encofrado recto en vigas.	m2	11.87	11.19	132.83
	Viga electrosoldada (Viga tipo V1).	m1	42.31	4.46	188.70
Mampostería	Mampostería de bloque de 15x20x40.	m2	65.00	14.97	973.05
Enlucidos	Enlucido int-ext	m2	144.00	8.84	1272.96
Dinteles	Dinteles puertas y ventanas	anexo	anexo	74.77	
Total					3076.06

Tabla 31. Cantidad de obra y presupuesto referencial de los rubros relevantes para el sistema muros portantes de hormigón.

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Presupuesto Referencial	
Hormigón	Hormigón premezclado f"=210 kg/cm2 (incluye bomba).	m3	6.07	139.77	848.40
Malla Electro.	Suministro y colocación de malla electrosoldada reforzada.	m2	90.00	3.68	331.20
Encofrado recto	Encofrado y desencofrado	m2	155.00	6.10	945.5
Refuerzo	Acero de refuerzo (fy=4200 Kg/cm2)	Kg	53.47	1.93	103.20
Curado	Curado de superficie con antisol	m2	155.00	1.21	187.55



---

Total

2415.85

---

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se discute los dos sistemas estudiados en función de la metodología propuesta, es decir con la información disponible respecto a cada sistema en función de la bibliografía estudiada contextualizando las diferentes características que ellos presentan, a través también del análisis estructural evaluado del sistema muros portantes de hormigón, y finalmente de una apreciación de costos tanto de un sistema como del otro, sabiendo que el presupuesto obtenido es referencial aproximado a la realidad.

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS SISTEMAS.**

Se ha hecho una presentación de cada sistema constructivo, de sus características, utilidades, capacidades y funcionalidades, todo ello en función directa en la aplicación de estos para una vivienda tipo social y se discuten a continuación.

#### Aislamiento térmico y acústico

En el subcapítulo de funcionalidad del sistema de mampostería confinada se habló de estos parámetros tanto para un muro de mampostería como para un muro portante de hormigón y se recalcó ciertas diferencias, por ejemplo, se sabe que el aire en estado pasivo que se encuentra atrapado en la cámara de aire de los elementos de mampostería actúa como un gran aislante térmico por sus propias características, sin embargo, un muro portante no es diseñado con estas características y el único aire que contiene es el que ha sido tomado en consideración en el diseño del hormigón (despreciable), por lo tanto, se debe tomar en cuenta la capacidad térmica directa del hormigón como único medio aislante de temperatura entre ambientes externo e interno, es así que nuevamente se recurre a valores de coeficiente de conductividad térmica del material de conformación de estos dos tipos de sistemas constructivos, y como se puede observar en los valores antes mencionados, un elemento de hormigón armado normal posee 2.8 veces más conductividad térmica que un bloque hueco de mampostería, convirtiéndolo en un buen sistema conductor térmico, lo cual no se busca en estos casos, pues se desea preservar la temperatura de un hogar en época de invierno, e impedir el calentamiento excesivo del hogar en época de verano por la actuación de las ondas caloríficas emanadas desde el sol, por lo tanto, el sistema de mampostería confinada desempeña un mejor papel ante esta parámetro de funcionalidad en comparación al muro portante.

Por otro lado, el aislamiento acústico que ofrece el material de constitución de un muro de hormigón no es de mayor grado como se habló en el mismo inciso mencionado, esto ocurre porque el material de constitución del sistema muro portante de hormigón presenta una mayor densidad comparado con los bloques de mampostería, y a saber, la velocidad de propagación de una onda sonora depende de las características del medio en el que se transmite dicha propagación. En general, la velocidad del sonido en dos elementos es mayor en aquel que tiene mayor densidad. (Alton & Pohlmann, 2001). Al tener el muro portante de hormigón mayor densidad que el sistema de mampostería confinada, le da una ventaja en este parámetro de funcionalidad también.

#### Peso de la estructura

Haciendo un análisis del peso de un muro tipo de dimensiones definidas para simular los muros de la vivienda tipo social y de esta manera comparar el peso que conlleva cada sistema constructivo, se procede a tomar como ejemplo un muro con medidas de 2 metros de largo y 2 metros de alto para facilidad de cálculo.

De esta manera se tiene que en el sistema de mampostería de dicho muro tipo, este tendrá 5 bloques de 15x20x40 cm dispuestos en 10 filas, una viga superior de 20x15x200 cm, 11 filas de mortero de peso normal con espesor de 1 cm, y un enlucido con espesor de 2.5 cm. Tomando en consideración el peso de cada bloque como 12.5 kg y la densidad del hormigón como 2400 kg/cm<sup>3</sup>, el peso final por metro cuadrado de este sistema es 236.05 kg/m<sup>2</sup>. Por otro lado, el sistema muros portantes de hormigón solo considera el peso del hormigón y el peso del refuerzo, sabiendo que el peso de la malla es de 1.72 kg/m<sup>2</sup>, se tiene que el peso constructivo de este sistema es 193.72 Kg/m<sup>2</sup>. Estos valores referenciales dan una idea entonces del peso de la estructura dependiendo del sistema constructivo, siendo el de mampostería confinada más pesada que el de muros portantes de hormigón.

#### Resistencia al fuego

Con los valores presentados en duración de resistencia al fuego de cada uno de los sistemas, donde el sistema de mampostería presenta una mayor duración en resistencia ante esta situación, se tiene que este sistema debería ser tomado obligatoriamente en cuenta para salvaguardar la seguridad de los ocupantes, sin embargo, en el caso de un incendio, este evento durará el tiempo que se consuma los materiales combustibles, ni la mampostería, ni el hormigón armado son

materiales combustibles, y están soportando su peso, puesto que la cubierta se va a consumir, se considera que el tiempo que dure el incendio no va a generar mayor daño en las paredes de hormigón armado; por otro lado, muchas veces no se tiene una fuente de agua cerca al sitio de impacto para sofocar este siniestro, por lo tanto necesariamente se requiere una duración prolongada en la resistencia de la vivienda al fuego hasta poder suplir esta necesidad, dándole otra vez una ventaja al sistema de mampostería confinada.

#### Transporte

En cuanto a transporte, las piezas de mampostería son transportadas hasta el sitio de la obra, convirtiendo esto tal vez en un riesgo en la integridad de su estructura, sin embargo, teniendo un adecuado manejo, esto no se ve como un gran influyente en la elección de un muro.

### **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL**

#### Desplazamientos máximos

En las tablas 24 y 25 se presenta un resumen de los resultados referentes a los desplazamientos máximos para cada sistema constructivo, y en la figura 31 se ilustra gráficamente la diferencia de desplazamientos entre ambas.

Se observa que los desplazamientos máximos generados por el sismo son menores en el sistema muros portantes de hormigón a comparación con el sistema de mampostería confinada. Esto se produce por la diferencia de masas y nivel de rigidez que hay entre el pórtico de confinamiento y los muros estructurales, mientras más masa posee la estructura, mayor será el desplazamiento; y mientras mayor es la rigidez, menor serán estos. (Diéguez, Morón, & Casarin, 2015).

Tabla 32. Desplazamiento máximo generado por sismo en el sistema muros portantes de hormigón.

Dirección	Desplazamiento máximo (+)	Desplazamiento máximo (-)
	(mm)	(mm)
x	4.34	-6.80
y	2.13	-5.58
z	0.00	-6.23

Tabla 33. Desplazamiento máximo generado por sismo en el sistema de mampostería confinada.

Dirección	Desplazamiento máximo (+)	Desplazamiento máximo (-)
	(mm)	(mm)
x	4.52	-6.98
y	3.17	-6.62
z	0.00	-7.87

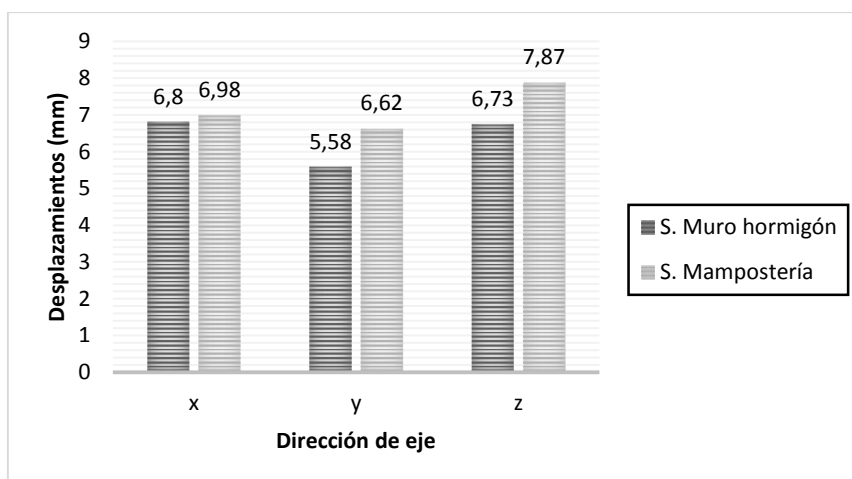


Figura 41. Comparación de las derivas máximas generadas por el sismo, en ambos sistemas constructivos.

Se presenta también en la figura 32 un esquema de desplazamientos localizados en la vivienda tipo social para los sistema constructivos diseñados. La escala de referencia está dada en milímetros.

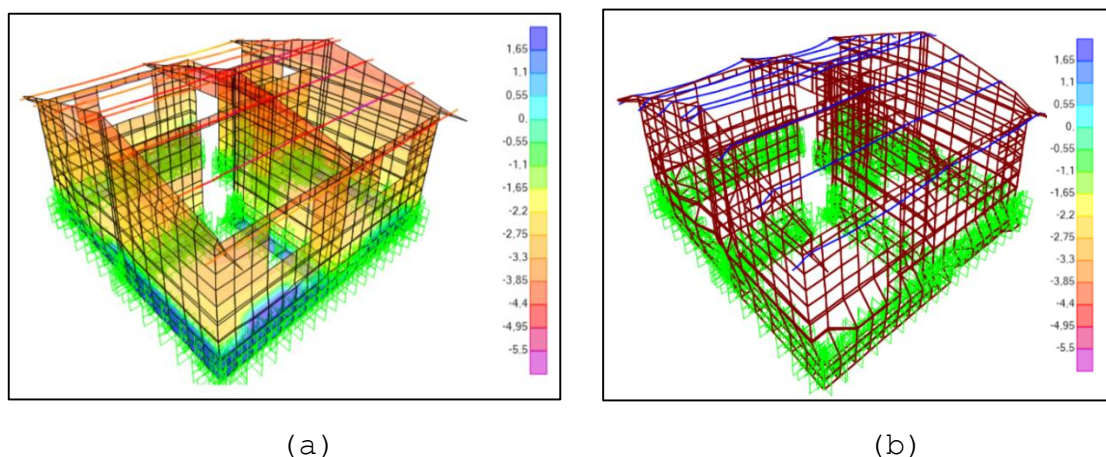


Figura 42. Esquema de desplazamientos localizados de los sistemas: (a) Muros portantes de hormigón y (b) mampostería confinada.



Entonces, los resultados encontrados de los desplazamientos en cada sistema constructivo muestra que, el sistema de mampostería confinada es el que presenta los mayores desplazamientos ante un sismo, estando el desplazamiento más crítico en la dirección del eje z.

La deriva máxima no excederá los límites establecidos en la tabla 26, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso.

Tabla 34. Valores de  $\Delta_M$  máximos, expresados como fracción de la altura de piso. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015).

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

Tabla 35. Valores de deriva máxima para cada sistema constructivo.

Deriva máxima	
Muro portante	Mampostería
0.002	0.003

Finalmente, los valores obtenidos en la tabla 27 cercioran que los valores obtenidos en los desplazamientos máximos están dentro de los límites establecidos por la norma.

#### **PRESUPUESTO REFERENCIAL**

Tanto la tabla 30 como la tabla 31 proporcionan el valor de presupuesto referencial para los rubros relevantes estudiados para ambos sistemas, el presupuesto obtenido de los rubros estudiados en sistema muros portantes de hormigón excede en 660.21 \$ el presupuesto del sistema muros confinados de hormigón, quedando definida la diferencia presupuestaria de dichos sistemas. En la tabla 36 se muestran los resultados del análisis de precios obteniendo el presupuesto total que conllevaría la construcción con cada sistema incluyendo los rubros tales como instalaciones eléctricas y demás. Dicho presupuesto total se presenta en los anexos.

Tabla 36. Resumen de presupuesto total de la aplicación de los sistemas constructivos para una vivienda tipo social.

Sistema constructivo	Presupuesto de rubros relevantes	Presupuesto Total
----------------------	----------------------------------	-------------------



---

Mampostería Confinada	3076.06	7801.58
Muros portantes hormigón	2415.85	7141.37

---

---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Al necesitar el sistema constructivo de muros portantes de hormigón un conjunto de encofrado (en este caso de estudio, un encofrado especializado), este se ve limitado por el costo de inversión inicial que se requeriría para la obtención de dicho conjunto modular cuando la construcción del número de viviendas no satisface una ganancia, por lo que se debe construir necesariamente un cierto número de viviendas para que este sistema constructivo presente beneficios económicos, en este estudio no se realiza el análisis de viviendas necesarias para suplir esta limitación, sin embargo, del estudio mencionado en la construcción de viviendas sociales en la ciudadela Miraflores en la ciudad de Cuenca se tiene como referencia que, para que un sistema así sea rentable, se debe construir un aproximado de 189 viviendas, es decir, este sistema es para nada satisfactorio en un número de construcciones bajo de viviendas, pero al tener una construcción masiva este sistema representa una ganancia significativa ante el otro sistema constructivo; por lo que, el sistema de mampostería confinado entonces se ve muy satisfactorio al momento de construir un bajo número de viviendas.

2. Con respecto a la seguridad, muchas veces en viviendas de tipo social se sacrifica la seguridad (la calidad de los materiales no es tan buena, etc). En este caso, el sistema de muros portantes de hormigón ha demostrado brindar mayor seguridad estructural que el sistema de mampostería confinada, pues frente a cargas de cortante la mampostería se va a romper primero mientras que el sistema de muros portantes de hormigón presenta mayor resistencia ante esta situación, por lo que el sistema de muros portantes de hormigón es más seguro que el sistema de mampostería confinada.

Por otro lado, frente a condiciones de funcionalidad de una vivienda, en este caso ruido y temperatura, se concluye que el sistema de mampostería confinada se impone claramente ante el sistema muros portantes de hormigón por las características propias de este sistema.

Partiendo de los resultados obtenidos de los diferentes análisis efectuados en dichos sistemas constructivos, se concluye con las siguientes fortalezas y debilidades de cada uno de ellos.

## SISTEMA MUROS PORTANTES DE HORMIGÓN

### FORTALEZAS

- **Deformaciones:** Las deformaciones de los muros portantes de hormigón son bajas gracias a su elevada rigidez.
- **Seguridad estructural:** El diseño obtenido del muro portante de hormigón para una vivienda de interés social demuestra que este sistema brinda una seguridad estructural de elevado rango ante un evento sísmico en función de sus deformaciones.
- **Tiempos menores:** Sus tiempos de ejecución son cortos comparados con otros sistemas constructivos, especialmente el de mampostería confinada.
- **Acabado:** Gracias a la laminidad del encofrado metálico recto, el sistema no necesita un enlucido final obligatorio para suplir fines estéticos, en su lugar se aplica directamente pintura en los muros.
- **Proyectos modulares:** Con base al análisis comparativo en el uso de formaletas y encofrado metálico típico disponible en el mercado constructivo, se demuestra que resulta muy económico la elección de este sistema en proyectos de gran escala.

### DEBILIDADES

- **Proyectos aislados:** A diferencia de proyectos modulares, la aplicación de este sistema en proyectos pequeños o aislados resulta en un costo ligeramente mayor comparado al sistema de mampostería confinada.
- **Aviso de falla:** Al tener este sistema muros cortos en la vivienda de interés social, su rigidez es alta, pero también su ductilidad es baja, mostrando así su baja capacidad para absorber grandes deformaciones, presentando una falla frágil, es decir se rompería sin previo.
- **Refacciones de instalaciones:** En caso de que una instalación necesite algún arreglo, no es posible realizar esta refacción sin mayor problema, pues este es construido de hormigón como un elemento monolítico, y modificar alguna parte de este compromete toda su estructura.
- **Modificación arquitectónica:** No se puede realizar una modificación en el diseño arquitectónico, es decir una nueva disposición de espacio interior o ambiente en la

vivienda, pues los muros forman parte del sistema netamente estructural.

- Mano de obra especializada: La necesidad de mano de obra especializada, junto a un sistema de control estricto al momento de ejecutar la obra, permite reconsiderar el uso de este sistema en la construcción de una vivienda de interés social.

## SISTEMA MAMPOSTERIA CONFINADA

### FORTALEZAS

- Presupuesto: El presupuesto total adquirido por este sistema para la edificación de la vivienda tipo social es básico, menor al presentado por el sistema de muros portantes de hormigón, la diferencia no es muy grande, sin embargo puede influir en la decisión de los usuarios.
- Metodología: La metodología que se sigue para la construcción en este sistema es relativamente simple y los obreros del medio están muy familiarizados con la misma.
- Resistencia al fuego: Por lo expuesto en los resultados en cuanto al análisis de resistencia al fuego, este sistema presenta aventajamiento en cuanto a duración en el tiempo de resistencia a la exposición de fuego comparado a los muros portantes.
- Aislamiento térmico y acústico: De la misma manera, por lo expuesto en los resultados del análisis de funcionalidad y servicio, este sistema cubre de mejor manera estos requisitos frente al sistema de muros portantes de hormigón.
- Confianza de la población: El sistema de mampostería confinada es un sistema que genera confianza en vista de su larga tradición de aplicación, sus resultados han sido fiables y la familiaridad que este tiene en el medio resulta muy pesado al momento de elegir un sistema constructivo.

### DEBILIDADES

- Optimización de metodología. El sistema de mampostería toma una ejecución de obra lenta al tener que realizar la colocación de sus elementos de mampostería uno a uno, además, por su confección, estos elementos deben ser, una vez colocados, picados o reformados para dar paso a la colocación de instalaciones sanitarias, eléctricas y demás tuberías, para finalmente dar el enlucido al muro.

- Peso de la estructura: La heterogeneidad en la conformación de un muro de mampostería, conjuntamente con su geometría, provoca que el peso final de la vivienda sea mayor a la presentada por el sistema de muros portantes de hormigón, donde el muro es un cuerpo totalmente sólido con densidad homogénea pero con dimensiones menores a las utilizadas en el otro sistema.
- Transporte: El transporte de los elementos de mampostería desde el lugar de fabricación hasta el sitio de la obra implica un riesgo en la constitución de estos elementos.
- Desperdicios: Este sistema genera una cantidad de desperdicios al tener que: ejecutar un champeado para enlucido, corte de bloques, encofrado de vigas y columnas.
- Elementos extras: Este sistema se ve en la necesidad de combinarse con otros elementos estructurales como columnas y vigas para lograr un confinamiento.
- Tracción: Un muro de mampostería presenta baja resistencia a esfuerzos de tracción debido a su falta de refuerzo; en comparación un sistema de muros portantes de hormigón armado posee refuerzo en toda su estructura.

Finalmente, se efectúa un cuadro comparativo entre las características analizadas de cada sistema, resaltando el sistema que se impone al otro en dicha característica para formular un criterio de ventaja y desventaja del uno sobre el otro, cumpliendo de esta manera el objetivo general de este estudio.

Tabla 37. Cuadro comparativo entre sistemas, marcando el sistema que aventaja al otro en cada característica.

Característica	Mampostería confinada	Muros portantes de hormigón
Aislamiento térmico y acústico	x	
Aviso de falla	x	
Confianza de la población	x	
Costos en proyectos aislados	x	
Costos en proyectos modulares		x
Deformaciones ante un sismo		x



---

Desperdicios		x
Elementos extras		x
Mano de obra especializada	x	
Metodología de construcción	x	
Modificación arquitectónica	x	
Optimización de metodología		x
Peso de la estructura		x
Refacciones de instalaciones	x	
Resistencia al fuego	x	
Seguridad estructural		x
Tiempos de ejecución		x
Tracción		x
Transporte		x

---

#### Recomendaciones

- Para proyectos de gran envergadura que involucren viviendas de interés social con iguales características, se recomienda trabajar con muros portantes de hormigón usando un tipo de encofrado especializado como las formaletas, debido al ahorro en el presupuesto y tiempos que estas presentan.
- Se recomienda también para climas difíciles, en el caso de trabajar con muros portantes de hormigón, utilizar material de aislamiento térmico tales como alma de poliestireno, aunque este ya constituye un sistema constructivo diferente.
- Para la aplicación del sistema muros portantes de hormigón, se recomienda la capacitación de la mano de obra para evitar contratiempos al momento de la construcción y de esta manera explotar positivamente a este sistema.
- En el caso de un proyecto aislado, se recomienda la aplicación del sistema de mampostería confinada por la dificultad económica que presenta adquirir un sistema de encofrados especializados, lo que se debería hacer para generar un buen rendimiento en el caso de aplicar el sistema de muros portantes de hormigón.
- Como una línea futura de investigación, se recomienda abordar el objetivo de este estudio en la construcción



de edificios, donde se tomará también en cuenta otras consideraciones.



**BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS**

- ACI 318S. (2014). Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary.
- Alcocer, S. (1995). *Comportamiento y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado: Muros Estructurales*. Centro Nacional de Prevención de Desastres e Instituto de Ingeniería, México.
- Alton, F., & Pohlmann, K. (2001). *Master Handbook of Acoustics*. New York: McGraw-Hill.
- Amado, J. (2007). *Reglamento empírico para construcciones de mampostería de bajo compromiso estructural*. Buenos Aires, Argentina.
- Arrau, G. (1988). *Conceptos básicos sobre aislación térmica de viviendas*.
- Astroza, M., & Schmidt, A. (2004). Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (70). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=61807003>
- Bonelli, P. (1999). *Formato propuesto para la norma NCh433 y comentarios*. Chile.
- Briceño, A., & Carreras, N. (2013). *Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011*. Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.
- Construmática. (2017). Construcción de muros de hormigón. Recuperado a partir de [http://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n\\_de\\_Muros\\_de\\_Hormig%C3%B3n](http://www.construmatica.com/construpedia/Construcci%C3%B3n_de_Muros_de_Hormig%C3%B3n)
- CPE-INEN-NEC-SE-VIVIENDA. (2015). Capítulo 10: Viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5 metros.
- Diéguez, J., Morón, M., & Casarin, M. (2015). Análisis del comportamiento estructural de edificaciones de acero sismorresistentes de gran altura, utilizando el sistema estructural Diagrid.
- El Comercio. (2009). Muro portante, otra opción constructiva. Recuperado 19 de febrero de 2018, a partir de <http://www.elcomercio.com/actualidad/muro-portante-opcion-constructiva.html>
- Fratelli, M. (1999). *Edificios de pantallas y Estructuras Aperticadas*. Caracas.
- Herrera, A., & Guillermo, G. (2010). *Manual de construcción de mampostería en concreto*.
- INEC. (2017). Instituto nacional de estadística y censos. Recuperado 28 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>
- INEC, & CEPAL. (2011). Comisión especial interinstitucional de estadística de indicadores del censo de población y vivienda 2010. Recuperado a partir de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec//documentos/web->



- inec/POBREZA/NBI/NBI-FUENTE-CPV/acta\_NBI\_homologada.pdf
- Izaguirre, R., Rivera, R., & Mustelier, S. (2010). La revisión bibliográfica como paso lógico y método de la investigación científica. Recuperado 8 de noviembre de 2017, a partir de <https://serviciospublicos.files.wordpress.com/2010/04/revis.pdf>
- Lobo, W. (2011). *Comportamiento sismorresistente de muros estructurales. El caso del terremoto de Maule, Chile 27-08-2010*. Caracas.
- Merritt, F. (1982). *Building Design and Construction Handbook* (1990.<sup>a</sup> ed.). Estados Unidos.
- NBE-CT. (1979). *Normativa Básica de la Edificación*. España. Recuperado a partir de <http://www.ehu.es/mmtde/materiala/aislamtoedificios/PDF/Documentos/3CALCULO.pdf>
- NEC-SE-CG. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Cargas no sísmicas.
- NEC-SE-DS. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro sísmico, diseño sismo resistente.
- NEC-SE-MP. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Mampostería estructural.
- Nielson, A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto* (20.<sup>a</sup> ed.).
- NTP, Villanueva, J. L. (1983). *NTP 39: Resistencia ante el fuego de elementos constructivos*. Barcelona, España. Recuperado a partir de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp\\_039.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_039.pdf)
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: John Wiley & Sons.
- Pesántez, T. (2014). *Sistema constructivo con uso de formaletas metálicas para las viviendas solidares «Miraflores» de la ciudad de Cuenca*. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- RAE. (2017, noviembre 6). Industrialización. En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Industrializaci%C3%B3n&oldid=103206373>
- Rivera, M. (2010). *Diseño estructural de una vivienda Social de una planta con Mampostería Confinada*. Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario «Pedro Arauz Palacio».
- Rodríguez, D. (2011). *Diseño de muros estructurales según FONDONORMA 1753:06 y códigos afines*. Caracas.
- Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.
- Silva, O. (2013, octubre 9). Formaletas para la construcción con sistemas industrializados. Recuperado 28 de



noviembre de 2017, a partir de <http://blog.360gradosenconcreto.com/formaletas-para-la-construccion-con-sistemas-industrializados/>  
Suarez, C. (2002). *Costo y tiempo de edificación* (Tercera). México: LIMUSA.  
Trinidad Torres, M. A. (2000). *Vinculación de la programación y presupuestación de las obras de edificación sobre la base de su catálogo de actividades*. Instituto tecnológico de la construcción, México D.F.  
Forsa. (2014). [www.forsa.com](http://www.forsa.com). Recuperado 8 de abril de 2018, a partir de <https://www.forsa.com.co/>  
Zalamea, A. (2015). *Optimización del tiempo de construcción de mampostería mediante el uso de macro-bloques de hormigón celular*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.



## ANEXOS