

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

**ESTUDIO ESTRUCTURAL DE MAMPOSTERÍA CONFINADA EN LADRILLO
PARA VIVIENDAS EMERGENTES EN LA ZONA DE PEDERNALES**

AUTOR:

JAVIER ALEJANDRO MEJÍA VALLADARES

DIRECTOR:

ING. MARCELO GUERRA A.

DEDICATORIA

A Dios y a mi Madre Dolorosa, que siempre han guiado.

A mis padres, por sus consejos y su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Gladys e Ivan, por su apoyo, que ha ayudado a culminar con éxito otra etapa de mi vida.

A mi abuelita por abrirme las puertas de su hogar y brindarme cariño.

A mis tíos por siempre brindarme ayuda.

A mi director de esta disertación, Ing. Marcelo Guerra, por sus consejos, su guía y su ayuda para completar este trabajo satisfactoriamente

Al Ing. Estuardo Páez y al Ing. Juan Carlos Montero, por sus recomendaciones y acotaciones para mejorar esta disertación.

A todos los profesores de la facultad de Ingeniería Civil de la PUCE, por compartir sus conocimientos y su experiencia en las aulas de clase.

A mis amigos y compañeros, por ser parte de recuerdos que harán inolvidable mi etapa universitaria.

Resumen

El trabajo que se presenta a continuación intenta definir el comportamiento que posee una estructura construida con mampostería confinada, partiendo del diseño que se ejecutó en la zona de Pedernales, con el fin de identificar posibles fallas en la concepción y ejecución del diseño, para recomendar cambios en posibles nuevas construcciones.

La aspiración de este estudio no es limitarse únicamente a las edificaciones levantadas en la zona, sino promover la utilización de este tipo de muros. Debido a que los muros mampuestos son una práctica común en el medio y los muros de mampostería confinada poseen un mejor comportamiento ante cargas sísmicas; adicional a esto las estructuras de pórticos resistentes a momento también se pueden emplear muros de mampostería confinada para evitar desprendimiento de las unidades.

Este estudio estructural consta de cinco capítulos, de los cuales en el capítulo I se expone los tipos de mampostería y se explica todos los elementos que conforman un muro de mampostería confinada, así como sus ventajas y desventajas en la utilización de este tipo de elementos.

El capítulo II muestra las especificaciones que debe tener el muro para cumplir con el reglamento colombiano de construcción, reglamento al cual dirige la normativa ecuatoriana para este tipo de estructuras.

En el capítulo III se realiza el diseño de la edificación utilizando un software comercial de análisis estructural, explicando todas las consideraciones que se tomaron en cuenta para realizar la modelación.

En el capítulo IV se analizan los resultados proyectados por el software, comparándolos con la resistencia que poseen los elementos y si son capaces de asumir las solicitaciones a las cuales están sometidos. Además de ello se realiza un modelo de la misma estructura de pórticos, con las mismas condiciones para entender la influencia de la mampostería en la edificación.

En el capítulo V, se encuentran las conclusiones que surgieron del estudio y las recomendaciones para un mejor desempeño de la estructura de análisis y para otras que utilicen en sistema de muros portantes de mampostería confinada.

Contenido

1	Generalidades.....	12
1.1	Introducción.....	12
1.2	Justificación.....	14
1.3	Objetivos.....	15
1.3.1	Objetivo general.....	15
1.3.2	Objetivos específicos.....	15
1.4	Marco teórico.....	15
1.4.1	Historia de la mampostería.....	15
1.4.2	Antecedentes.....	19
1.5	Clasificación Mampostería.....	20
1.5.1	Mampostería simple.....	20
1.5.2	Mampostería confinada.....	20
1.5.3	Mampostería reforzada.....	20
1.6	Componentes de mampostería.....	20
1.6.1	Unidades de mampostería.....	20
1.6.2	Mortero.....	21
1.6.3	Elementos de confinamiento.....	22
1.6.3.1	Columnas.....	22
1.6.3.2	Vigas.....	22
1.6.3.3	Bandas sísmicas.....	23
1.6.3.4	Cimentación.....	23
1.6.3.5	Refuerzos adicionales.....	24
1.6.4	Refuerzo de acero.....	24
1.7	Desventajas del uso de mampostería simple.....	24
1.8	Ventajas del uso de mampostería confinada.....	25
1.9	Desventajas del uso de mampostería confinada.....	25
2	Aspectos metodológicos.....	26
2.1	Especificaciones del muro de mampostería.....	26
2.1.1	Espesor del muro.....	27
2.1.2	Elementos confinantes.....	28

2.1.3	Resistencia a compresión.....	29
2.1.4	Espaciamiento máximo entre los elementos de confinamiento.	29
2.1.5	Limitaciones para su uso.....	29
2.2	Redundancia estructural.....	30
2.3	Comportamiento de la mampostería confinada.....	30
2.3.1	Falla del muro.	32
2.4	Resistencia del diseño a compresión	33
2.4.1	Resistencia a compresión de las unidades de mampostería.	34
2.4.2	Resistencia a compresión del mortero.	35
2.4.3	Factor de corrección por absorción de la unidad.	35
2.4.4	Resistencia de la mampostería confinada a compresión.....	36
2.5	Ventaja del uso de hormigón armado en la mampostería.	37
2.6	Sistema de mampostería construida actualmente.....	38
2.6.1	Elementos confinantes.....	40
2.6.1.1	Distancia entre elementos.	40
2.6.1.2	Acero de refuerzo.	40
2.6.1.2.1	Estribos.	41
2.6.1.2.2	Refuerzo longitudinal.....	41
2.6.2	Hormigón	43
2.6.3	Unidades de mampostería.....	44
2.6.4	Muro.....	45
2.6.5	Cimentación empleada.	46
2.7	Sísmica de la zona	48
3	Diseño estructural.....	50
3.1	Análisis de carga.....	50
3.2	Combinaciones de Carga.....	50
3.3	Tipos de cargas.....	51
3.3.1	Cargas Permanentes	51
3.3.2	Cargas horizontales.....	52
3.3.2.1	Espectro elástico de diseño	54
3.4	Corte Basal	56

3.5	Período de vibración.....	57
3.6	Coficiente R para disminución de resistencia ante sismos.....	58
3.7	Módulo de elasticidad del muro.....	59
3.8	Filosofía de diseño.....	60
3.9	Modelación de la estructura.....	61
4	Resultados y comparaciones.....	64
4.1	Resistencia a compresión axial.....	66
4.1.1	Elementos confinantes verticales.....	66
4.1.2	Mampostería.....	67
4.2	Resistencia a flexo-compresión.....	68
4.2.1	Paralela al eje del muro.....	69
4.2.1.1	Sin mampostería.....	69
4.2.1.1.1	Diagrama de interacción de columna.....	71
4.2.1.2	Con mampostería.....	73
4.2.1.2.1	Diagrama de interacción del muro.....	73
4.2.2	Perpendicular al eje del muro.....	76
4.3	Diseño de Cimentación.....	80
4.4	Resistencia a corte.....	86
4.4.1	Paralelas al eje del muro.....	87
4.4.2	Perpendicular al eje del muro.....	88
4.5	Deriva máxima.....	89
4.6	Edificación de pórticos.....	91
5	Conclusiones y Recomendaciones.....	96
5.1	Conclusiones.....	96
5.2	Recomendaciones.....	97
	Bibliografía.....	98
6	Anexos.....	99
6.1	Anexo 1.....	99
6.2	Anexo 2.....	100
6.3	Anexo 3.....	100

Índice de tablas.

Tabla 1: Resistencia a compresión mínima unidades de mampostería.	21
Tabla 2: Resistencia a compresión del mortero.	22
Tabla 3: Espesores de muros (mm).	27
Tabla 4: Medidas unidades de mampostería.	34
Tabla 5: Resistencia de las unidades a compresión.	34
Tabla 6: Resistencia mortero 1:4 a compresión.	35
Tabla 7: Factor de corrección.	35
Tabla 8: Factores por zonas sísmicas Ecuador.	49
Tabla 9: Cargas Permanentes.	52
Tabla 10: Reducción de resistencia.	65
Tabla 11: Valores columna B-1.	80
Tabla 12: Deriva máxima.	89

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1: Unidad de mampostería	16
Ilustración 2: Muralla China.	18
Ilustración 3: Mezquita de Estambul.....	18
Ilustración 4: Histéresis mampuestos.....	32
Ilustración 5: Falla del muro.	33
Ilustración 6: Diagrama de esfuerzo y deformación de la mampostería simple.	37
Ilustración 7: Diagrama de esfuerzo y deformación de la mampostería confinada.	38
Ilustración 8: Vista en perspectiva de la vivienda con mampostería.	39
Ilustración 9: Vista en planta de la vivienda.	39
Ilustración 10: Conexión Tipo "T"	42
Ilustración 11: Conexión tipo "L"	43
Ilustración 12: Juntas entre unidades.	45
Ilustración 13: Dentado de muro.....	46
Ilustración 14: Cimentación.	47
Ilustración 15: Mapa para diseño sísmico.	48
Ilustración 16: Espectro de respuesta.	53
Ilustración 17: Espectro elástico de diseño.	54
Ilustración 18: Espectro de respuesta Pedernales.....	56
Ilustración 19: Espectro de Diseño Inelástico.	59
Ilustración 20: Condición de apoyos.....	61
Ilustración 21: Propiedades del hormigón.....	62
Ilustración 22: Propiedades mampostería.	62
Ilustración 23: Datos de las planchas de fibrocemento.....	63
Ilustración 24: Columna de análisis compresión.	66
Ilustración 25: Fuerza axial en muro.....	68
Ilustración 26: Columna en análisis a flexión.	70
Ilustración 27: Diagrama de Interacción.	71
Ilustración 28: Diagrama de Interacción de columna analizada.	72
Ilustración 29: Muro análisis.....	74
Ilustración 30: Diagrama de interacción del muro.	75
Ilustración 31: Momento aplicado al muro.	76
Ilustración 32: Acero columna.	78
Ilustración 33: Acero viga.....	79
Ilustración 34: Acero en muro.....	80
Ilustración 35: Análisis Unidireccional.....	82
Ilustración 36: Esfuerzos en corte Unidireccional.	83
Ilustración 37: Corte Bidireccional.	84
Ilustración 38: Esfuerzos en corte bidireccional.	85
Ilustración 39: Corte paralelo al eje del muro.....	88

Ilustración 40: Corte perpendicular al eje del muro.....	89
Ilustración 41: Deriva.....	90
Ilustración 42: Desplazamiento máximo mampostería.....	91
Ilustración 43: Vista en perspectiva de vivienda con pórticos.....	92
Ilustración 44: Desplazamiento pórtico.....	93
Ilustración 45: Desplazamientos máximos de pórtico.....	94
Ilustración 46: Comparación desplazamientos.....	95

1 Generalidades.

1.1 Introducción.

La República del Ecuador está ubicada en una posición geográfica propensa a movimientos sísmicos; por lo que, al estar conscientes de que estos eventos naturales continuarán produciéndose a lo largo del tiempo, de la falta de recursos y la poca cultura de contratar profesionales calificados en construcción; surge la necesidad de edificar estructuras que sean capaces de resistir a dichas catástrofes, con el fin de salvaguardar vidas.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, surge inevitablemente una interrogante sobre la solución para reducir ese riesgo en las estructuras. Se puede concluir fácilmente que contratar profesionales para diseñar y construir estructuras con un comportamiento adecuado durante un sismo; pero esto no resulta tan sencillo para personas de escasos recursos, que a la final son los más afectadas por estos fenómenos naturales; generando así un ciclo interminable de pobreza y construcción deficiente motivada por la necesidad de contar con una vivienda.

El método más comúnmente utilizado para construcción de viviendas en nuestro medio es el de pórticos flexibles, método que termina siendo eficiente en caso de ser bien diseñado y empleado; condición que no es necesariamente cumplida en todos los casos, ya que se recurren a obreros que poseen un conocimiento empírico para levantar edificaciones.

El pórtico flexible de hormigón armado es un método de construcción en el cual se deben emplear altos niveles de conocimiento, y su control durante la ejecución de la obra debe ser minucioso. Sin embargo, las personas recurren a personal no calificado cuyos conceptos sobre el verdadero comportamiento de las estructuras con pórticos son errados, subestimando la verdadera flexibilidad de los mismos frente a episodios sísmicos.

La costumbre popular es realizar edificaciones utilizando pórticos de hormigón armado y rellenar los vanos con mampostería; de esto se puede sacar provecho para lograr la aceptación de otros sistemas constructivos que sean más factibles de realizar correctamente, sin la necesidad de involucrar directamente a técnicos. Esto debido a que la calidad de los muros de mampostería confinada depende principalmente de la calidad de los materiales que los conforman y la mano de obra que los realiza.

El factor humano podría incidir en la calidad del muro; pero al ser la mampostería muy requerida en casi todas las estructuras, los obreros poseen mucha pericia para realizarla. Por ello la construcción de muros de mampostería confinada y reforzada, no necesitaría la constante supervisión de la obra.

El presente estudio se realizará alrededor de las construcciones hechas mediante el método de mampostería de ladrillo confinada, realizando el diseño estructural de una vivienda emergente de un piso tomando en cuenta todas las normativas vigentes en el país para conseguir un adecuado comportamiento de la estructura en mención, para luego comparar estos resultados con las edificaciones que ya están siendo usadas en la zona, e identificar si su procedimiento, técnica y conceptos son correctos.

1.2 Justificación.

El 16 de abril del 2016, ocurrió un sismo de 7,8 grados en la escala de magnitud de momento, con epicentro ubicado entre Cojimíes y Pedernales, en el cual se vieron afectadas la gran mayoría de estructuras; con esto se evidenció la falta de control por parte de las autoridades pertinentes y la ausencia de la utilización de un modelo de construcción capaz de resistir tales movimientos telúricos.

Debido a que el sector se encuentra en una zona sísmica “VI” (según norma NEC_SE_DS 2014) es necesario promover y difundir nuevos sistemas de construcción; a pesar de que la mampostería confinada no es una forma innovadora de construcción es una práctica poco común en el país.

La mampostería confinada ha sido utilizada y probada en varios lugares de la región como México, Colombia, Chile y Nicaragua, países en los cuales las estructuras se encuentran bajo la amenaza constante de sismos y en donde los resultados han sido muy satisfactorios.

La mampostería confinada proporciona mucha mayor rigidez a la estructura y al estar confinada por un pórtico de hormigón armado, el muro no presentará desprendimientos de sus unidades mampuestas que terminarían afectando a sus habitantes.

El presente trabajo pretende determinar si la mampostería confinada, que ya es empleada en la zona, tendrá un comportamiento aceptable para precautelar la vida útil de la estructura y la seguridad de quienes la habitan.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Realizar el estudio estructural del comportamiento de viviendas emergentes en la zona de Pedernales, construidas con mampostería confinada de ladrillo, fabricados en lugares cercanos a la zona, para determinar la aplicabilidad y la reducción de la vulnerabilidad de las estructuras ante eventos sísmicos.

1.3.2 Objetivos específicos.

Determinar si el comportamiento del muro de mampostería confinada es beneficioso respecto al desempeño de la estructura.

Realizar el diseño de la armadura de acero necesaria para el adecuado comportamiento de la estructura con el fin de brindar funcionalidad a la construcción.

Identificar si los diseños ya empleados en la zona son aceptables de acuerdo con la investigación.

1.4 Marco teórico.

1.4.1 Historia de la mampostería.

Hace aproximadamente 15000 años, algunos estudios de antropología señalan que individuos nómadas fueron los primeros, en colocar piedras una sobre otra con la intención de crear refugios.

Con la aparición de los primeros asentamientos permanentes, las personas necesitaban contar con muros mucho más estables; y es hace 10000 años que se comenzó a usar barro como mortero para unir las piezas de mampostería natural. Este avance les permitía apilar piezas irregulares con facilidad y construir muros más altos. Posterior a esto se comenzaron a realizar unidades de mampostería de barro secadas al sol de forma artesanal.



Ilustración 1: Unidad de mampostería

Fuente: Tomado de http://www.handmadebrick.com/blog_direct_link.cfm/blog_id/62158

En excavaciones arqueológicas en la antigua Sumeria, en el año 4000 a.C, se encontraron moldes de madera en donde se hacían piezas de adobe; esto significó un gran avance al no depender de las canteras. En el año 3000 a.C, esta misma civilización llevaba las piezas de adobe a hornos; para juntar estas piezas utilizaban una mezcla de alquitrán con arena.

El continente americano no se queda atrás en tecnología de construcción, los Mayas en el año 300 a.C construyeron templos muy grandes, no contaban con canteras próximas a sus asentamientos, para lo cual utilizaban arcilla cocida; por lo que se cree que agotaron sus recursos madereros, y como consecuencia el abandono de esas ciudades. Como mortero de junta empleaban una mezcla de cal y arcilla.

El imperio romano poseía una vasta extensión territorial. Contaba con toda clase de materia prima para la construcción de sus proyectos, uno de los más importantes fue los acueductos; de aquí nace la necesidad de un mortero de mejor calidad. Estos morteros constaban de ceniza volcánica y cal, mezcla que es muy semejante en sus características físicas al mortero usado actualmente.

A partir de los romanos no surgen aportes significativos en el tema de estructuras de mampostería, siendo desplazado un segundo plano dando prioridad a estructuras de madera. En 1966 en Londres se produce un incendio de extensión considerable que provocó la destrucción de gran parte de la ciudad, tras esta fecha el gobierno británico impuso normativas para emplear piedra o ladrillo en las construcciones y poco a poco el resto de los países fue observando sus beneficios y adoptándolas.

Entre las estructuras más famosas utilizando mampostería se puede encontrar: muralla china, mezquitas, minaretes e iglesias; estas edificaciones no se hubiera podido ejecutar en las dimensiones y cantidades de las cuales las conforma de no haberse utilizado mampostería con mortero.



Ilustración 2: Muralla China.

Fuente: Tomado de <http://blogs.elpais.com/ayuda-al-estudiante/2013/09/la-muralla-china-del-estudiante-1.html>



Ilustración 3: Mezquita de Estambul.

Fuente: Tomado de <http://canalviajes.com/la-mezquita-azul-de-estambul/>.

1.4.2 Antecedentes.

Uno de los primeros sistemas constructivos de muros utilizados por la humanidad es la mampostería, debido a la fácil obtención de los materiales naturales y artificiales tales como son la piedra y adobe. Los cuales son fácilmente colocados a mano, de allí su nombre de mampuesto. Con el inicio del uso de materiales cementantes se obtuvo la posibilidad de construir muros de mampostería más esbeltos y más livianos.

Los muros de mampostería son relativamente sencillos de conseguir, muchas culturas a lo largo de la historia lo han empleado; es por ello que se ha logrado obtener mucho conocimiento acerca de este tema. Gracias a esto se van generando nuevas normativas para lograr estructuras convenientes con las necesidades actuales y así mejorar el sistema.

El Ecuador se encuentra en una región con alta amenaza sísmica, sin embargo, debido a la idiosincrasia de la población, se prefiere la utilización de mampostería simple en sus viviendas. Los muros de mampostería son elementos muy rígidos en la estructura, que combinados con pórticos flexibles son propensos a fallar con los movimientos a los que se verán sometidos durante el episodio telúrico, es por ello que se confina al muro posteriormente a su culminación con columnas y vigas para tratar de conseguir que el elemento trabaje monolíticamente y obtener un mejor desempeño.

1.5 Clasificación Mampostería

1.5.1 Mampostería simple.

La mampostería es un muro que se lo construye manualmente, colocando materiales artificiales, como pueden ser: ladrillo, bloque de cemento, piedras, etc., y pegados entre sí por un mortero. Utilizándolos principalmente para la división de ambientes y protección del clima externo.

1.5.2 Mampostería confinada.

Mampostería confinada se refiere a un muro de unidades mampuestas, unidas por un mortero, rodeado de elementos de hormigón armado fundidos posteriormente a la finalización del muro; consiguiendo así su condición de confinamiento.

1.5.3 Mampostería reforzada.

Mampostería reforzada se define a un muro de unidades mampuestas perforadas perpendicularmente a su plano, unidas por un mortero, reforzada mediante acero corrugado y hormigón colocado en las perforaciones de las unidades.

1.6 Componentes de mampostería.

1.6.1 Unidades de mampostería.

Las unidades de mampostería son elementos de origen natural o artificial. En caso de ser artificiales pueden ser hechas a partir de hormigón simple, arcilla cocida o silicio – calcáreas; las unidades pueden ser: macizas, perforadas en sentido horizontal o vertical. Cualquiera que sea su material o geometría deberá cumplir con las especificaciones de resistencia que consten en la normativa.

Tabla 1: Resistencia a compresión mínima unidades de mampostería.

Tipo de unidad	f'cu (MPa)	f'cu (kg/cm²)
Bloque macizo de arcilla	15	152.96
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3	30.59
Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla	5	50.99

Fuente: Tomada de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR

Título D, 2010, p 54

En la zona de estudio solo se puede encontrar unidades de mampostería hechas de arcilla cocida, que es adquirida desde otros lugares del país; en donde se encuentra la materia prima para su posterior distribución en la ciudad.

1.6.2 Mortero.

Las unidades de mamposterías que conforman el muro son unidas de manera escalonada mediante mortero (cemento con agregado fino y agua potable y limpia) con propiedades plásticas. El mortero debe cumplir con valores mínimos de resistencia de compresión.

Tabla 2: Resistencia a compresión del mortero.

TIPO DE MORTERO	RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESION A 28 DIAS (MPa)	RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESION A 28 DIAS (kg/cm ²)	COMPOSICION EN PARTES POR VOLUMEN		
			Cemento	Cal	Arena
M20	20	203.8	1	-	2.5
M15	15	152.85	1	-	3
M10	10	101.9	1	0.5	4
			1	-	4
M5	5	50.95	1	0.5	5
			1	-	6
M2.5	2.5	25.475	1	1	7
			1	-	7
			1	2	9

Nota: Tomado de Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE MP), 2015, p 21

1.6.3 Elementos de confinamiento.

1.6.3.1 Columnas.

Estos elementos, de hormigón armado, se colocan de manera vertical y continua en los extremos de los muros e intersecciones, estos deben ser colados una vez completado el muro para proporcionar así la condición de mampostería confinada.

1.6.3.2 Vigas.

Son elementos de hormigón armado, se colocan de manera horizontal en todos los lugares en donde se vaya a colocar un muro (viga de cimentación); una vez terminado el muro se coloca otra viga sobre este directamente.

Si se observa a todo el muro en elevación, se podrá ver la mampostería con vigas y columnas que lo confinan de manera similar a un marco.

1.6.3.3 Bandas sísmicas.

Son elementos que se colocan de manera horizontal, complementando a las vigas y que trabajan para proporcionar un mejor comportamiento del muro, aumentando su confinamiento y logrando así que todo trabaje de forma monolítica. Adicionalmente pueden proporcionar algo más de ductilidad y permite que el muro soporte mejores esfuerzos de corte. Se puede colocar una banda sísmica a la mitad de la altura libre del muro, o dos; colocando la segunda sobre las aberturas que presente el muro (ventadas y puertas).

1.6.3.4 Cimentación.

Las cargas de las losas son asumidas por las vigas, que a su vez la transmiten a las columnas para al final llegar al suelo. El suelo posee una menor resistencia (a no ser el caso de roca dura) que los elementos estructurales, esta fuerza debe ser distribuida de una mejor manera, hasta que la carga sea menor o igual a la carga admisible del suelo.

Para lograrlo se amplía la zona de contacto con el suelo con un elemento de hormigón armado llamado cimienta, que a su vez puede ser una zapata aislada, viga continua o losa de cimentación; para decidirse por una de estas opciones se debe realizar un estudio minucioso del terreno con personal calificado.

Las cimentaciones se pueden clasificar en: superficiales y profundas; esto se determina a través de la relación entre profundidad de excavación y el ancho del cimienta. Si el producto de esta operación resulta menor o igual a 4 se considerará una cimentación superficial; mientras que con un valor mayor a 4 se considera profunda.

1.6.3.5 Refuerzos adicionales.

Las viviendas necesitan de ventilación y accesos para que los usuarios puedan ingresar en ella y sientan confort al utilizarlos. Estas aberturas (ventanas y puertas) perjudican a la condición de confinamiento del muro, por ello se deben colocar alrededor de estas aberturas refuerzos adicionales que las terminen enmarcando.

1.6.4 Refuerzo de acero.

El acero de refuerzo deberá hacerse a partir de varillas de acero corrugadas en perfecto estado. El número de varillas no puede ser menor a 3 y sus diámetros para el refuerzo longitudinal serán de 10 mm como mínimo. A su vez, para el refuerzo transversal (estribos), su diámetro mínimo es de 6 mm.

Adicional a esto, los elementos de hormigón deben ser construidos bajo las premisas de cualquier otro elemento del mismo tipo: recubrimiento, longitud de desarrollo, dobleces y colado del hormigón establecidos en la normativa correspondiente.

1.7 Desventajas del uso de mampostería simple.

El muro de mampostería en sí, es un elemento muy frágil y al experimentar deformaciones pequeñas provocará la aparición de grietas y por consiguiente posibles desprendimientos de las unidades de mampostería.

Pese a tener dentado adecuado para unir el muro con las columnas de la estructura, al enfrentarse a fuerzas perpendiculares surgen esfuerzos de tracción y corte, que al no poder ser trasladados a otro elemento que pueda solventar tales sollicitaciones, puede experimentar agrietamiento y el colapso del muro.

La colocación arbitraria de este tipo de elementos incrementa los efectos de torsión en la estructura.

1.8 Ventajas del uso de mampostería confinada.

La mampostería simple es ampliamente utilizada en el medio; por tanto, la mampostería confinada puede ser fácilmente aceptada por las personas debido a su similitud con el método de construir habitual.

La disponibilidad de los materiales que constituyen el muro son de fácil obtención en cualquier sector del país; y además son menos costosos en comparación a otros materiales más dúctiles.

Los muros de mampostería tienen buen comportamiento al momento de resistir cargas axiales.

1.9 Desventajas del uso de mampostería confinada.

La calidad del muro de mampostería depende directamente de la calidad de los materiales que lo conforman y la mano de obra. Por ello, lo óptimo sería tener control permanente durante la adquisición de las unidades de mampostería, elaboración de hormigón y morteros, colocación de encofrados para los elementos confinantes y la construcción en sí del muro.

La gran influencia de la mano de obra en la calidad del muro obliga a dar una capacitación previa a los obreros, lo que se traduce en mayores costos.

Las edificaciones que utilicen cualquier tipo de mampostería se ven limitadas a no ser estructuras con mucha altura.

Este tipo de edificaciones requiere que la estructura posea una alta cantidad de muros confinados en sus ejes ortogonales, provocando limitaciones en su espacio útil, generando inconvenientes desde el punto de vista arquitectónico.

No se podrá ejecutar modificaciones en los elementos sin la previa aprobación de un ingeniero estructural.

2 Aspectos metodológicos.

2.1 Especificaciones del muro de mampostería.

El muro de mampostería solo se puede hacer bajo ciertos criterios (altura, espesor, resistencia), para garantizar un comportamiento predecible y satisfactorio. Además la utilización se encuentra limitada a cierto tipo de construcciones.

2.1.1 Espesor del muro.

La relación entre la altura del muro frente a su espesor no puede ser mayor a 25. Así mismo los muros tienen un espesor mínimo a cumplir.

Tabla 3: *Espesores de muros (mm).*

ZONA DE AMENAZA SÍSMICA	NÚMERO DE NIVELES DE CONSTRUCCIÓN		
	Un piso	Dos pisos	
		1º nivel	2º nivel
Alta	110	110	100
Intermedia	100	110	95
Baja	95	110	95

Fuente: Tomada de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR

Título E, 2010, p 12

Teniendo presente que los valores aquí expuestos no toman en cuenta los acabados del muro.

2.1.2 Elementos confinantes.

Todos estos elementos de hormigón armado, al interactuar con la mampostería proporcionará: ductilidad, mayor estabilidad frente a cargas gravitacionales, adicional entre los materiales surge una interacción limitando las deformaciones entre ellos, pero posterior a la falla de la mampostería, estos serían los que evitarían el colapso de toda la estructura, por ello es necesario dotar de la resistencia necesaria para disipar la fuerza de los sismos.

Los elementos confinantes tanto verticales como horizontales tendrán un grosor mínimo al igual que el espesor del muro, y para el caso analizando, viviendas de solo una planta, el área mínima transversal de los elementos de hormigón armado será 200 cm^2 en elementos verticales y horizontales.

Como se puede observar en la tabla 3 la edificación puede ser tanto de una como de dos plantas, de darse el segundo caso, se necesitará una losa, de ser esta maciza de hormigón armado y de un grosor de 10 cm o mayor podría omitirse la construcción de los elementos confinantes horizontales superiores del muro, y colocando el refuerzo de acero necesario en el elemento confinante dentro de la losa.

2.1.3 Resistencia a compresión.

Es la resistencia que posee el elemento al ser sometido a cargas externas. Por lo general este valor se lo obtiene mediante el ensayo de muretes en un laboratorio, pero la normativa también establece que se puede obtener este valor mediante una ecuación que utiliza los datos de la calidad de los materiales que la componen.

2.1.4 Espaciamiento máximo entre los elementos de confinamiento.

En la normativa actual los elementos de confinamiento vertical no pueden sobrepasar los 4 metros sin que se coloque otro. En altura, los muros no podrán estar sin elementos confinantes horizontales a más de 3.2 m. Los otros elementos (bandas sísmicas, refuerzos en aberturas) no precisan una distancia máxima entre ellos, ya que sólo necesitan colocarse en los lugares en los que sean necesarios.

2.1.5 Limitaciones para su uso.

Debido a que la calidad de los muros depende de muchos factores, la utilización de estos elementos se limita a estructuras que consten de menos de 3000 metros cuadrados de construcción; además las estructuras se ven limitadas en altura, ya que no pueden sobrepasar los dos pisos.

La limitación de altura se debe a que la estructura es pesada; además los elementos confinantes están diseñados principalmente para soportar fuerzas laterales. Si se busca aumentar la altura, los muros deberán ser más anchos que implicaría en mayor rigidez, produciendo estructuras más rígidas que terminarían por ser perjudiciales para la edificación; para ello sería conveniente diseñar la estructura con pórticos resistentes.

2.2 Redundancia estructural.

Es la concentración alta en un mismo sentido de elementos estructurales que colaboran absorbiendo energía y disipándola, por ello, proveen una mayor seguridad en caso de presentarse la falla en algún elemento y así reducir el desplazamiento de toda la estructura; lo que termina siendo beneficioso para elementos que no poseen mucha ductilidad.

2.3 Comportamiento de la mampostería confinada

Ningún tipo de edificación debería presentar daños estructurales cuando se vean enfrentadas a las máximas cargas para las cuales se las diseñaron. La edificación se asumirá que tiene un comportamiento satisfactorio cuando sus valores reales de resistencia sean mayores que los factores de: compresión, tracción, cortante, torsión y flexión.

Estas condiciones también se aplican en construcciones que emplean mampostería confinada, pero los distintos requerimientos son asumidos por distintos elementos que conforman el muro.

Las edificaciones presentan un momento crítico cuando ocurren movimientos telúricos. En el caso de que el movimiento telúrico presente cargas perpendiculares al plano del muro se procede a analizar únicamente al pórtico de hormigón armado, por otro lado, si las cargas telúricas se presentan en sentido paralelo se analiza la mampostería.

En el caso de estar perpendiculares al elemento se debe prestar especial atención al rendimiento de los elementos de hormigón armado, ya que de ellos dependerá la integridad del muro, lo cual es una de las premisas principales para el empleo de este modelo constructivo.

Por esta razón, la vivienda debe poseer muros en sus dos direcciones principales, para así poder dotarla de la rigidez apropiada en los dos sentidos. Toda la edificación debe poseer una mínima cantidad de muros en sus direcciones principales con el fin de lograr la redundancia que necesita la vivienda, para que su comportamiento durante esos momentos sea el esperado.

La utilización de muros de mampostería confinada en lugar de la simple se justifica debido a que tendrán un mejor comportamiento ante los sismos, como lo demuestra los diagramas de histéresis (ilustración 4), en donde se aprecia que el muro de mampostería confinada es capaz de experimentar una mayor deformación.

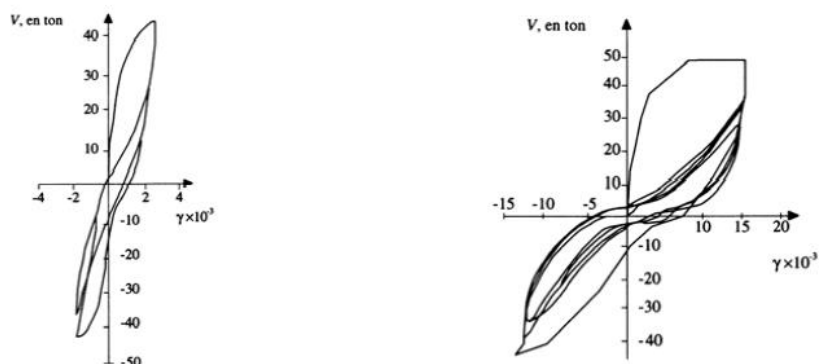


Ilustración 4: Histéresis mampuestos.

Fuente: Tomado de Variables que intervienen en los sistemas de mampostería y su aplicación en la construcción, p 3.

Nota: El diagrama de la izquierda corresponde a mampostería simple y el de la derecha confinada.

2.3.1 Falla del muro.

El muro por sus propiedades mecánicas, no presentará indicios antes de experimentar una falla; el muro presentará un agrietamiento diagonal típico (Ilustración 5), en el momento en que la fuerza externa proveniente del sismo sobrepasan a la resistencia que puede ofrecer el muro al corte.

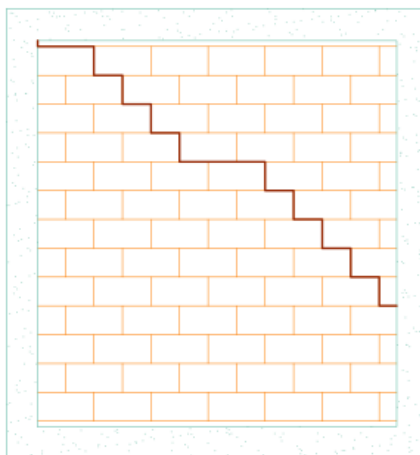


Ilustración 5: Falla del muro.

Los elementos confinantes controlan que las grietas no incrementen su tamaño, y para evitar la aparición de ellas se debe dotar de la resistencia necesaria y a la estructura de la cantidad necesaria de muros.

Basado en investigaciones las edificaciones deben tener un 3,5 % de muros para una mejor distribución de las fuerzas de corte, teniendo en cuenta que se los debe colocar simétricamente para evitar torsión en la estructura.

2.4 Resistencia del diseño a compresión

Como se señaló antes, la resistencia del muro de mampostería se puede obtener de una fórmula, partiendo de la resistencia de los materiales que lo componen. Los valores que se emplearán en este estudio se obtuvieron de ensayos de materiales de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Civil de la Universidad Católica del Ecuador; esto

debido a que los materiales empleados en la zona no eran de un solo lugar, y cuya calidad solamente era determinada por los residentes de obra.

2.4.1 Resistencia a compresión de las unidades de mampostería.

Las unidades de mampostería analizadas a continuación son de arcilla cocida maciza.

Tabla 4: *Medidas unidades de mampostería.*

	1	2	3	4	5
Peso (kg)	3,98	4,42	4,65	3,92	4,13
Largo (cm)	25,92	26,27	25,69	26,73	26,27
Ancho (cm)	13,44	13,63	13,62	13,43	13,44
Espesor (cm)	7,19	7,1	7,02	7,42	7,24

Fuente: Ensayo de laboratorio PUCE 2017

Valor promedio de la altura de las unidades de mampostería (h) 7.19 cm.

Tabla 5: *Resistencia de las unidades a compresión.*

	1	2	3	4	5
P (kg)	15846,39	14367,8	13103,35	15000,03	17569,71
A (cm ²)	174,68	180,45	172,16	173,16	174,54
C (Kg/cm ²)	90,72	79,62	76,01	86,63	100,66

Fuente: Ensayo de laboratorio PUCE 2017

Valor promedio de resistencia de las unidades a compresión (f'_{cu}) 86.73 kg/cm², dato que no cumple con el mínimo especificado en la normativa.

2.4.2 Resistencia a compresión del mortero.

El mortero utilizado en los ensayos tiene una dosificación 1:4 ensayada 28 días posteriores a su mezcla, con resistencia aproximada de:

Tabla 6: Resistencia mortero 1:4 a compresión.

	1	2	3
Área (cm ²)	25.23	24.73	25.43
Resistencia(Kg/cm ²)	139.07	147.71	164.84

Fuente: Ensayos de laboratorio PUCE 2017

Valor promedio de resistencia del mortero a compresión (f'_{cp}) 150.54 kg/cm².

Muestra que si cumple con la resistencia mínima requerida.

2.4.3 Factor de corrección por absorción de la unidad.

Tabla 7: Factor de corrección.

	k_p
Unidad de concreto	1.4
Unidad de arcilla	0.8

Fuente: Tomado de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR

Titulo D, 2010, p 9.

El tipo de unidades utilizadas en las edificaciones son de arcilla cocida. Por tanto, se tomará el valor de factor de corrección (k_p) de 0.8.

2.4.4 Resistencia de la mampostería confinada a compresión.

$$R_m = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50 K_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cu}$$

$$f'_m = 0.75 R_m$$

Donde:

h: Altura de la unidad de mampostería (cm).

f'_{cu} : Resistencia de la unidad de mampostería a compresión (kg/cm^2).

K_p : Factor de corrección por absorción de la unidad.

f'_{cp} : Resistencia del mortero a compresión (kg/cm^2).

$$R_m = \left(\frac{2 \times 7.19 \text{ cm}}{75 + 3 \times 7.19 \text{ cm}} \right) 86.73 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + \left(\frac{50 \times 0.8}{75 + 3 \times 7.19 \text{ cm}} \right) 150.54 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 81.09$$

$$0.8 \times 86.73 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 69.38$$

$$81.09 > 69.38$$

$$\therefore R_m = 69.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_m = 0.75 \times 69.38 = 52.04 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

2.5 Ventaja del uso de hormigón armado en la mampostería.

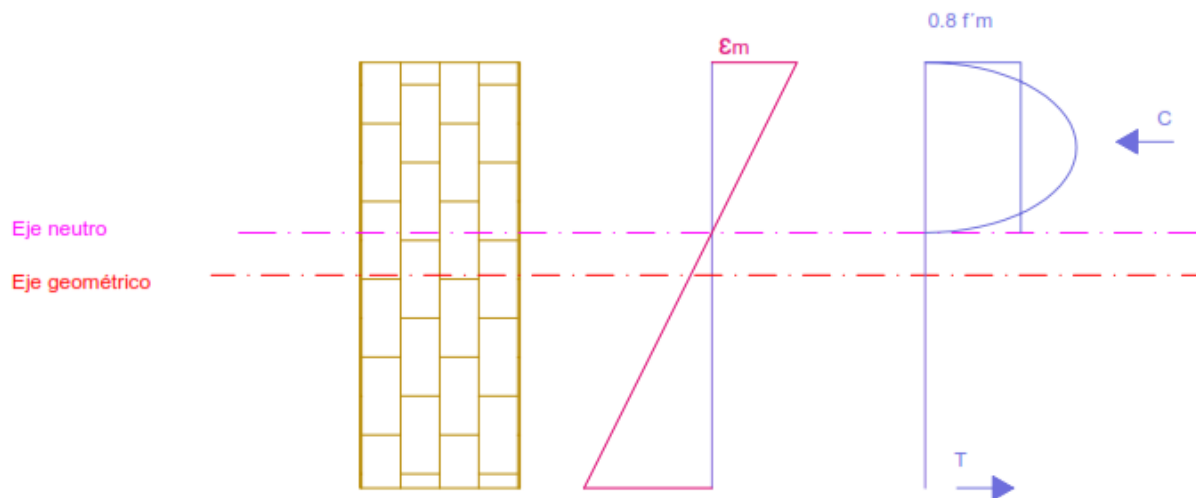


Ilustración 6: Diagrama de esfuerzo y deformación de la mampostería simple.

Los muros de mampostería se encuentran sometidos a fuerzas de compresión y tracción a lo largo de toda su vida útil. Por las capacidades intrínsecas del muro, este no puede soportar fuerzas de tracción, razón por la cual, se debe colocar algún elemento o material que pueda asumir esas fuerzas.

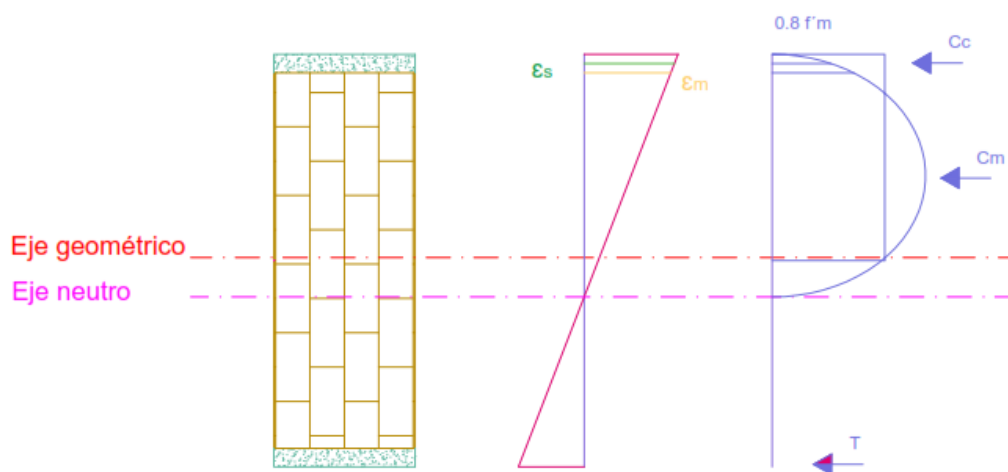


Ilustración 7: Diagrama de esfuerzo y deformación de la mampostería confinada.

El hormigón armado se hará cargo de la fuerza de tracción que el muro de mampostería es incapaz de resistir, además, proveerá de una mayor capacidad para resistir fuerzas de compresión.

2.6 Sistema de mampostería construida actualmente.

COSUDE¹, a través de su filial en Ecuador, ha construido viviendas de mampostería confinada partiendo de su amplia experiencia internacional. Este conocimiento es transmitido al personal técnico que realiza las edificaciones y a los beneficiarios del proyecto mediante su “Guía para la construcción de viviendas sismo - resistentes en mampostería confinada”, en donde especifica la técnica que emplean para la ejecución de este tipo de viviendas utilizando dicho modelo constructivo, datos que fueron confirmados en las visitas realizadas durante la ejecución del proyecto.

¹ COSUDE: Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo.

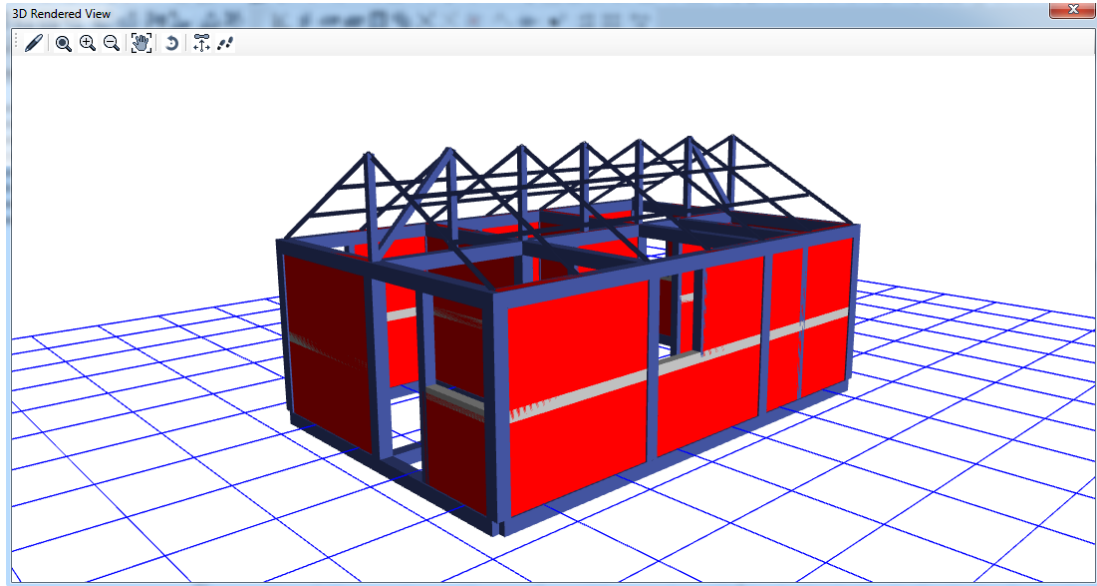


Ilustración 8: Vista en perspectiva de la vivienda con mampostería.

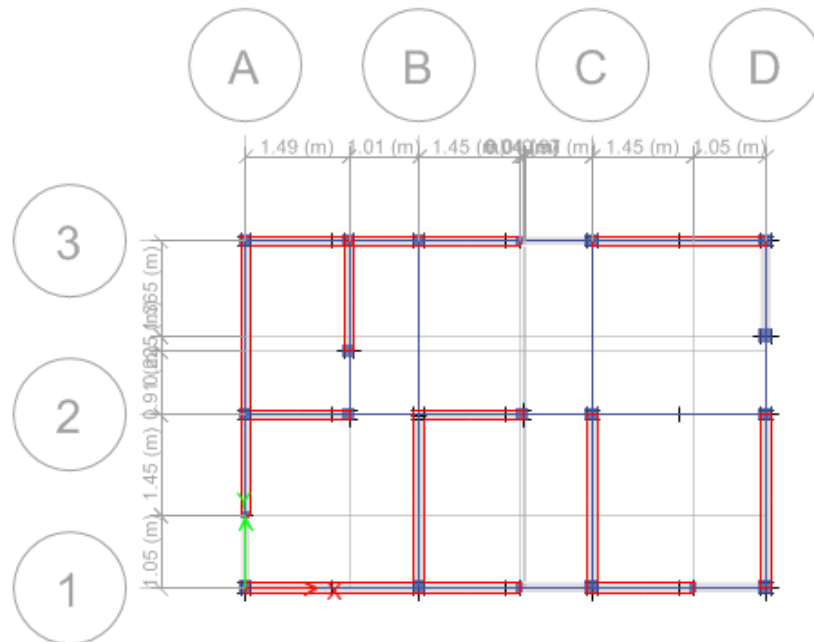


Ilustración 9: Vista en planta de la vivienda.

2.6.1 Elementos confinantes.

2.6.1.1 Distancia entre elementos.

En la guía se señala que la distancia máxima entre estos no debe exceder los 4 m, medidos horizontalmente, valor que coincide con lo especificado en las normativas. En la práctica los muros tienen espacio entre sus elementos confinantes de máximo 2.5 m. Medidos verticalmente se da un valor máximo de 3 m dato que es inferior al de la normativa por 20 cm; e igualmente la altura de los muros de la edificación es menor ya que poseen 2.65 m.

2.6.1.2 Acero de refuerzo.

El acero que se usa en la construcción son varillas corrugadas de 10 y 8 milímetros, 10 milímetros para el refuerzo longitudinal y 8 milímetros para los estribos. Las columnas y las vigas para las viviendas fueron hechas con anterioridad y almacenadas hasta que se requiera su utilización.

Tanto las vigas como las columnas poseen una misma geometría, y poseen la misma cantidad de refuerzo longitudinal, 4 varillas corrugadas de 10 mm, obteniendo una cuantía de refuerzo de 0.78 %. Además, las bandas sísmicas y refuerzos en las diferentes aberturas en el muro requieren de un acero de refuerzo que constará de dos varillas longitudinales.

2.6.1.2.1 Estribos.

Los estribos son doblados en sus extremos con un ángulo de 135 grados. Estos extremos se colocan alternadamente, reforzando a las varillas longitudinales para que el elemento no tenga una zona con falla potencial en el confinamiento del núcleo de hormigón.

Se coloca, el primero a 5 cm medido desde la cara exterior del nudo y desde allí se los dispone cada 10 cm hasta completar un sexto de la longitud total del elemento; todo esto se llevará a cabo en cada extremo y en el espacio que queda en el medio del elemento se coloca estribos cada 20 cm.

En las bandas sísmicas y refuerzos adicionales su disposición es a cada 15 cm a lo largo de toda su longitud.

2.6.1.2.2 Refuerzo longitudinal.

Se utilizan 4 varillas de 10 mm corrugadas, dispuestas en forma de cuadrado, con un recubrimiento de hormigón de 3 cm. En los lugares donde se necesite traslapar se colocará otra varilla que la sobrepase una distancia 60 veces la del diámetro (60 cm) colocando este traslape sólo en el tercio medio del elemento. En las edificaciones de estudio no se pudo observar este procedimiento, ya que todos los elementos constaban de varillas continuas.

Cuando los elementos confinantes confluyen a un nudo, pueden existir dos tipos “particulares” de conexión, conocidos como “T” y “L”, en los cuales los dobleces de las varillas se realizan siguiendo el criterio de alargar la varilla interior del elemento hasta la cara exterior del otro perpendicular a este (ilustración 10). Cualquiera que sea el tipo de conexión, una vez sobrepasado el nudo, se realiza un traslape con la distancia ya establecida. Adicionalmente en las conexiones tipo “L” se coloca una varilla externa al nudo obedeciendo los criterios de traslape (ilustración 11).

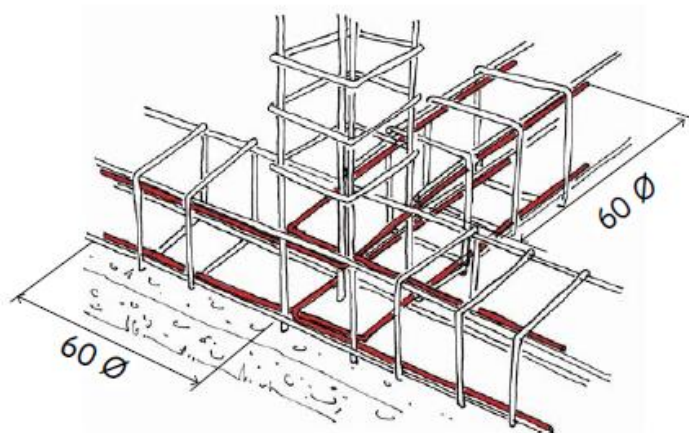


Ilustración 10: Conexión Tipo "T"

Fuente: Tomado de la Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada, 2017, p 52.

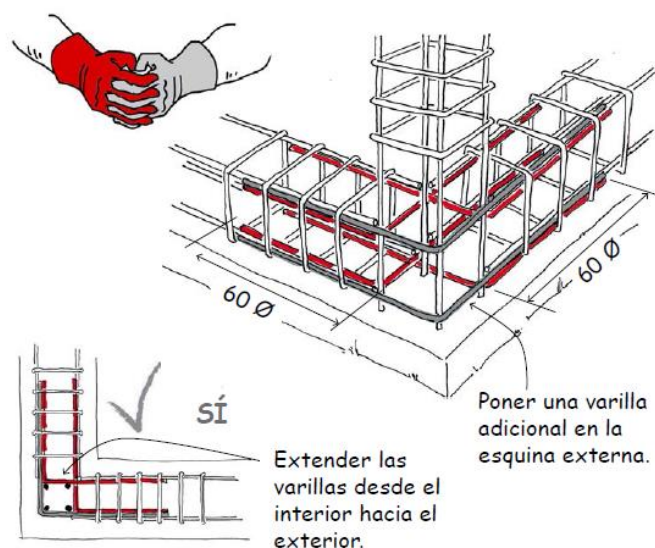


Ilustración 11: Conexión tipo "L"

Fuente: Tomado de la Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada, 2017, p 53.

2.6.2 Hormigón

Para mayor facilidad en la obra, las dosificaciones se las realiza al volumen. En Pedernales se utilizó una dosificación de 1:2:3 (una bolsa se cemento de 50 kg, dos parihuelas de agregado grueso, tres parihuelas de agregado fino y aproximadamente treinta y cinco litros de agua) que da una resistencia aproximada a 250 kg/cm^2 .

La mezcla se realizó mediante la utilización de una mezcladora mecánica; primero colocando un poco de agua con una parihuela de agregado grueso y dejando que se mezclen por un minuto. Posterior a eso se coloca el resto de los agregados junto con la bolsa de cemento; para terminar con la mezcla se coloca el agua hasta conseguir una pasta trabajable que podrían o no ser los 35 litros.

Para su colado se necesita que estén terminados los muros y luego se coloca el encofrado, teniéndolo terminado y aplomado se vierte el hormigón en capas de 30 cm, para después con una varilla evitar que queden vacíos.

Después de colocado todo el hormigón se debe procurar un buen curado, para que estos elementos alcancen su resistencia. Para ello después de colado el hormigón se humedece el encofrado y se procura que siempre permanezcan húmedo, y se retira después de dos días a pesar de que la guía recomienda tres. Una vez desencofrados; el proceso de humedecer el hormigón debe proseguir durante siete días más.

2.6.3 Unidades de mampostería

Existía un proveedor principal de las unidades de mampostería, el cual los adquiría de otras ciudades del país y cuyo único control que se realizó fue con respecto a su geometría regular, que posean un color uniforme característico de los ladrillos de arcilla cocida y sin fisuras.

Para observar si su resistencia es la adecuada se tomaba un ladrillo del lote, éste se apoya sobre otros dos, para después aplicar el peso de una persona. Si resistía se aprueba, de lo contrario se procedía con los otros dos; si dos de esas tres muestras no cumplían con lo requerido no se adquiría el lote. Además de esta prueba para comprobar la uniformidad de la cocción y que no existan vacíos, se golpean dos ladrillos esperando que produzcan un sonido metálico.

2.6.4 Muro

Los muros que se utilizaron para la ejecución de todas las viviendas son de mampostería confinada, con muros de ladrillo cocido dispuestos entre sí de manera escalonada y unidos con un mortero de cemento (Ilustración 12). Este muro se lo realiza una vez fraguado el elemento confinante inferior, de manera aplomada y dejando un dentado para la posterior fundición de los elementos confinantes verticales (Ilustración 13).

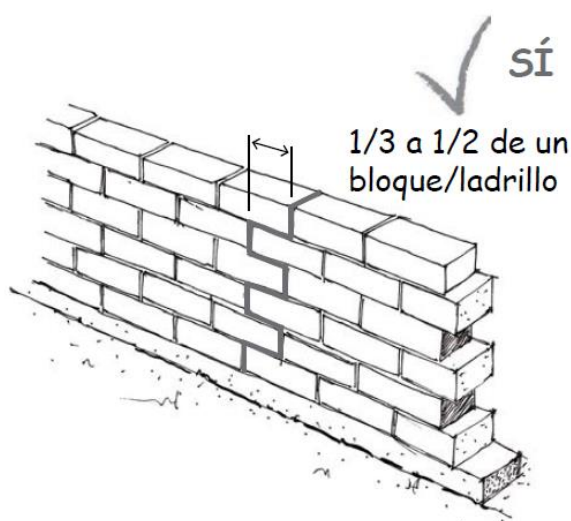


Ilustración 12: Juntas entre unidades.

Fuente: Tomado de la Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada, 2017, p 85.

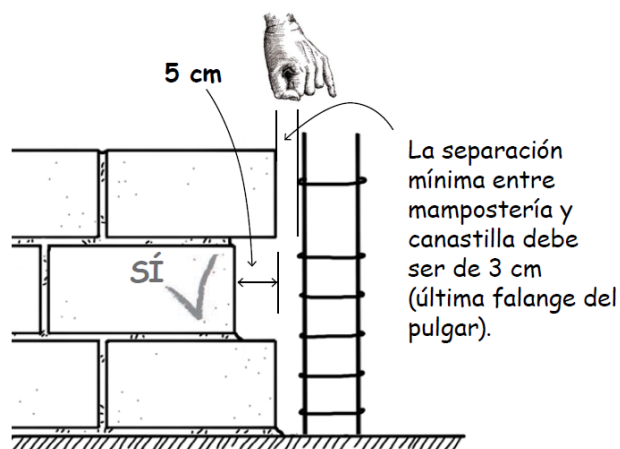


Ilustración 13: Dentado de muro.

Fuente: Tomado de la Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada, 2017, p 86.

2.6.5 Cimentación empleada.

Las viviendas de este estudio cuentan con cimentación superficial, a una profundidad mínima de 50 cm; dependiendo del tipo de suelo se realiza una mayor excavación. La vivienda está cimentada sobre una zapata aislada a 60 cm de profundidad.

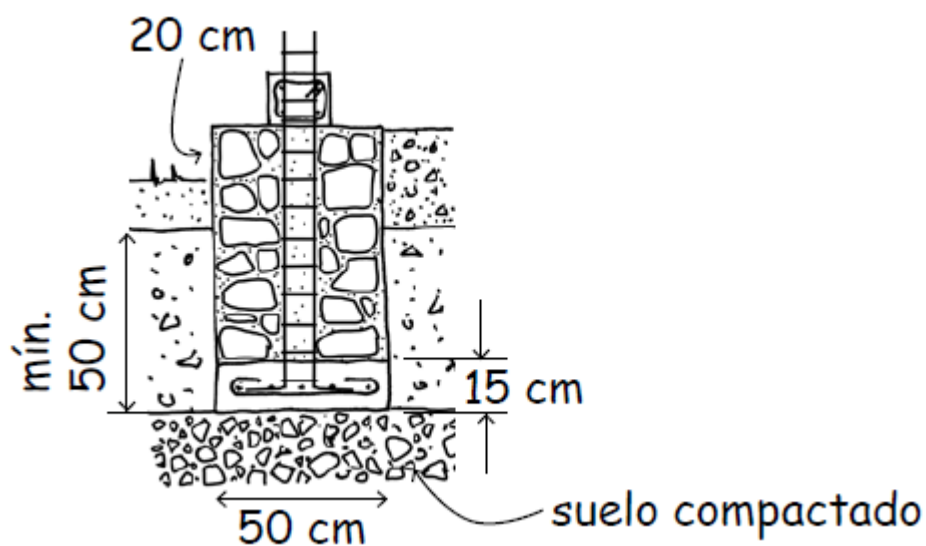


Ilustración 14: Cimentación.

Fuente: Tomado de la Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada, 2017, p 37.

La zapata cuadrada de hormigón armado consta de 50 cm por lado, con un espesor de 15 cm. La profundidad a la cual se colocará la cimentación se puede determinar mediante un ensayo doméstico, colocando un cubo a 3 cm por lado, sobre el se coloca a una persona parada sobre el bloque; si el cubo se hunde en el terreno se piensa que el suelo es suave, por ende la excavación a realizarse es más profunda.

2.7 Sísmica de la zona

El país se encuentra ubicado en una zona afectada por una falla de subducción, donde convergen dos placas tectónicas: la placa de Nazca, que es una placa oceánica y se desplaza hacia el oeste y la placa sudamericana, que se desplaza hacia el este. Por este desplazamiento en sentido opuesto entre las dos placas y fallas geológicas localizadas en ciertas zonas de país, se produce mucha actividad sísmica a la que está expuesta nuestra región.

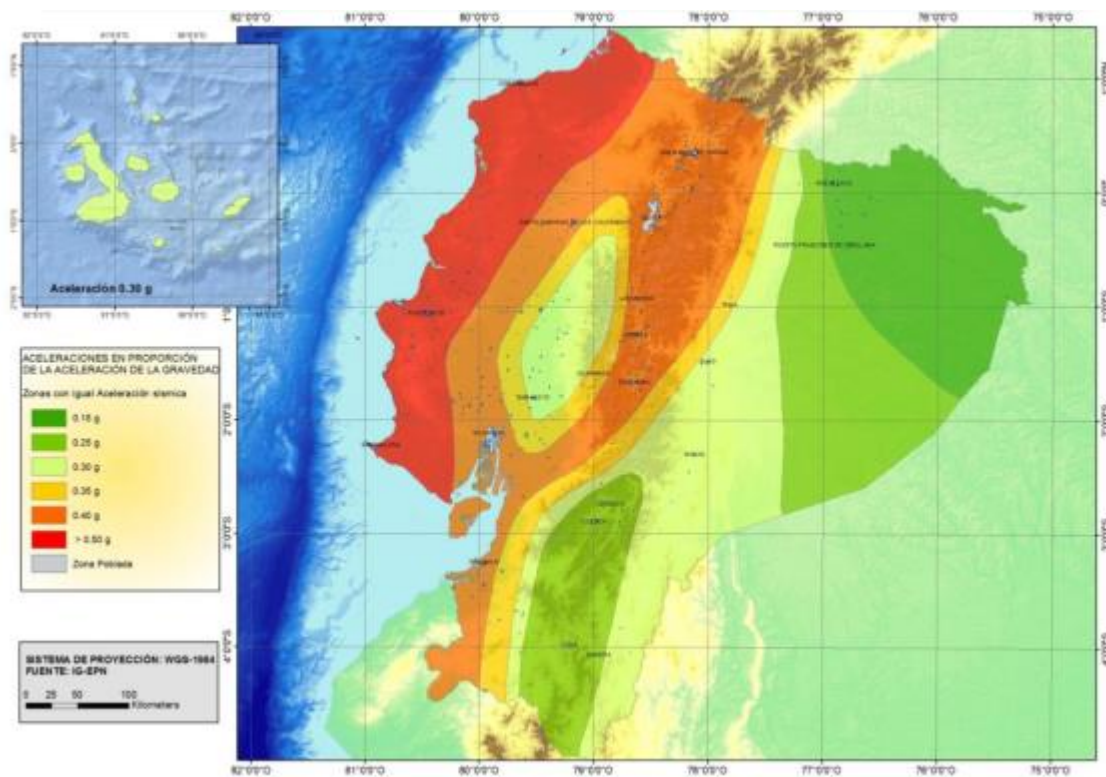


Ilustración 15: Mapa para diseño sísmico.

Fuente: Tomado de Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC- SE - DS), 2015, p 27.

Tabla 8: Factores por zonas sísmicas Ecuador.

ZONA SÍSMICA	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: Tomado de Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC – SE – DS), 2015, p 27.

La costa ecuatoriana es la zona más sísmica del país, se encuentra en la categoría más alta de sismicidad por la normativa ecuatoriana. Esmeraldas es la provincia donde se tienen registros de los sismos de mayor magnitud (Esmeraldas 1906: 8.8, Pedernales 2016: 7.8).

La interacción entre las dos placas ha producido constantes liberaciones de energía, lo que ha desembocado en sismos frecuentes, muchos de ellos de magnitud considerable. Gracias a los antecedentes científicos se sabe que los sismos tienen una excedencia de 10%, que se traduce a que aproximadamente cada 475 años, sucederá un sismo de energía considerable.

El entendimiento de la fuerza sísmica a la cual se podría enfrentar la edificación es de vital importancia para el diseño, esto debido a que al ser una vivienda de interés social no soportará mucha carga externa. Y al ser una estructura pesada, por todos los elementos que lo componen, la fuerza sísmica efectiva es mayor debido a que ésta es proporcional a la masa de la edificación y la aceleración que tiene el suelo por efecto de las ondas sísmicas.

3 Diseño estructural

3.1 Análisis de carga

La vivienda de interés social, analizada en este estudio, consta de una planta con una cubierta conformada por perfiles de acero y planchas onduladas de fibrocemento. En el espacio que queda entre las dos pendientes del techo se coloca un bastidor de caña guadua. Esta cubierta termina siendo liviana, lo cual es beneficioso para el desempeño de la estructura durante un sismo; ya que, para edificaciones como ésta, su período es muy bajo; implicando que la aceleración del terreno será de un valor alto.

3.2 Combinaciones de Carga.

Tratan de integrar todas las posibles combinaciones de fuerzas que podría experimentar la estructura durante toda su vida útil, las cargas son afectadas por un factor, esto se debe a la incertidumbre respecto a ellas, para el diseño de cualquier estructura se debe considerar la combinación que produzca los efectos más desfavorables.

- 1.4 D
- $1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L; S; R)$
- $1.2 D + 1.6 (L; S; R) + (L; 0.5W)$
- $1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 (L; S; R)$
- $1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S$
- $0.9 D + 1.0 W$
- $0.9 D + 1.0 E$

3.3 Tipos de cargas

La norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-CG establece tres tipos de cargas: permanentes, variables y accidentales. Por las condiciones de las edificaciones solo se tomará en cuenta en este caso las cargas permanentes y accidentales.

3.3.1 Cargas Permanentes

Estas cargas verticales a las que estará sometida la estructura provienen del peso propio del material, cubierta y otros acabados, este tipo de carga será asumida por los muros, estos a su vez la transmitirán a la cimentación.

Para este tipo de cargas, se deberá tomar en cuenta que el mortero utilizado se comprimirá, permitiendo rotación, esto se traduce que existirá articulación en el muro y por ende no podrán existir momentos.

Los valores de los pesos unitarios de las cargas permanentes de materiales, comúnmente utilizados en el medio, son expuestos en la normativa ecuatoriana de construcción NEC SE CG en su apéndice 4. De allí es donde se toman los valores de las cargas de cubierta a la cual se verá sometida la vivienda.

Tabla 9: Cargas Permanentes.

Material	Peso unitario (kN/m³)
Acero	78.5
Plancha ondulada de fibrocemento de 6 mm de espesor	0.15

Fuente: Tomado de Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE CG), 2015, p 22-24.

3.3.2 Cargas horizontales.

Existen gran variedad de cargas horizontales que pueden incidir en una estructura, pero la fuerza más importante es la proveniente de algún evento sísmico, esta fuerza genera muchos efectos en la estructura, la más importante a considerar el corte.

Para poder determinar la acción sísmica se emplean espectros de respuesta. Este espectro consiste en una curva envolvente suavizada de los valores máximos absolutos de varias estructuras afectadas por un mismo sismo.

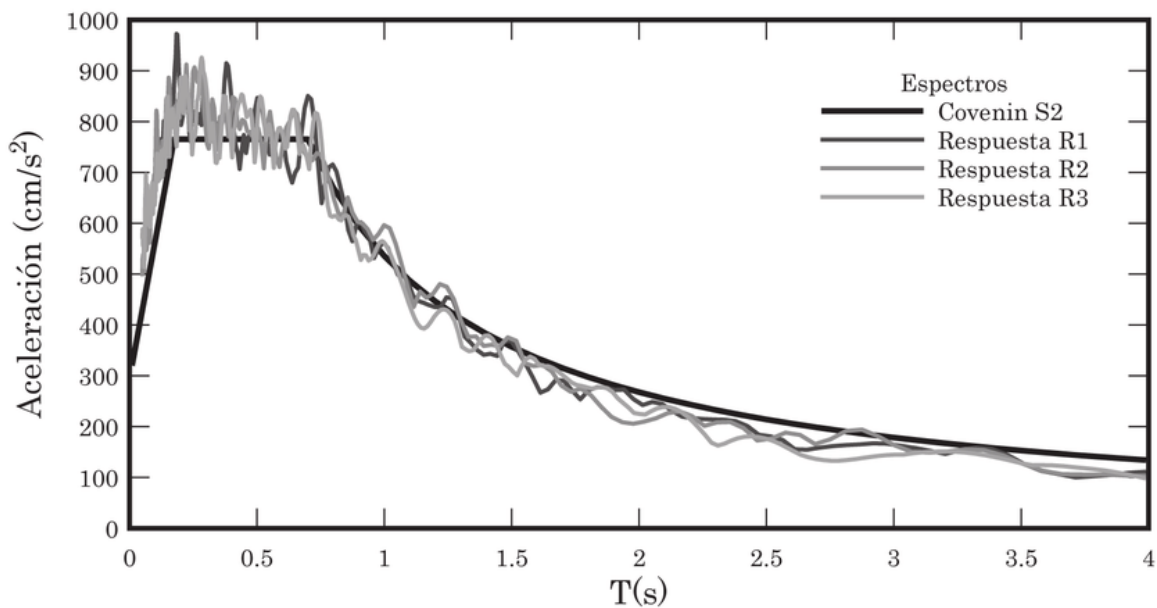


Ilustración 16: Espectro de respuesta.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Espectro-elastico-de-diseno-y-espectros-de-respuesta-originados-por-los_fig5_280821610

Mediante la utilización del espectro de respuesta de la zona y el periodo de vibración de la estructura, se puede obtener la aceleración para la cual se debe diseñar la estructura; valor que termina siendo de suma importancia para minorar la vulnerabilidad de la edificación.

Para el diseño estructural se emplea el espectro de aceleración, porque la pseudo aceleración que entrega es muy similar a la aceleración total.

3.3.2.1 Espectro elástico de diseño

Para lograr la construcción del espectro elástico de diseño como lo establece la norma NEC-SE-DS, se deben obtener algunos datos; los cuales se los encuentran especificados en la misma norma:

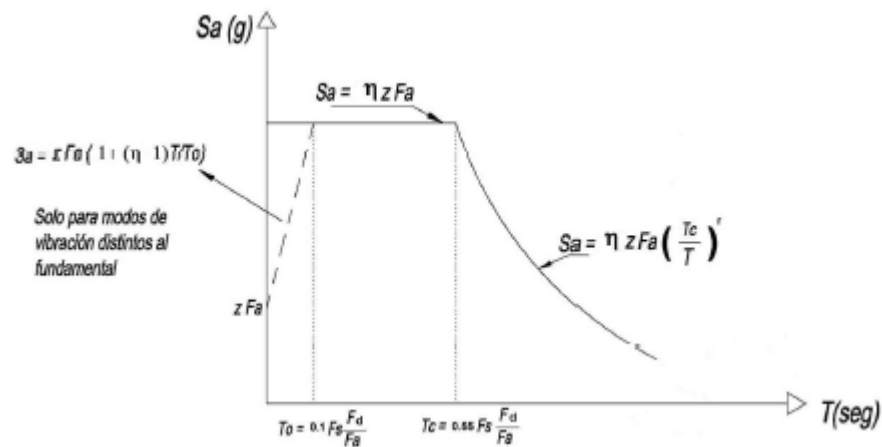


Ilustración 17: Espectro elástico de diseño.

Fuente: Tomado de Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC – SE – DS), 2015, p 33.

Donde:

- Zona sísmica (Z).

Las edificaciones se encuentran en una zona sísmica VI, por tanto, se observa la tabla 8, el valor de zona sísmica (Z) sería 0.5

- Tipo de suelo.

Las viviendas se encuentran construidas en todo el cantón Pedernales. Por ello se toma el tipo de suelo D, que es el tipo de terreno más comúnmente encontrado.

- Coeficientes de amplificación (F_a , F_d , F_s).

Para la obtención de estos datos se parte del tipo de suelo vs el factor sísmico, de allí se obtiene los distintos valores en las diferentes tablas de la NEC.

F_a : 1.112 (Tabla 3, NEC-SE-DS 2015)

F_d : 1.3 (Tabla 4, NEC-SE-DS 2015)

F_s : 1.65 (Tabla 5, NEC-SE-DS 2015)

- Razón entre la aceleración espectral y PGA (η).

La normativa establece tres valores dependiendo de la zona en la cual esté emplazada la estructura. Las viviendas se ubican en la costa ecuatoriana, en la provincia de Manabí; por tanto, se utilizará el valor de 1.8

- Períodos límites de vibración.

Se los determina con las presentes fórmulas; éstas responden a un amortiguamiento de 5% (T_o , T_c , T_L).

$$T_o = 0.1 \times F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.138$$

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

$$T_c = 0.763$$

$$T_L = 2.4$$

Teniendo ya todos estos datos se puede construir el espectro de respuesta de la zona de Pedernales. Los datos con los que se realizó se pueden observar en el Anexo 1.

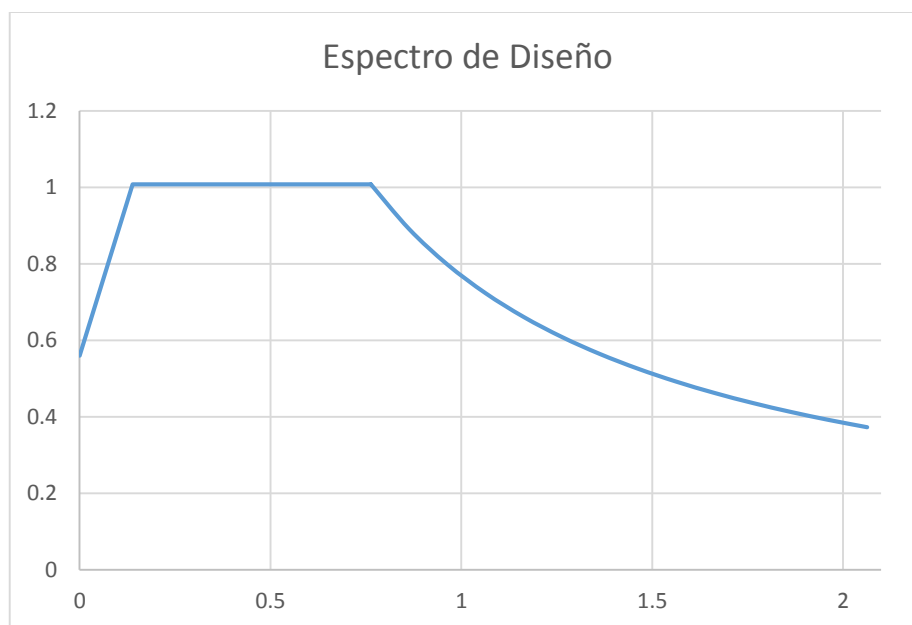


Ilustración 18: Espectro de respuesta Pedernales

3.4 Corte Basal

El corte basal corresponde a la fuerza lateral producidas por acciones externas que inciden en un sistema, distribuyéndose a lo alto de toda la estructura. La Norma Ecuatoriana de Construcción 2015 (NEC), establece que el corte basal se determina mediante la expresión:

$$V = \frac{I S_A(T_a)}{R \phi_P \phi_E} W$$

Donde:

I: Factor de importancia de la estructura.

$S_a(T_a)$: Aceleración espectral respecto al período fundamental de la estructura.

W: Peso de la edificación.

R: Reducción de resistencia ante sismos.

\emptyset_P, \emptyset_E : Coeficientes por irregularidades en planta y elevación

V: Cortante basal.

3.5 Período de vibración.

La norma NEC propone utilizar la fórmula:

$$T_a = C_t h_n^\alpha$$

Donde:

C_t: Factor de acuerdo con el tipo de edificación.

h_n: Altura de entrepiso.

T_a: Período de vibración.

Al ser una vivienda con mampostería portante, el factor de acuerdo con el tipo de edificación (C_t) no se puede observar en las tablas de la norma; por lo tanto, será determinado por estas fórmulas:

$$C_t = \frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$$

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^{n_w} \left[\left(\frac{hn}{hwi} \right)^2 \frac{A_{wi}}{1 + 0.83 \left(\frac{hn}{hwi} \right)^2} \right]$$

Donde:

A_B : Área de la base de la estructura (m^2).

n_w : Cantidad de muros existentes.

hwi : Dimensión del muro en elevación medida desde su base (m).

A_{wi} : Área del muro, medido horizontalmente (m^2).

Para este tipo de estructuras α será igual a 1.

3.6 Coeficiente R para disminución de resistencia ante sismos.

Mediante este coeficiente, se puede disminuir la acción provocada por el sismo. Este factor podrá ser aplicado cuando las estructuras posean tipos de fallas previstas en la etapa de diseño. Este coeficiente tiene como objetivo evitar el colapso, disminuyendo la elasticidad.

La estructura a la cual se enfoca este estudio posee una ductilidad limitada; por tanto, el coeficiente de reducción a la resistencia se puede tomar de la tabla 13 de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC – SE - DS). La estructura entra en la categoría de mampostería confinada, con limitación a dos plantas. Por tanto, el coeficiente será de 3.

El valor determinado de la tabla se lo aplicará en el espectro de diseño para así obtener uno inelástico.

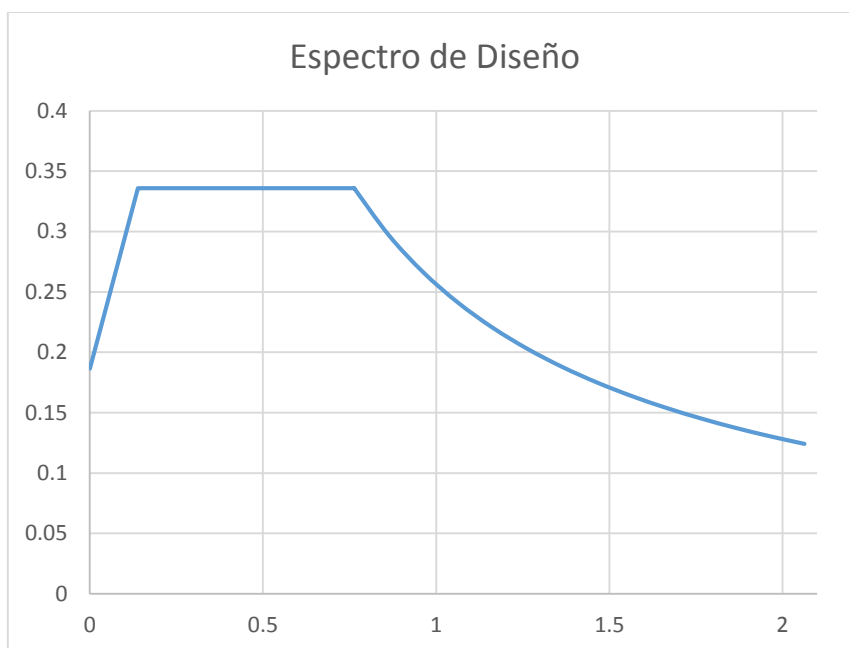


Ilustración 19: Espectro de Diseño Inelástico.

3.7 Módulo de elasticidad del muro.

El muro de mampostería confinada es un elemento que está elaborado a partir de muchos otros materiales. El módulo de elasticidad de un material es un valor que describe la capacidad de un material de deformarse antes de presentar algún tipo de falla. En el caso de la mampostería confinada, está relacionada con su resistencia a la compresión.

Este valor va a ser necesario para la modelación en el programa ETABS 2016 y se lo obtendrá mediante la fórmula:

$$E = 750 \times f'm$$

$$f'm = 0.75 Rm$$

$$Rm = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) f'cu + \left(\frac{50 Kp}{75 + 3h} \right) f'cp \leq 0.8f'cu$$

$$E = 750 \times 52.04 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 39030 \text{ kg/cm}^2$$

3.8 Filosofía de diseño.

Para realizar el análisis de las viviendas ya existentes, se realizará el diseño de todos los elementos que componen la estructura dentro del rango inelástico. Éste se logrará mediante el empleo de un espectro de diseño afectado por un factor de reducción de respuesta sísmica (R). Una vez logrado esto, se podrá determinar si toda la estructura se encuentra en la capacidad de tener un comportamiento satisfactorio durante todo el período de vida útil.

Basándose en las normas ecuatorianas de construcción NEC-SE-MP, para el diseño de mampostería confinada, remite a la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR 10) en su capítulo D. En ella describe el diseño del muro y de todos sus elementos, tomando en cuenta las fuerzas actuantes a lo largo de su eje. Pero, en el caso de fuerzas perpendiculares

al plano, la norma establece que se diseñe el marco de hormigón armado como en cualquier otra estructura de pórticos.

3.9 Modelación de la estructura.

Para la modelación de la estructura, se ha partido de las condiciones de la misma y dimensiones de los elementos con las que se construyeron las viviendas, tratando de apegarse lo mejor posible a la realidad. Teniendo los datos se compararán con los valores que estipula la normativa. De no ser satisfactorios se realizará las recomendaciones pertinentes para lograr que estos valores se cumplan.

La edificación se modeló restringiendo su rotación y traslación en los tres ejes (x,y,z). Es decir, como si sus apoyos se encontrarán perfectamente empotrados en el suelo.

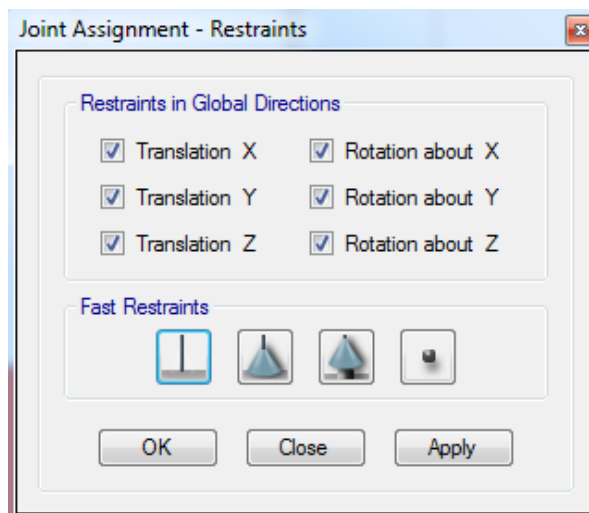


Ilustración 20: Condición de apoyos.

Los elementos de hormigón armado constan de una resistencia a compresión de 210 kg/cm^2 y un módulo de elasticidad de $2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$.

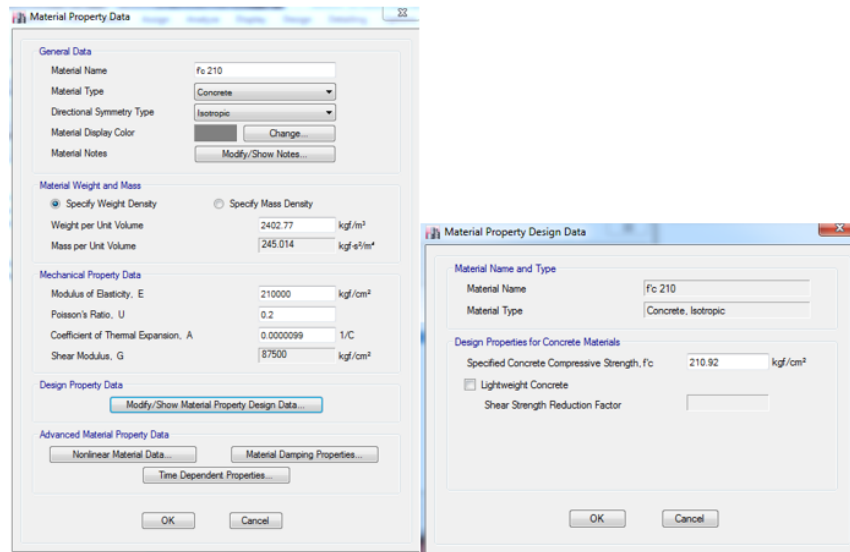


Ilustración 21: Propiedades del hormigón

Para modelar el muro de mampostería se utilizaron muros, en donde se coloca el valor de resistencia a la compresión. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015)

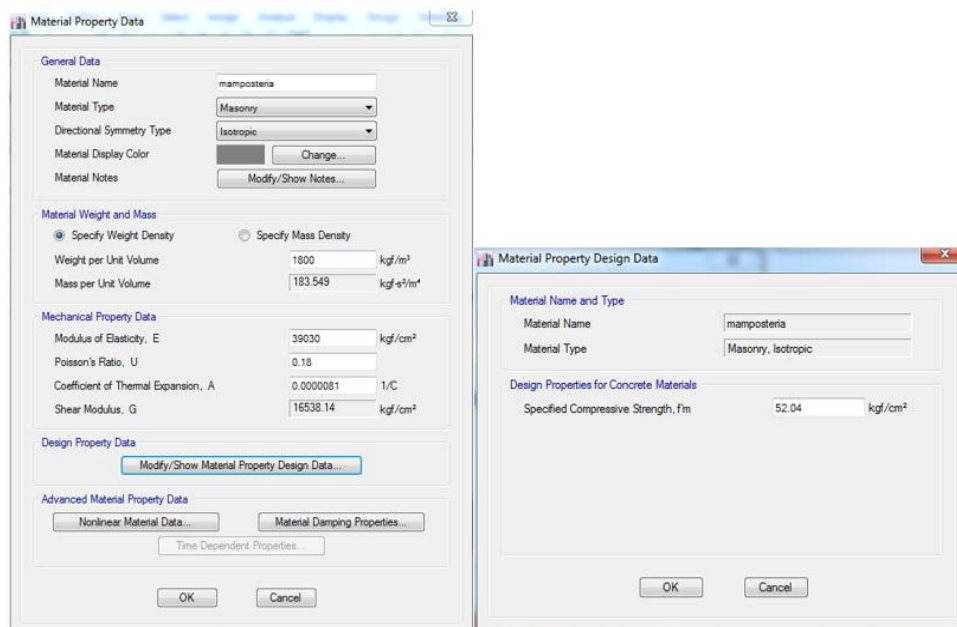


Ilustración 22: Propiedades mampostería.

Para la cubierta liviana se emplearon perfiles de acero doblados en frío con un límite a la fluencia (f_y) de 2400 kg/cm^2 , tipo “G” y perfiles tipo cajón como columnas en la solera de la cubierta. El valor de carga de la cubierta es obtenido de proveedores.

PLACA No.	LONGITUD		ANCHO		SUPERFICIE		TRASLAPO		DISTANCIA ENTRE CORREAS (m.)	PESO (kg)
	± 15 mm.		TOTAL (m.)	ÚTIL (m.)	TOTAL (m ²)	ÚTIL (m ²)	±10 mm.	± 5 mm.		
	TOTAL (m.)	ÚTIL (m.)					LONG (m.)	LATERAL (m.)		
4'	1.22	1.08	0.92	0.87	1.12	0.94	0.14	0.05	1.08	13.00
5'	1.52	1.38	0.92	0.87	1.40	1.20	0.14	0.05	1.38	16.25
6'	1.83	1.69	0.92	0.87	1.68	1.47	0.14	0.05	1.69	19.50
8'	2.44	2.30	0.92	0.87	2.24	2.00	0.14	0.05	1.15	26.00
10'	3.05	2.91	0.92	0.87	2.81	2.54	0.14	0.05	1.45	32.50
12'	3.66	3.52	0.92	0.87	3.37	3.06	0.14	0.05	1.76	39.00

Peso promedio por unidad de superficie 12KG/M²
 Coeficiente de conductibilidad térmica K: 4.76 kcal/m² h °C
 Pendiente óptima: 27% = 15°

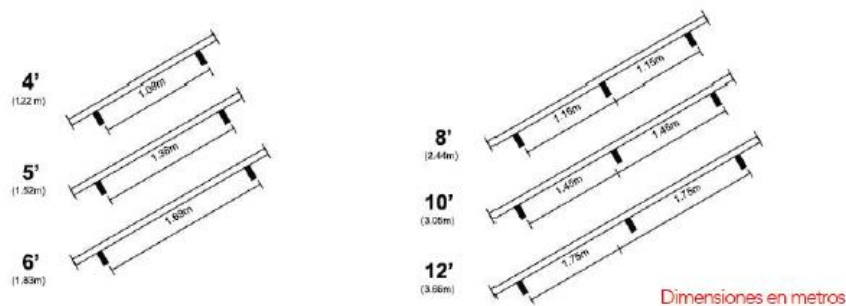


Ilustración 23: Datos de las planchas de fibrocemento

Fuente: Tomado de <http://www.eternit.com.ec/cubierta-traslucida-p7-92/>

De la ilustración 23, se obtuvieron datos sobre la separación de las correas de soporte para la plancha de fibrocemento. Este dato no se tomó de los planos del proyecto, debido a que se notó cierta incongruencia.

4 Resultados y comparaciones.

Para el diseño y análisis de muros de mampostería confinada se deben tomar en cuenta algunas hipótesis; de estas se han formulado todas las ecuaciones que se emplearán en este estudio:

- El muro no posee resistencia a tracción. Se asume enteramente por el acero de refuerzo.
- Todo el elemento trabaja como un material homogéneo; aunque sea un elemento anisótropo.
- Las secciones planas posterior a la deformación, permanecen planas.
- La mampostería confinada posee una deformación unitaria de 0.003.
- El Esfuerzo y deformación de la mampostería confinada (ilustración 7).
 - Para tener una sección equivalente, al área debajo de la curva de esfuerzo de la mampostería a compresión; se asume que el valor es igual a 0.8 f'm.
 - La sección equivalente tendrá una distancia igual al 0.85 de la longitud, desde el eje neutro a la fibra extrema a compresión.

Todos los resultados serán sometidos a factores de reducción de resistencia ϕ ; para asegurar que todos los elementos que componen la estructura cuenten con una resistencia adicional. Estos factores variarán dependiendo del tipo de carga que se esté analizando. El reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR 10) propone:

Tabla 10: *Reducción de resistencia.*

TIPO DE CARGA	Ø
Carga axial a compresión	0.65
Carga axial a tracción	0.85
Flexión sin carga axial	0.85
Cortante	0.5

Fuente: Tomado de Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR Título D, 2010, pág. 57

Para lograr la obtención de la respuesta de la estructura a las distintas condiciones del análisis se empleó el software Etabs 2016. Después del modelamiento de la estructura, se ejecutó el programa y se obtuvieron los siguientes datos.

Para los diferentes casos se tomará en cuenta únicamente el elemento que esté sometido a la mayor carga. Debido a que todos los elementos que conforman la estructura poseen las mismas propiedades geométricas y mecánicas; por ende, si el elemento en análisis cumple con las normativas se entiende que los demás elementos con las mismas características también lo harán.

4.1 Resistencia a compresión axial.

4.1.1 Elementos confinantes verticales.

La normativa por la cual se ha regido este estudio (NSR 10); establece cómo determinar la carga a compresión axial máxima de los elementos confinantes verticales.

En la vivienda, la columna sometida a la mayor carga se encuentra en los ejes B-1.

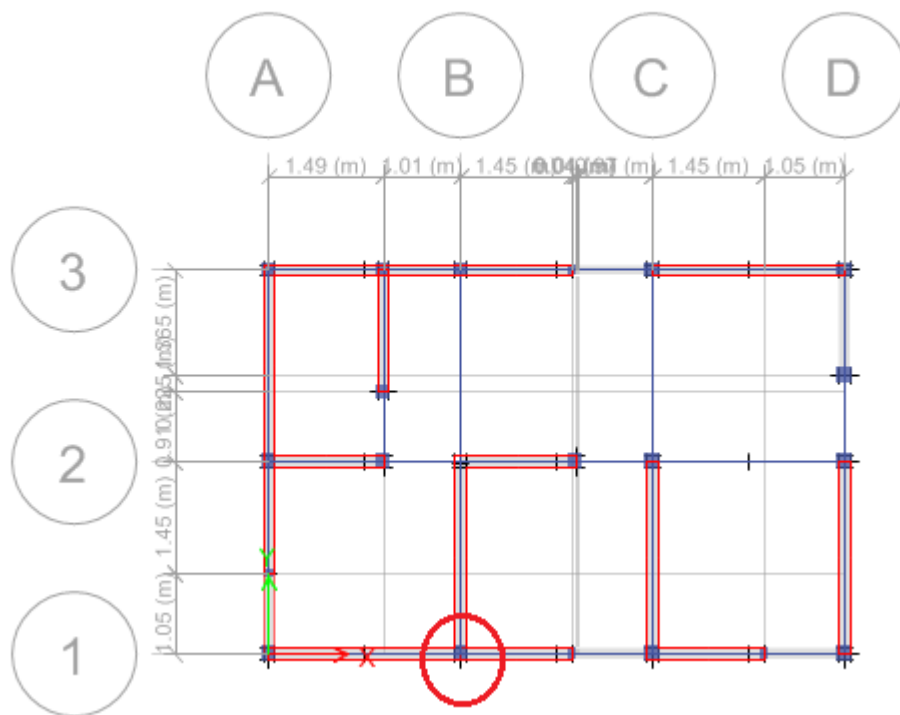


Ilustración 24: Columna de análisis compresión.

Esta columna se encuentra bajo la influencia de una carga de 1941.6 kg de fuerza axial. Si se la compara con el valor máximo que podría tener este elemento, para este tipo de edificación; tendría un comportamiento muy satisfactorio. El valor con el que se lo compara surge de la ecuación:

$$P_{nc} = 0.8(0.85 f'c(A_{ci} - A_{st}) + f_y A_{st})$$

De ésta se obtuvo que el elemento podría soportar una carga máxima nominal de 67.22 t; valor que si se somete al factor de reducción de resistencia pertinente (0.65) da como resultado 43.69 t. Resistencia que es mucho mayor a la carga a la cual está sometida según el modelo.

Durante un episodio sísmico los elementos también experimentarían fuerzas axiales de tracción. La capacidad para resistir esas fuerzas, se la determina mediante la ecuación:

$$P_{nd} = -f_y A_{st}$$

De la ecuación el resultado posee una carga nominal de -13.18 t, y con respectivo factor de reducción (0.85); resulta que la columna posee una resistencia a tracción. El software entrega que el valor máximo es 0.215 t dato que está muy por debajo de la resistencia del elemento.

4.1.2 Mampostería.

La resistencia a compresión del muro se determina como si los elementos confinantes no aportarían a resistir la fuerza. Esta resistencia nominal se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P_{nd} = 0.8(0.8 f' m A_{md}) R_e$$

Luego de reemplazar los valores, y ser afectada por el coeficiente de reducción de carga, se obtiene 78.19 t. Si se las compara con cargas a las que está sometida la mampostería 87.19 kg, cumple satisfactoriamente.

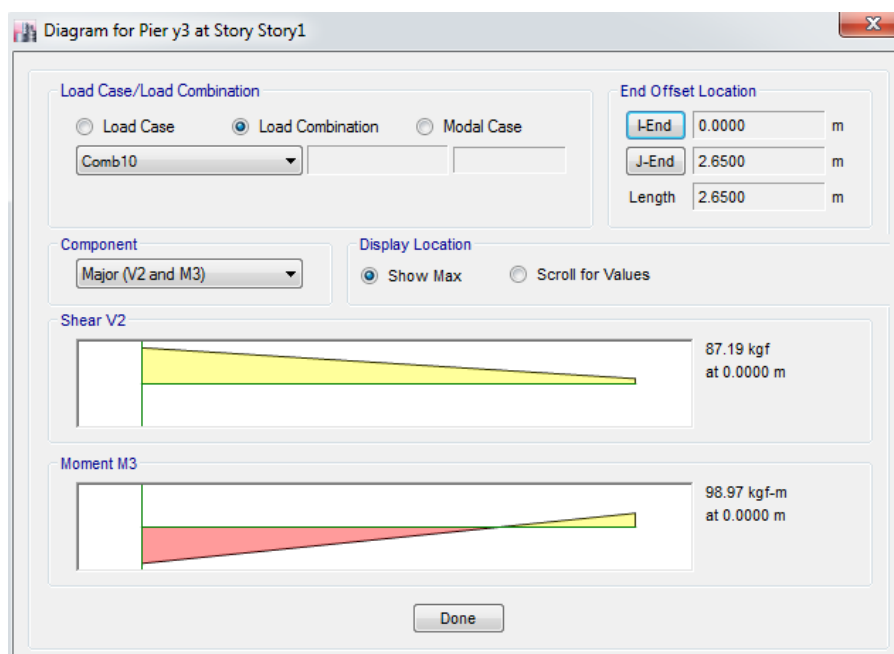


Ilustración 25: Fuerza axial en muro.

4.2 Resistencia a flexo-compresión.

Para verificar si los resultados proporcionados por el software están dentro de los parámetros establecidos por las normativas bajo las que se rige este estudio. Las cargas de flexo-compresión se deben analizar por separado, debido a la isotropía que posee el elemento. Para lo cual se analizará cuando la fuerza actúe perpendicular a su eje y paralelo a él, debido a que la fuerza será asumida por el pórtico y por la mampostería respectivamente.

4.2.1 Paralela al eje del muro.

Los efectos de los elementos estructurales producidos por fuerzas externas paralelas al eje del muro de mampostería confinada serán analizados sin incorporar la resistencia ofrecida por la mampostería y con la mampostería. Aunque el reglamento colombiano establece que se puede determinar la resistencia a flexo-compresión empleando uno de estos métodos.

4.2.1.1 Sin mampostería.

Estas fuerzas paralelas al muro serán determinados únicamente por los elementos confinantes, despreciando el efecto que puede ofrecer la mampostería ante esta acción. Por poseer dos elementos de confinamiento, la forma de determinar su resistencia es la siguiente:

$$P_{uc} = \frac{P_u}{2} + \Delta P_u$$

$$P_{uc} = \frac{P_u}{2} - \Delta P_u$$

$$\Delta P_u = \frac{M_u}{l_w}$$

Donde:

P_{uc} : Fuerza axial de compresión aplicada a el elemento confinante vertical. (kg/cm²)

P_{ut} : Fuerza axial de tracción aplicada a el elemento confinante vertical. (kg/cm²)

P_u : Fuerza axial de compresión aplicada al muro de mampostería. (kg/cm²)

M_u : Momento nominal el cual puede soportar el muro. (kg.m)

l_w : Distancia entre ejes de los elementos confinantes verticales. (m)

La columna de la estructura que según el software está sometida al momento más alto se encuentra en los ejes A-3.

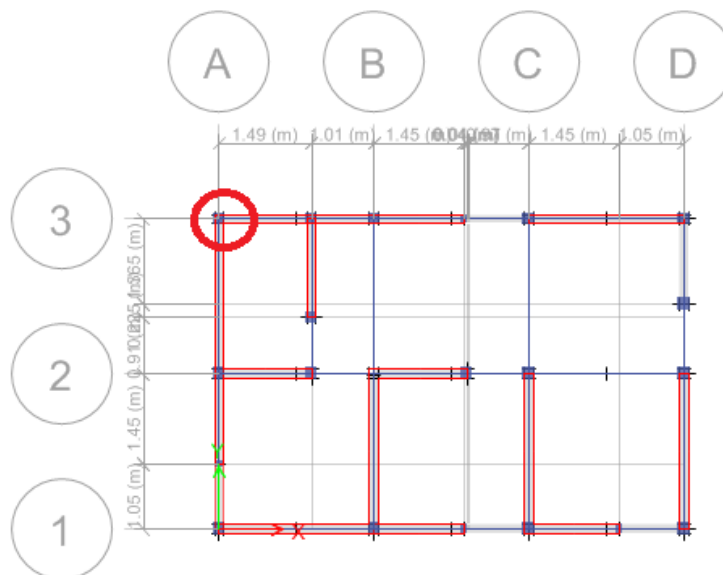


Ilustración 26: Columna en análisis a flexión.

El momento nominal, se lo obtendrá del diagrama de interacción de la columna. Éste además servirá para, posteriormente, encontrar la fuerza axial que soportará el elemento confinante antes de presentar fallas.

4.2.1.1.1 Diagrama de interacción de columna.

El diagrama de interacción permite observar de manera gráfica el efecto que produce la combinación de cargas axiales y momentos flectores en un elemento. En el diagrama se pueden notar algunos puntos como son: punto balanceado, carga máxima de compresión y tracción, y el momento máximo si la sección se encontrara solamente a flexión.

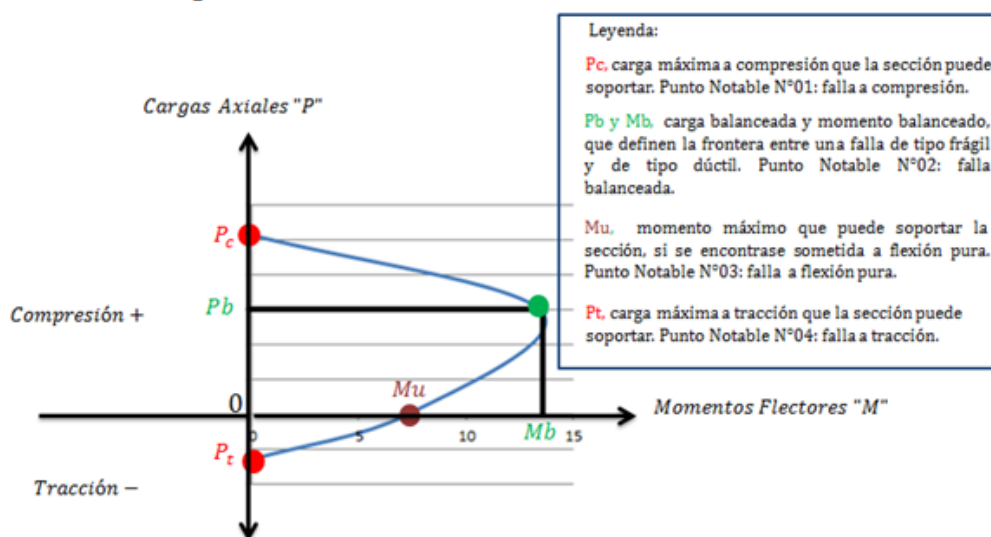


Ilustración 27: Diagrama de Interacción.

Fuente: Tomado de <https://steemit.com/stem-espanol/@eliaschess333/aprendiendo-a-construir-el-diagrama-de-interaccion-de-una-columna-de-concreto-armado-aplicaciones-en-la-ingenieria>.

El software posee la opción de entregar automáticamente el diagrama de interacción del elemento que se desee, en la ventana de diálogo se puede determinar el tipo de combinación de carga. Se seleccionó la combinación 10 (0.9D + 1.0E, con el sismo a lo largo del eje y) la cual provoca efectos más críticos a la estructura.

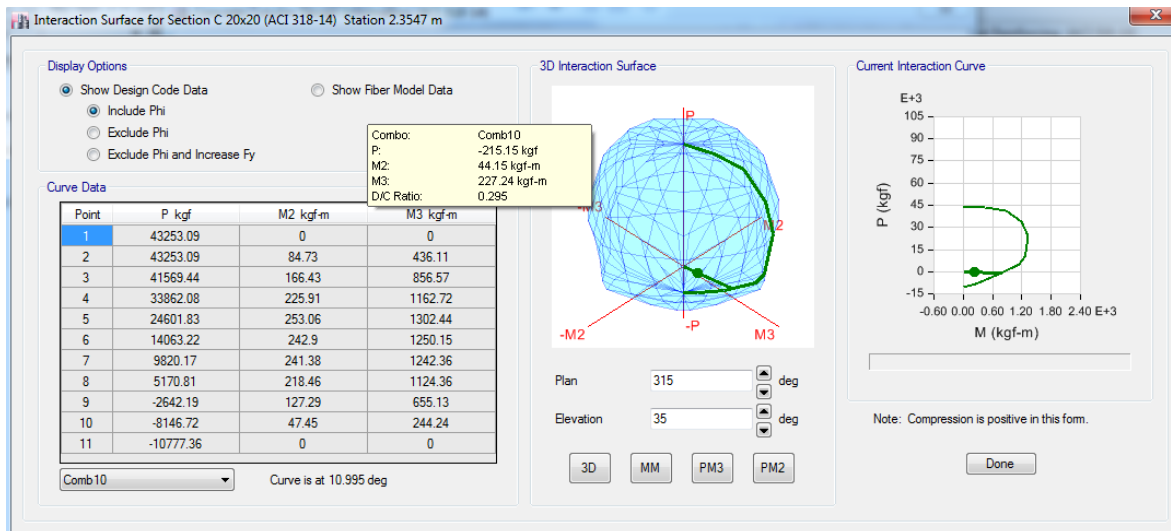


Ilustración 28: Diagrama de Interacción de columna analizada.

En el anterior diagrama se puede identificar un punto resultante de las solicitaciones a esa columna. A partir de ese lugar en donde se graficó el punto, se puede obtener más información sobre el comportamiento de la columna, como que podría tener una falla dúctil por encontrarse debajo del punto balanceado; tipo de falla que se busca para garantizar el correcto comportamiento de la estructura.

Si se observa la ilustración 28, en el punto más a la derecha de la curva del diagrama se localiza el punto balanceado. En este punto, si se traza una línea vertical hasta que cruce con el eje de las abscisas, se podrá determinar el momento flector máximo que podrá soportar la columna en análisis.

De la lectura del gráfico se obtuvo un momento de 1250 kg-m, desde este valor se puede regresar a las ecuaciones del análisis a flexo-compresión para determinar qué carga axial para el diseño; obteniendo como resultado una carga aplicada de 1450.48 kg a compresión y 450.58 kg a tracción, valores que pueden ser asumidos por el tipo de columna analizada.

4.2.1.2 Con mampostería.

Para determinar la resistencia del muro con el aporte de la mampostería, se compara la resistencia nominal a flexión afectada por el factor de reducción de carga pertinente con la fuerza aplicada. Esta resistencia nominal se la obtiene a partir del diagrama de interacción propio del muro.

$$M_u \leq \phi M_n$$

4.2.1.2.1 Diagrama de interacción del muro.

Siguiendo las hipótesis se obtienen dos ecuaciones, que son solo aplicables en muros con elementos confinantes verticales con refuerzos de acero simétricos.

$$M_R = F_R M_o + 0.3 P_u d \quad \text{si } 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3}$$

$$M_R = (1.5 F_R M_o + 0.15 P_R d) \left(1 - \frac{P_u}{P_R}\right) \quad \text{si } P_u > \frac{P_R}{3}$$

En donde:

M_o = Flexión capaz de asumir el muro. ($A_s f_y d'$).

A_s = Área que ocupa el acero de refuerzo en los elementos confinantes verticales (cm^2).

d' = Longitud existente entre las varillas externas, medidas desde el centro de cada barra (m).

d = Longitud existente entre el acero a tensión y la fibra extrema sometida a compresión (m).

P_u = Carga axial a la cual está sometida el muro. (kg/cm^2).

P_R = Carga axial capaz de resistir el muro. (kg/cm^2).

F_R = Coeficiente igual 0.8 cuando $P_u \leq \frac{P_R}{3}$ caso contrario se utilizará 0.6.

El muro el cual soporta la mayor carga axial es el que se encuentra a lo largo del eje B entre el eje 1 y 2. Elemento que está junto a la columna con la mayor carga axial.

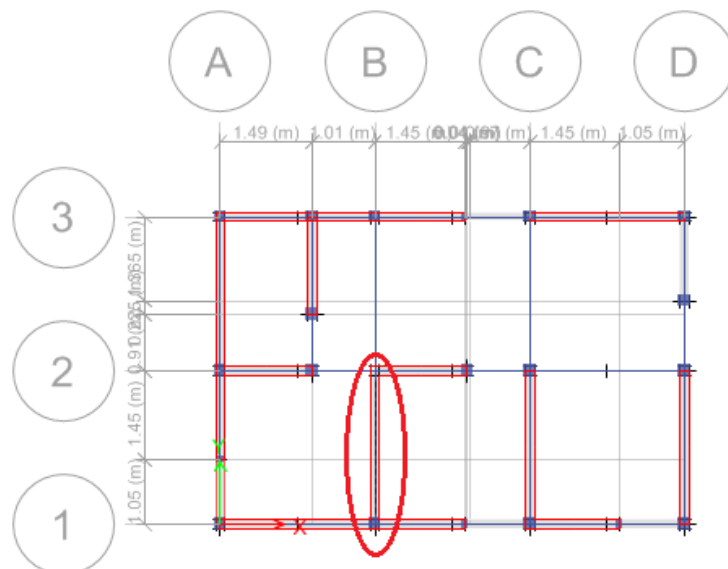


Ilustración 29: Muro análisis.

Para la obtención del diagrama de interacción de este elemento, las fórmulas requieren de la carga axial a la cual está sometida el muro; para lo cual se utilizará el que se expone en la ilustración 21 (87.19 kg).

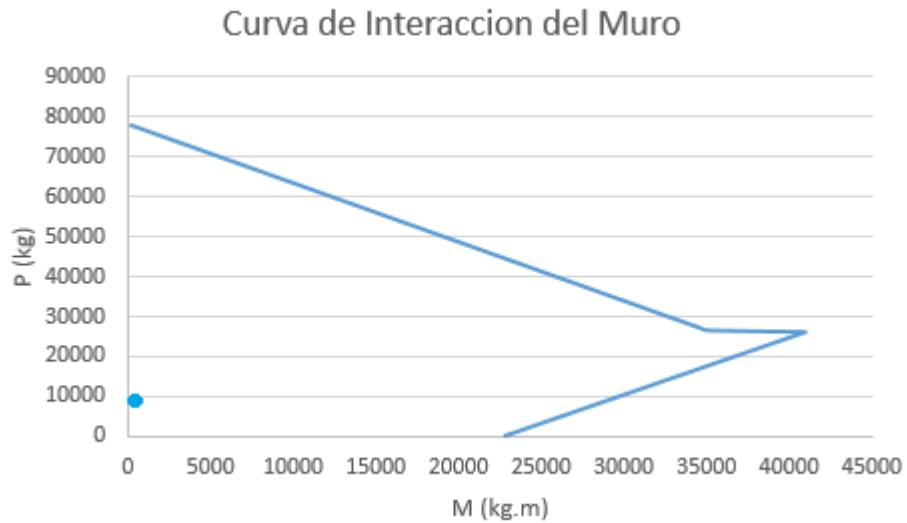


Ilustración 30: Diagrama de interacción del muro.

Nota: Los datos con los que se realizó se pueden observar en el Anexo 2.

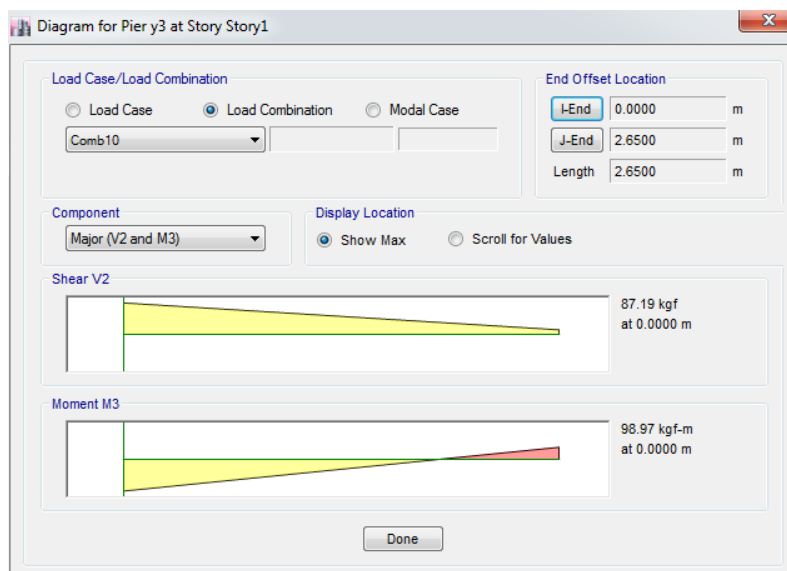


Ilustración 31: Momento aplicado al muro.

En la ilustración 31, se puede apreciar que el momento máximo capaz de soportar el muro es de aproximadamente de 40 t-m, y la carga que experimentará el muro será de 98.97 kg-m. Por lo tanto, el muro resiste satisfactoriamente.

4.2.2 Perpendicular al eje del muro.

El reglamento en el cual se ha basado este estudio (NSR 10, Título D), indica que para la realización de este tipo de elementos bajo esta situación específica se tome como referencia al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente en su título C; el cual trata sobre hormigón armado.

El título C, en el inciso C.21.6, exhibe requerimientos que deben cumplir los elementos a flexo-compresión. Las columnas de la estructura en estudio cumplen con todos ellos, exceptuando uno, el cual indica que la dimensión mínima transversal debe ser de 30 cm; requerimiento que entra en conflicto con las medidas mínimas para los

elementos confinantes (véase en 2.1.2 Elementos confinantes), aunque admite que una dimensión mínima sea 25 cm si el área bruta es mayor a 900 cm².

Para determinar si la columna es capaz de resistir las fuerzas que según el software envía al elemento, se debe recurrir nuevamente al diagrama de interacción (figura 28). En el cual se puede observar que, con el refuerzo empleado y la geometría de la sección es suficiente para soportar tales cargas.

El reglamento colombiano en el título D (mampostería estructural) establece que se necesita un área de refuerzo mínimo de 0.75 %, bajo este requerimiento los elementos si cumplen; pero también insta que el refuerzo no podrá ser menor a lo solicitado por el diseño del refuerzo bajo las normativas de hormigón armado.

La columna no cumple con la cuantía mínima de refuerzo (1%), para cumplir con el refuerzo mínimo las varillas longitudinales deberán ser de un diámetro mínimo de 12 mm. Esta cantidad de refuerzo es necesaria para dotar de una falla dúctil en el elemento.

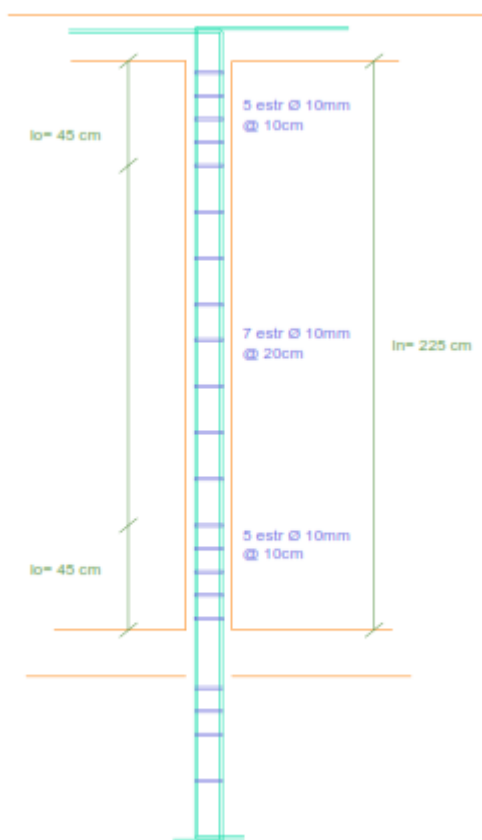


Ilustración 32: Acero columna.

En la guía de construcción, la distribución del acero de refuerzo es similar al que se muestra en la ilustración 32. Aunque en los planos de la vivienda se especifica menores espaciamientos entre los estribos, por ende, se necesitará mayor cantidad.

Las vigas no se verán sometidas a cargas gravitacionales, ya que estas serán transmitidas a la mampostería. Su funcionamiento se limitará a proporcionar el confinamiento, por ello se las dotó de refuerzo mínimo de acero.

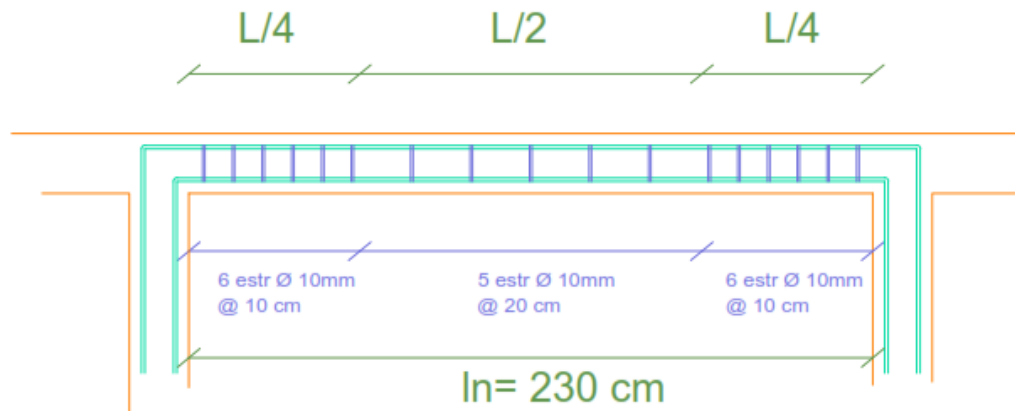


Ilustración 33: Acero viga.

Además del acero longitudinal se debe colocar acero transversal (estribos), esto es necesario para: mantener el acero longitudinal en su posición durante el proceso de fundición, dotar de confinamiento al núcleo de hormigón y asumir el esfuerzo de corte.

La norma establece que este tipo de refuerzo debe ser realizado con varillas con un diámetro de 10 mm ; adicional a esto la separación entre ellos no puede ser inferior a 10 cm en los extremos, además en la zona central bastaría con un espaciamiento de 20 cm .

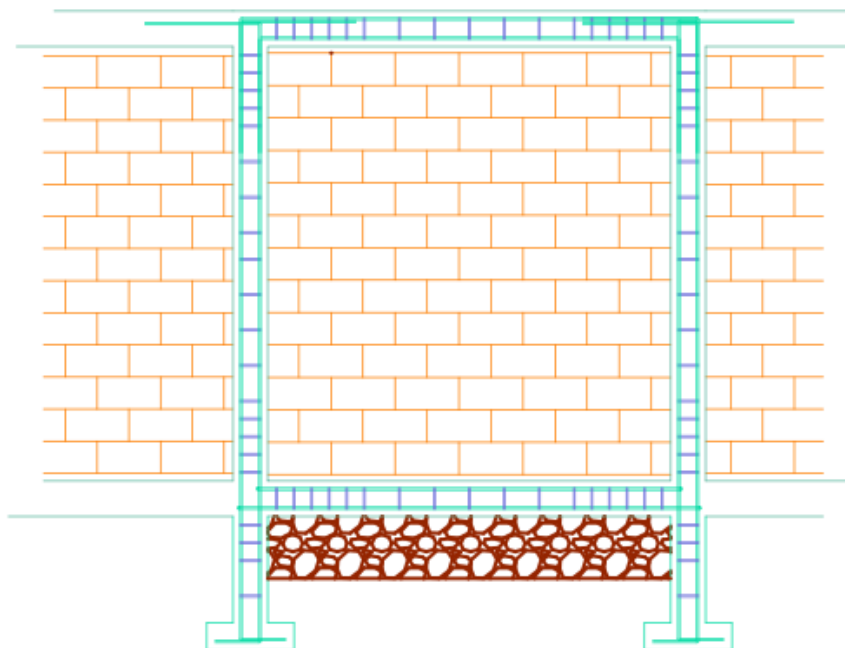


Ilustración 34: Acero en muro.

4.3 Diseño de Cimentación.

La cimentación de los columnestres será una zapata cuadrada aislada de 50 cm por lado, el cimiento a analizar se encontrará en los ejes B-1 (ilustración 24) ya que ahí se encuentra la columna con mayor carga.

Tabla 11: Valores columna B-1

P (kg)	T (kg-m)	M2 (kg-m)	M3 (kg-m)
1941.6	-5.5	1.2	39.77

Teniendo los valores de la tabla 11 se procede a calcular las dimensiones de la zapata para que el suelo sea capaz de sostener la estructura. La resistencia del suelo asumida en este estudio (q_a) es de 10 t/m^2 , valor con el que se realizará el análisis.

Área de la zapata:

$$A = \frac{FM (P)}{q_a}$$

Donde el FM será igual 1.1

$$A = \frac{2,13 t}{10 t/m^2} = 0.213 m^2$$

$$A = B^2 \therefore B = \sqrt{0.213}$$

$$B = 0.46 m \approx B = 0.5 m$$

Excentricidad

$$e = \frac{M}{P}$$

$$e = \frac{1.2 kg.m}{1941,6 kg} = 0.0006 m$$

$$e = \frac{39,77 kg.m}{1941,6 kg} = 0,02 m$$

$$e < \frac{B}{6}$$

$$\frac{B}{6} = \frac{0,5 m}{6} = 0,083 m$$

En caso de cumplirse esta condición los esfuerzos que surjan de la interacción suelo-cimiento tendrán la forma de un trapecio, además estos serán de compresión.

$$e = 0,0006 < 0,083$$

$$e = 0,02 < 0,083$$

Distribución de esfuerzos:

$$q_{s1,2} = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) = \frac{1941,6 \text{ kg}}{2500 \text{ cm}^2} \left(1 \pm \frac{6 \times 2 \text{ cm}}{50 \text{ cm}} \right)$$

$$q_{s1} = 0,963 \text{ kg/cm}^2 < qa$$

$$q_{s2} = 0,59 \text{ kg/cm}^2 < qa$$

- Análisis unidireccional: fisuras provocadas por corte casi verticales.

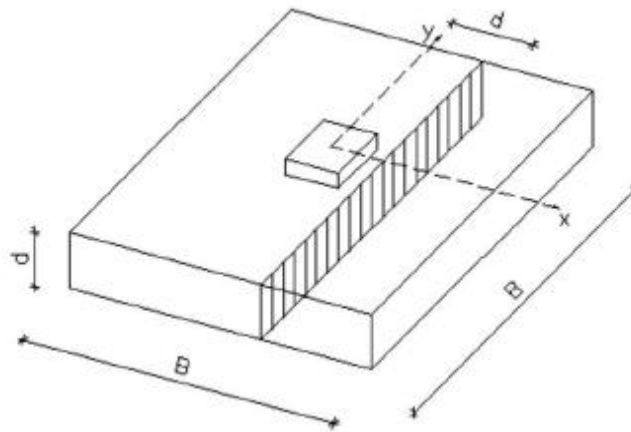


Ilustración 35: Análisis Unidireccional.

Fuente: Tomado de Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado, 2016, p 79.

$$V_{cu} \geq V_{uu}$$

Siendo V_{cu} el esfuerzo del hormigón y V_{uu} esfuerzo último.

$$v_{cu} = 0,54 \sqrt{f_c} = 0,54 \sqrt{210 \text{ kg/cm}^2} = 7,83 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_{uu} = \frac{V_{uu}}{\phi A}$$

$$\frac{0,373 \text{ kg/cm}^2}{50 \text{ cm}} = \frac{q_{su}}{35 \text{ cm} + d}$$

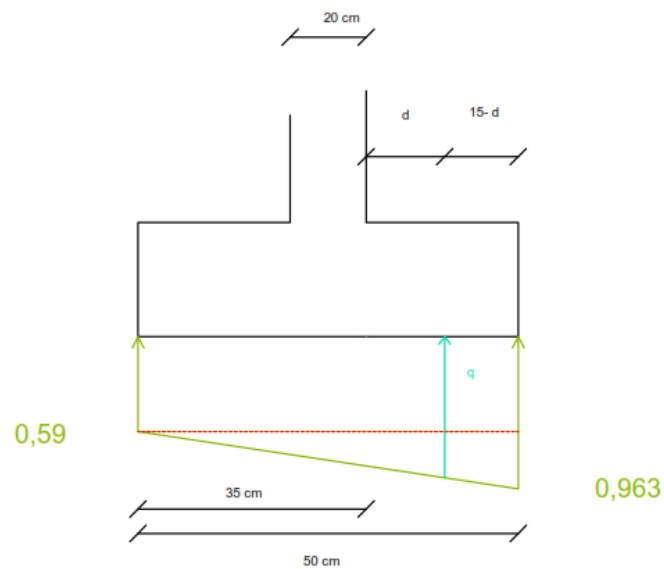


Ilustración 36: Esfuerzos en corte Unidireccional.

$$q_{su} = (0,261 + 0,0075 d) + 0,59 = 0,851 + 0,0075 d$$

$$V_{uu} = \left(\frac{(0,851 + 0,0075 d) + 0,963}{2} \right) (15 - d) 50$$

$$V_{uu} = 680,25 - 42,5 d - 0,19 d^2$$

Remplazando

$$7,83 = \frac{680,25 - 42,5 d - 0,19 d^2}{0,75 \times 50 \times d}$$

$$d = 2,02 \text{ cm}$$

- Corte bidireccional: fisura a partir de corte en forma de cono.

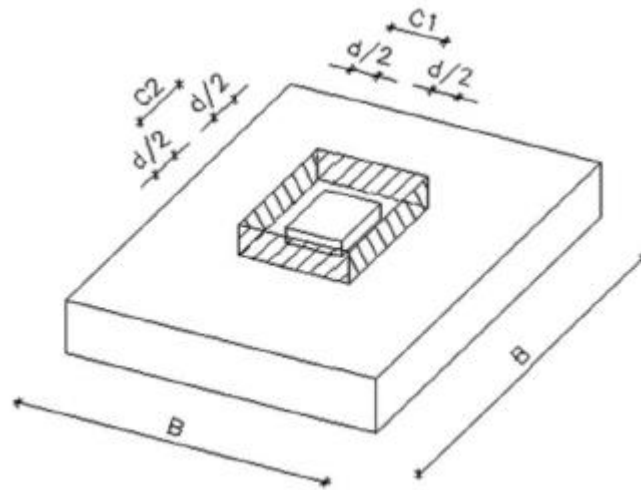


Ilustración 37: Corte Bidireccional.

Fuente: Tomado de Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado,

2016, p 82

$$V_{cb} \geq V_{ub}$$

Para V_{cb} se elegirá el menor valor de las ecuaciones propuestas por ACI 22.6.5.2, aunque para cimentación con columnas cuadradas es suficiente el uso de la que se presenta a continuación:

$$0,33 \lambda \sqrt{\hat{f}c} = 0,33 \times 1 \sqrt{210} = 4,78 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{q}_{su} = \frac{0,963 + 0,59}{2} = 1,553 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_{ub} = \frac{V_{ub}}{\phi A}$$

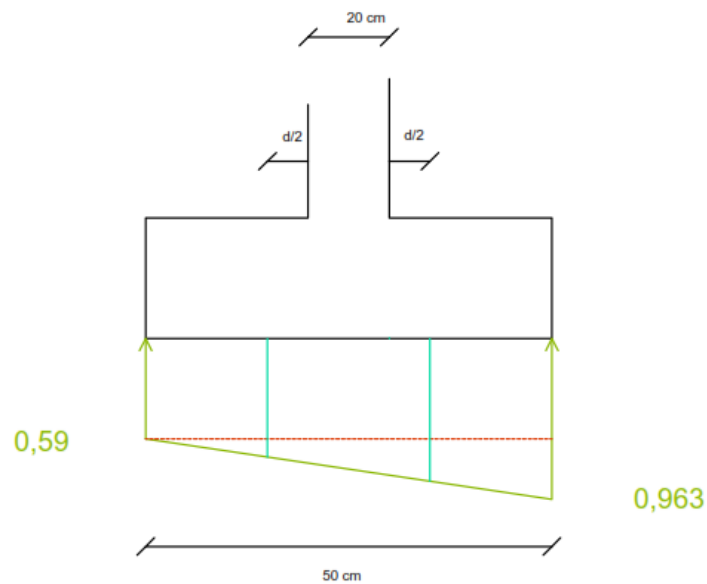


Ilustración 38: Esfuerzos en corte bidireccional.

$$V_{ub} = 1941,6 \text{ kg} - 1,553(d + 20 \text{ cm})^2 = 1320,4 - 62,12d - 1,553d^2$$

$$4,78 = \frac{1320,4 - 62,12d - 1,553d^2}{0,75 \times 4(d + 20)d}$$

$$d = 3,29 \text{ cm}$$

$$H = d + 1,5 \phi + rec = 3,29 \text{ cm} + 1,5 \times 1 \text{ cm} + 7,5 = 12,29 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

Acero de refuerzo.

$$Mu = \frac{0,8511 \times 15^2}{2} + \frac{0,1119 \times 15}{2} \times \frac{2 \times 15}{3} = 104,14 \text{ kg.cm}$$

$$A_s = 0,85 \frac{f_c \cdot b \cdot d}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{0,85 f_c \cdot b \cdot d^2}} \right)$$

$$A_s = 0,85 \frac{210 \text{ kg/cm}^2 \times 100 \text{ cm} \times 3,29 \text{ cm}}{4200 \text{ kg/cm}^2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 104,15 \text{ kg/cm}^2}{0,85 \times 0,9 \times 210 \text{ kg/cm}^2 \times 100 \text{ cm} \times (37 \text{ cm})^2}} \right)$$

$$A_s = 0,00006 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s \text{ min}} = 0,0018 \cdot b \cdot H = 0,0018 \times 50 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 1,35 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 2\emptyset 10 \text{ mm} = 1,57 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 3\emptyset 8 \text{ mm} = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Por lo tanto la armadura de acero de la zapata será de 4 \emptyset 8 mm colocados cada 15 cm

4.4 Resistencia a corte.

Las fuerzas de corte ya sean perpendiculares al plano del muro como paralelas, serán asumidas por la mampostería; pero de igual manera se debe realizar un análisis distinto, dependiendo de sus ejes.

4.4.1 Paralelas al eje del muro.

Este tipo de fuerza es asimilada enteramente por la mampostería, despreciando la resistencia que podrían ofrecer los elementos confinantes. Para establecer que el muro soportará estas fuerzas, debe cumplir que la resistencia nominal a corte; afectada por el factor de reducción sea mayor que la sollicitación:

$$V_u \leq \phi V_n$$

La resistencia nominal se obtendrá mediante esta ecuación:

$$V_n = \left(\frac{1}{12} \sqrt{f' m} + \frac{Pu}{3A_e} \right) A_{mv} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f' m} A_{mv}$$

Tras el remplazo de los valores se obtiene una resistencia al corte nominal de 21.49 T, que al afectarlo por el coeficiente de reducción de resistencia (0.5) da 10.75 t de resistencia al corte. La fuerza de corte que soporta el muro es de 1300.57 kg; lo que hace capaz de resistir tal fuerza sin inconvenientes.

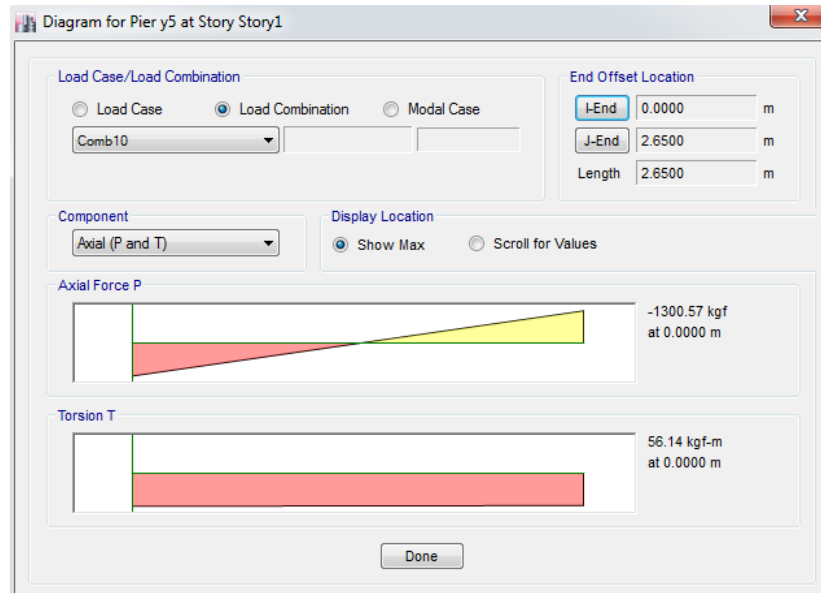


Ilustración 39: Corte paralelo al eje del muro.

4.4.2 Perpendicular al eje del muro.

Para poder asumir que el muro es resistente a fuerzas de corte que provienen perpendicular al plano del muro se debe cumplir con:

$$V_u \leq \phi V_n$$

En donde el corte nominal se lo obtiene de:

$$V_n = \frac{1}{6} A_{mv} \sqrt{f' m}$$

El corte nominal obtenido a través de la ecuación anterior da como resultado 42.44 T y multiplicado por el factor de reducción de carga da 21.22 t. Del software se obtuvo que el elemento soportará una fuerza cortante de 7.71 kg, por tanto, el elemento es capaz de cumplir con este tipo de solicitaciones.

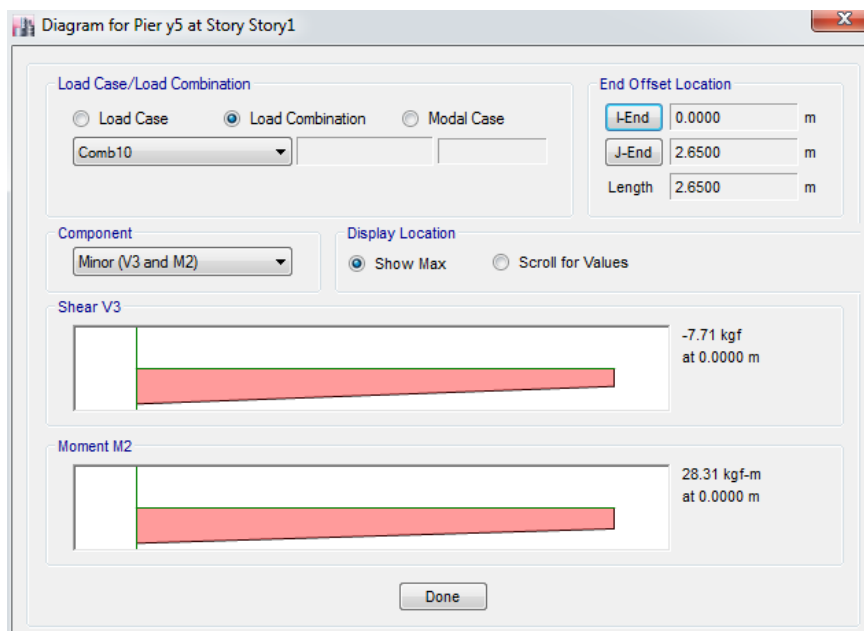


Ilustración 40: Corte perpendicular al eje del muro.

4.5 Deriva máxima.

El control sobre los desplazamientos que experimentará la estructura durante un sismo son de mucha importancia, para asegurar la integridad de la estructura y que no se presenten deformaciones excesivas. Este desplazamiento se lo compara con valores máximos permitidos por la normativa ecuatoriana.

Tabla 12: *Deriva máxima.*

ESTRUCTURAS DE	Δ_M
	MÁXIMA
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera.	0.02
De mampostería	0.01

Fuente: Tomado de Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE DS), 2015, p 48.

La deriva que tiene la estructura se la obtiene del cociente entre el desplazamiento y la altura de la planta, por lo tanto, la deriva se la compara en referencia a la planta inmediata inferior a la que se está analizando.



Ilustración 41: Deriva.

La normativa ecuatoriana (NEC SE DS) establece una forma para calcular la deriva inelástica, utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 \times 3 \times 0.000567$$

$$\Delta_M = 0,00012$$

Valor aceptable por la normativa ecuatoriana.

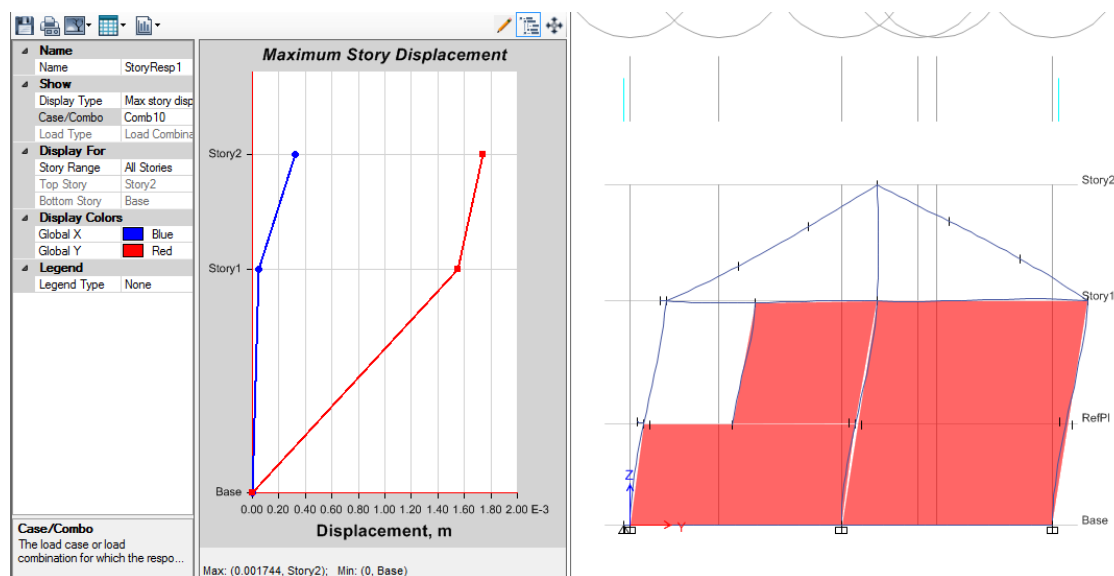


Ilustración 42: Desplazamiento máximo mampostería.

Como puede observarse en la ilustración 42, el desplazamiento máximo a la que estará sometida la estructura será durante las fuerzas sísmicas aplicadas a lo largo del eje Y. Este es un comportamiento esperado, debido a que en ese sentido se posee una menor cantidad de elementos. El software comercial entrega que la estructura se ha desplazado 0.001744 m.

Entonces conocido el desplazamiento y la altura de planta de la estructura se puede conocer que la deriva de la edificación es 0.00064, valor aceptable para la normativa.

4.6 Edificación de pórticos.

Estas edificaciones están constituidas por columnas y vigas, aunque se pueden emplear otros elementos estructurales para mejorar su desempeño. Las construcciones aporricadas constituyen una estructura dotada de poca rigidez, por lo tanto, pueden presentar grandes deformaciones que deben ser controladas en la etapa de diseño.

Con motivo de mostrar la influencia que tienen los muros de mampostería confinada en el comportamiento de la estructura. Se modeló la misma edificación, la cual solo constará de columnas, vigas y todos los elementos que conforman la cubierta, con las mismas propiedades mecánicas.

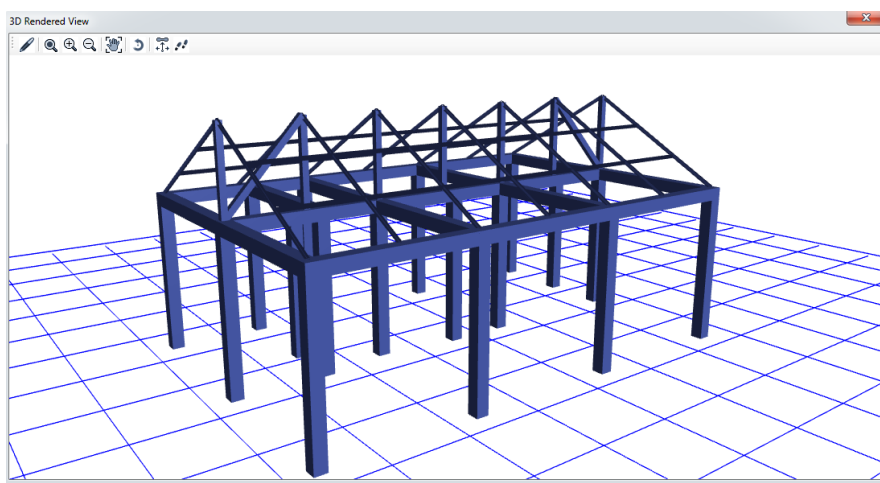


Ilustración 43: Vista en perspectiva de vivienda con pórticos.

En la ilustración 43 se muestra una edificación de pórticos. La estructura cuenta con la misma geometría de los elementos de hormigón armado empleada en la edificación con mampostería (20x20 cm), este modelo tiene un comportamiento algo similar al de mampostería confinada.

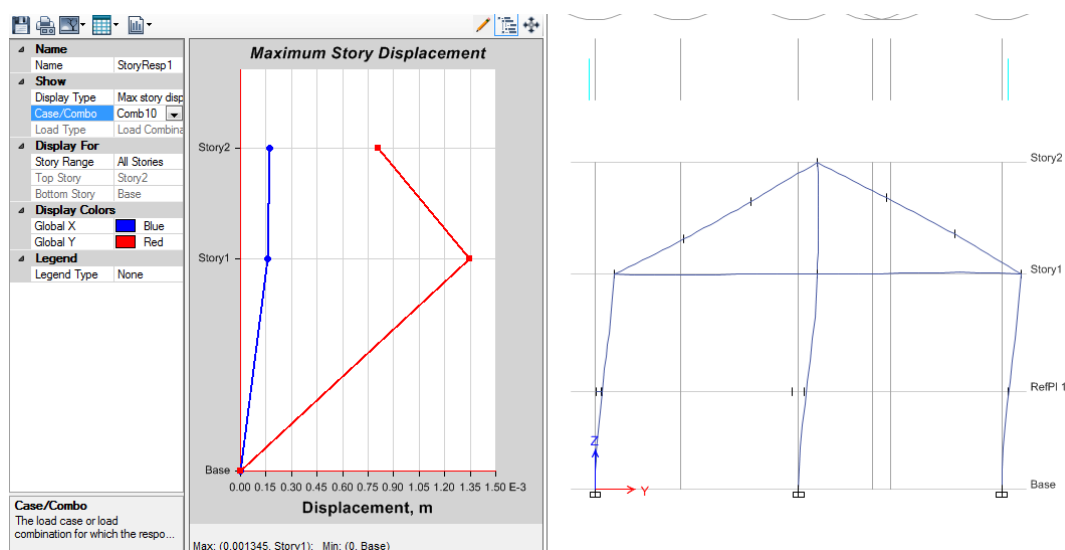


Ilustración 44: Desplazamiento pórtico.

Se puede observar en la ilustración 42 en el cual se muestra el desplazamiento máximo que experimentaría la estructura (0.0017 m), valor que es muy similar al que se puede apreciar en la ilustración 44 (0.0013 m).

Pero para un análisis más aproximado a la realidad, en el caso de estructura de pórticos, los elementos de hormigón armado no podrían tener tal geometría. Se deben regir exclusivamente a la normativa ecuatoriana de hormigón armado, por esa razón se cambiaron las dimensiones en el modelo de las columnas a 30x30 cm y las vigas de 35x25 cm respetando los mínimos establecidos en la norma, igualmente se modificó los diámetros de los refuerzos de acero a 12 mm.

Producidos estos cambios, la estructura debe considerar la deriva máxima, aunque el sistema de pórticos resistentes a momentos soporte, no puede existir desplazamientos excesivos. En cualquiera de ambos casos (estructura de mampostería confinada o con pórticos), los usuarios utilizarán mampostería; si se produce un sismo podría desprenderse alguna unidad y perjudicar la estructura física sin salvaguardar la vida de las personas.

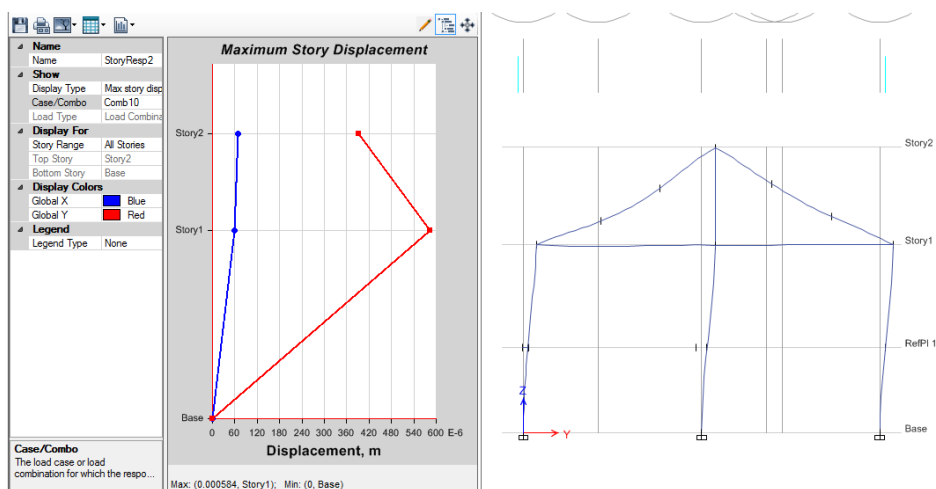


Ilustración 45: Desplazamientos máximos de pórtico.

En la ilustración 45 se aprecia que la estructura aporricada tendrá un desplazamiento máximo en el eje que posee menor rigidez, al igual que en que la edificación con mampostería. Se puede observar que el desplazamiento en el otro eje, aumentó, aunque es un valor de poca relevancia.

El software entrega que el desplazamiento será de 0.000584 m. Al hacer la relación con la altura, se tiene una deriva de 0.0000203 valor que es aceptable para el tipo de estructura.

En la ilustración 46 se puede observar los dos gráficos de desplazamientos de las estructuras, a la izquierda con mampostería confinada y a la derecha con estructura de pórticos. La diferencia entre las dos es mínima, los dos casos cumplen con la normativa, incluso podría decirse que la estructura apórticada posee un mejor comportamiento, pero esta observación se la puede tomar en cuenta en el caso que podamos asumir que se construyeron todos los elementos en óptimas condiciones.

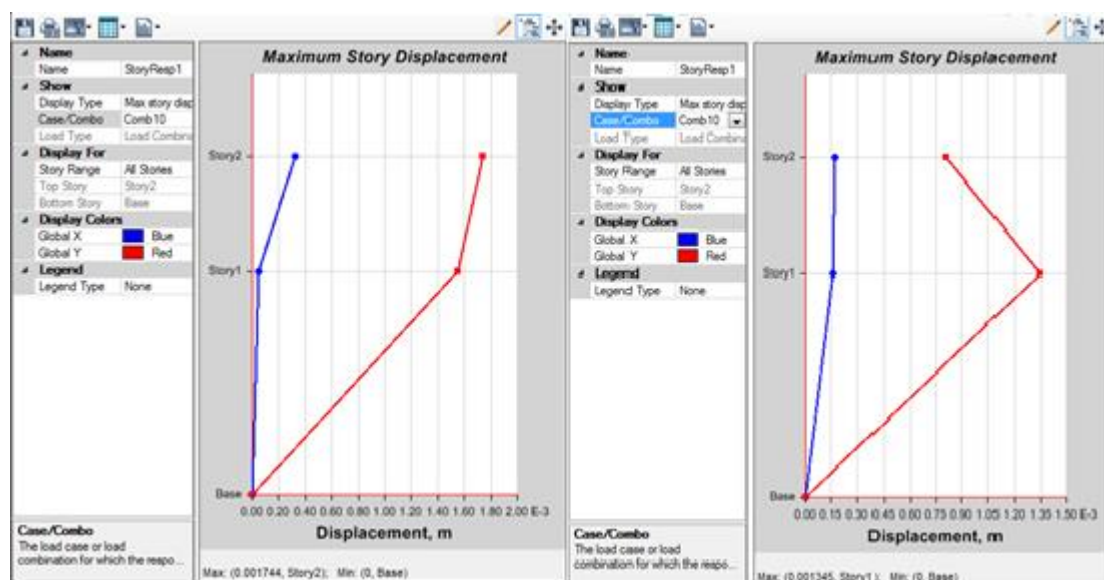


Ilustración 46: Comparación desplazamientos.

La mayoría de las estructuras, posterior al sismo presentaron fallas por corte, generado por un mal diseño de la armadura, tal fuerza puede soportar el muro de mampostería de manera muy satisfactoria, aliviando a los elementos confinantes de soportar el corte.

5 Conclusiones y Recomendaciones.

5.1 Conclusiones.

- Las unidades de mampostería no cumplen con los valores mínimos establecidos en la normativa. La resistencia de todo el muro es muy favorable en el diseño de la estructura, esto se debe a la contribución del mortero y los elementos confinantes.
- Los elementos confinantes, requieren de un refuerzo de acero igual al mínimo exigido por la normativa; por tal razón, se puede concluir que los muros de mampostería asumen la energía proveniente del sismo.
- El muro de mampostería cumple con la normativa ecuatoriana, pero los elementos de hormigón armado requieren modificaciones en cuanto a su armadura de refuerzo para respetar la normativa de hormigón armado.
- Por la alta resistencia a comparación con las solicitaciones, los muros de mampostería confinada proporcionará un rango de seguridad adicional a los que se tomaron en cuenta en la fase de diseño, además el costo con respecto al sistema constructivo usual (pórticos resistentes a momento) llegaría a ser similar o un poco mayor, por ello este tipo de estructuras son convenientes para personas en zonas de riesgo elevado.
- Se debe tener precaución en la utilización de los datos entregados en este estudio, debido a que estos resultados no necesariamente representan la realidad que se encuentra en el campo, esto se debe a la alta influencia que tiene la calidad de la mano de obra en la estructura.

- La mampostería confinada posee un aceptable comportamiento estructural, y no debería ser descartado para la realización del resto de los proyectos de construcción.

5.2 Recomendaciones.

- El diámetro del acero de refuerzo longitudinal debe ser de 12 mm, por los requerimientos sísmicos que establece la normativa ecuatoriana.
- El diámetro del acero de refuerzo transversal deber ser 10 mm, por requerimientos sísmicos que establece la normativa ecuatoriana.
- Promover procesos estandarizados y mayor control de calidad en las unidades de mampostería para cumplir con las especificaciones mínimas.
- Incentivar a realizar una normativa sobre mampostería confinada específica para el país. Aunque las condiciones sísmicas en el Ecuador poseen mucha similitud con Colombia, varía la realidad sobre la elaboración de las unidades de mampostería, formas de construcción y materia prima.

Bibliografía

- Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo. (2016). *Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada*. Ecuador.
- Flores, V., Sánchez Tizapa, S., Arroyo, R., & Barragán, R. (2013). *Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido utilizada en Chilpancingo*. México.
- Gallo Ortiz, G. O., Espino Márquez, L. I., & Olvera Montes, A. E. (2011). *Diseño Estructural de Casas Habitación*. Mexico: McGraw- Hill.
- Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa. (2015). *Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones*. Mexico.
- Martínez Martínez, J. L. (2003). *Determinación teórica y experimental de diagramas de interacción de esfuerzos en estructuras de fábrica y aplicación al análisis de construcciones históricas*. Madrid.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México: Alfaomega.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Título A*. Bogota.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Título D*. Bogota.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Norma Ecuatoriana de Construcción Estructuras de Hormigón Armado (NEC SE HM)*. Quito.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Norma Ecuatoriana de Construcción Mampostería Estructural (NEC SE MP)*. Quito.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado*. Quito.
- Pino Morales, G. G., & Valencia, R. D. (1995). *Diseño de un edificio de 2 y 5 plantas de mampostería confinada*. Quito.
- Santafé Maza, M. G. (2009). *Evaluación Estructural de Tres Sistemas Constructivos de Bajo Costo*. Quito.
- Torres Rodríguez, J. A. (2009). *Comportamiento de muros de mampostería con elementos de borde confinados con platinas en el mortero de pega*. Bogota.

6 Anexos

6.1 Anexo 1

Tabla de valores espectro de respuesta Pedernales.

T (S)	SA
0	0.56
0.02	0.62457658
0.04	0.68915315
0.06	0.75372973
0.08	0.81830631
0.1	0.88288288
0.13875	1.008
0.13875	1.008
0.18875	1.008
0.23875	1.008
0.28875	1.008
0.33875	1.008
0.38875	1.008
0.43875	1.008
0.48875	1.008
0.53875	1.008
0.58875	1.008
0.63875	1.008
0.763125	1.008
0.763125	1.008
0.863125	0.89121506
0.963125	0.79868138
1.063125	0.72355556
1.163125	0.66134766
1.263125	0.60898961
1.363125	0.56431362
1.463125	0.52574455
1.563125	0.49211036
1.663125	0.46252086
1.763125	0.43628784
1.863125	0.41287085
1.963125	0.39183954
2.063125	0.37284702

6.2 Anexo 2

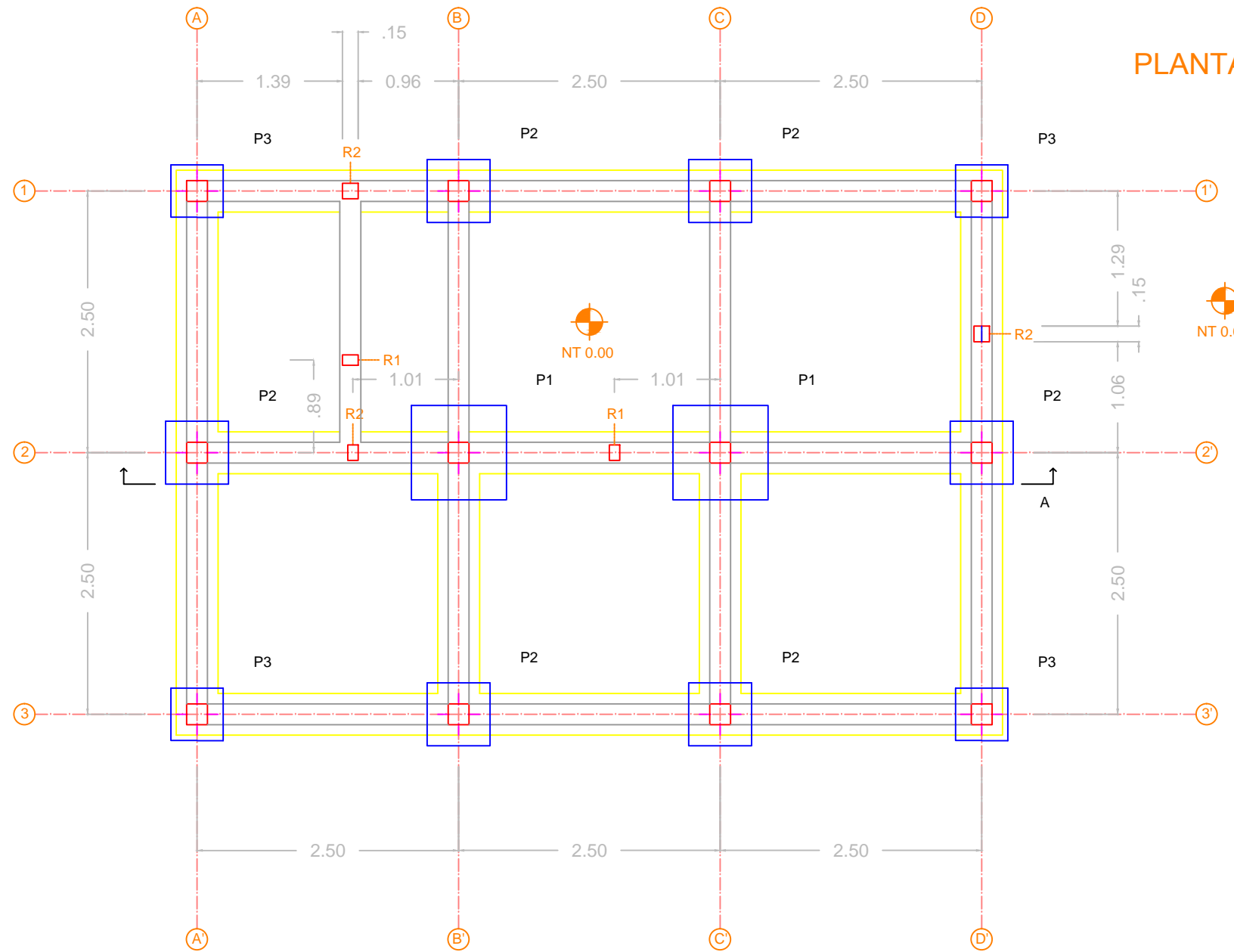
Tabla de valores curva de interacción de muro.

P (kg)	M (kg.m)		
		38000	27230.86
0	22800.42	40000	25875.75
2000	24198.42	42000	24520.64
4000	25596.42	44000	23165.54
6000	26994.42	46000	21810.43
8000	28392.42	48000	20455.32
10000	29790.42	50000	19100.22
12000	31188.42	52000	17745.11
14000	32586.42	54000	16390.01
16000	33984.42	56000	15034.90
18000	35382.42	58000	13679.79
20000	36780.42	60000	12324.69
22000	38178.42	62000	10969.58
24000	39576.42	64000	9614.47
26000	40974.42	66000	8259.37
26063.3	41018.66	68000	6904.26
28000	34006.39	70000	5549.16
30000	32651.28	72000	4194.05
32000	31296.17	74000	2838.94
34000	29941.07	76000	1483.84
36000	28585.96	78000	128.73

6.3 Anexo 3

Planos de la vivienda con los cambios propuestos.

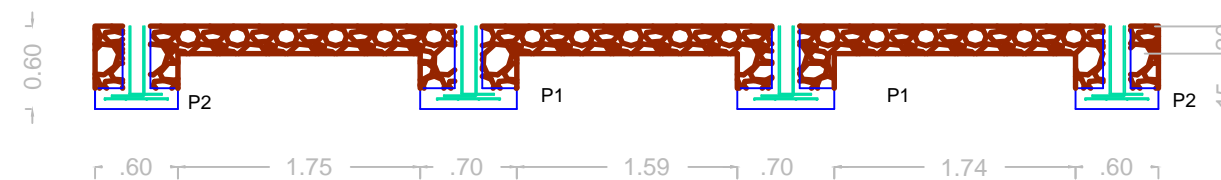
PLANTA DE CIMENTACIÓN



CUADRO DE PLINTOS

TIPO	No.	DIMENSIONES			MARCAS ARMADURA	NIVEL	UBICACIÓN
		A	B	H			
P1	2	0.70	0.70	0.15	4Ø8mm Mc101 4Ø8mm Mc100	Verticales Horizontales	N-0.60 B-2,C-2
P2	6	0.60	0.60	0.15	4Ø8mm Mc101 4Ø8mm Mc101	Verticales Horizontales	N-0.60 A-2,B-1,C-1,B-3,C-3,D-2
P3	4	0.50	0.50	0.15	4Ø8mm Mc101 4Ø8mm Mc101	Verticales Horizontales	N-0.60 A-1,A-3,D-1,D-3

CORTE A-A



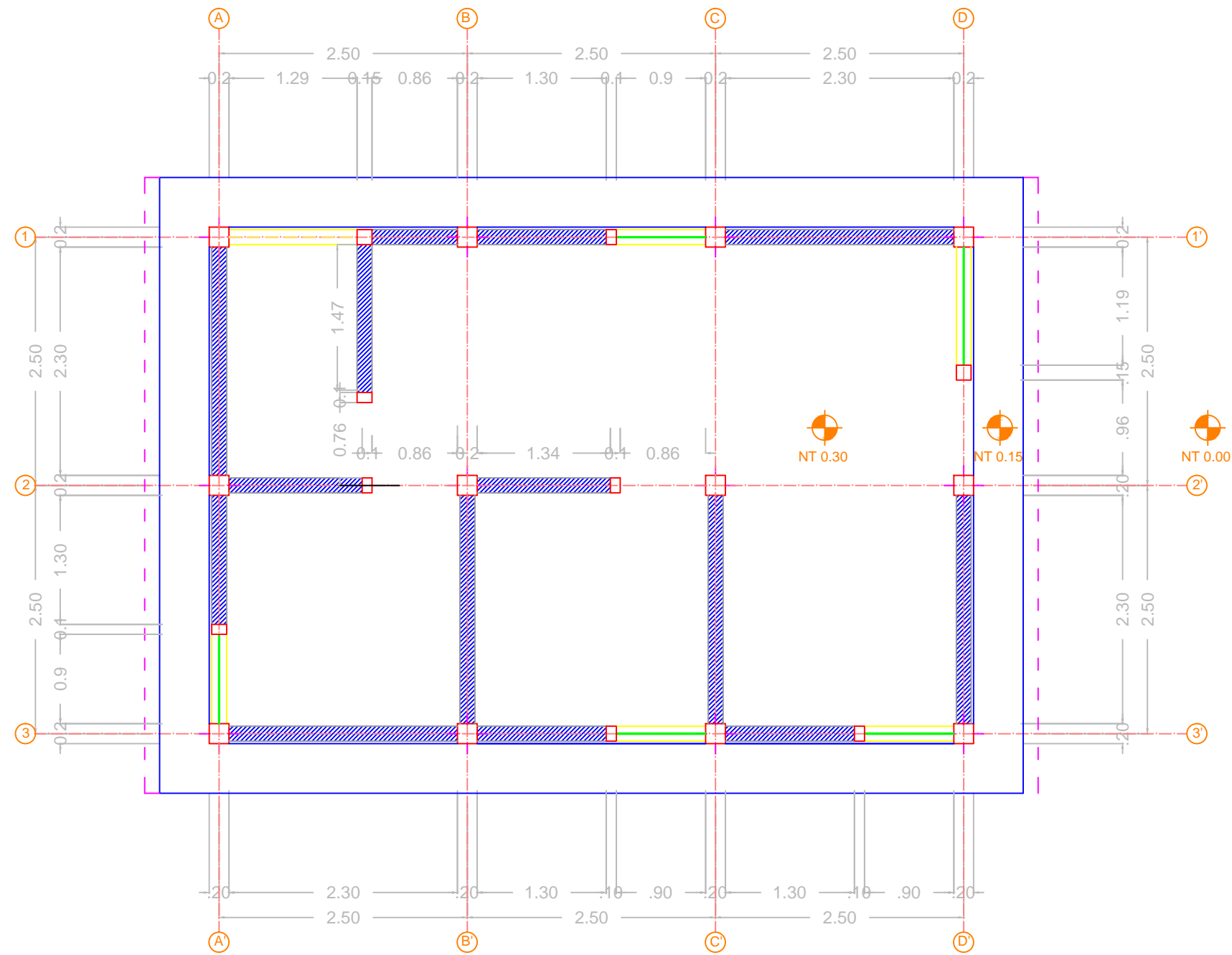
FUNDACIÓN ECOSUR ECUADOR

"De desastre a dignidad"

Javier Alejandro Mejía Valladares

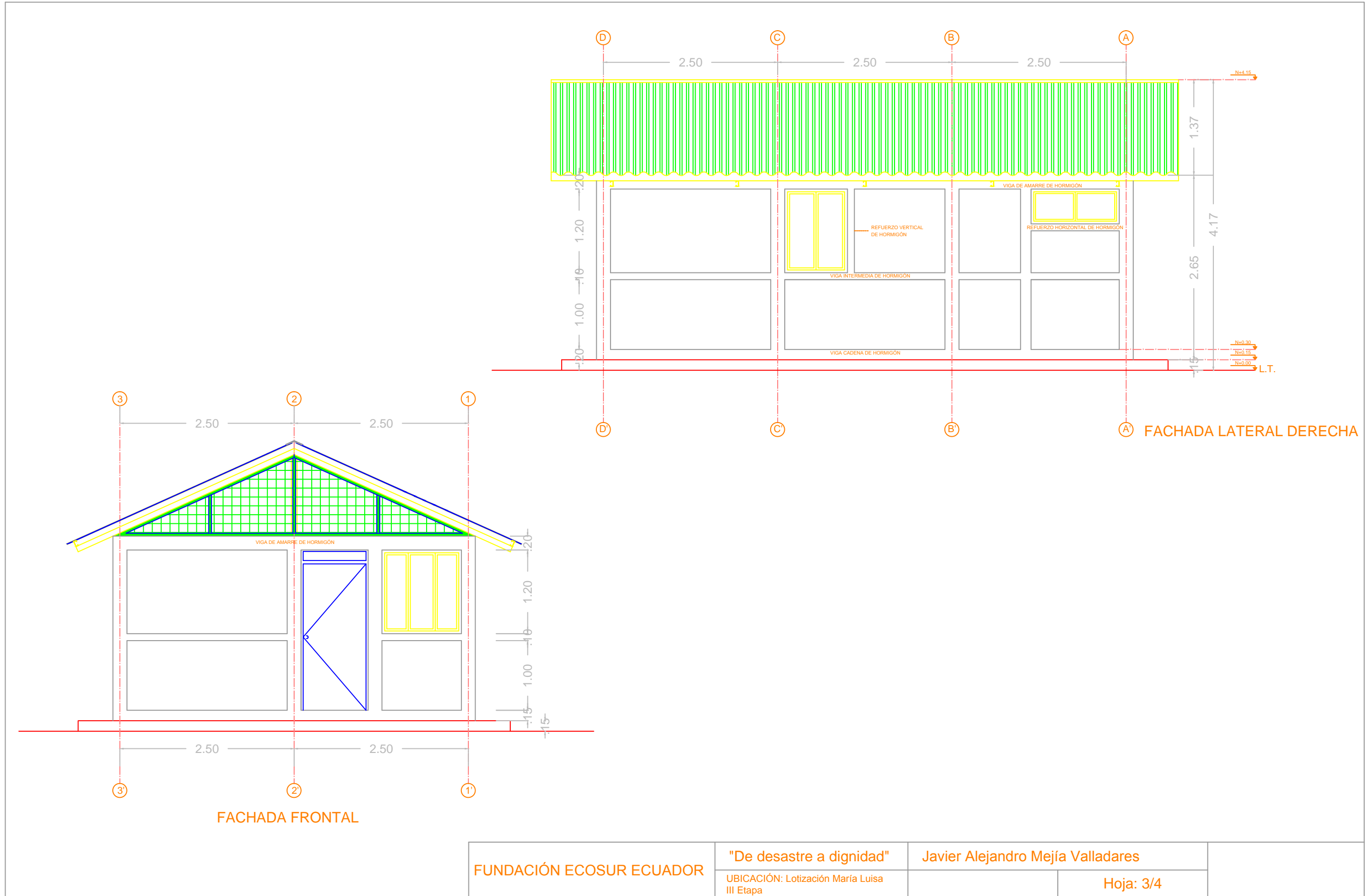
UBICACIÓN: Lotización María Luisa
III Etapa

Hoja: 1/4

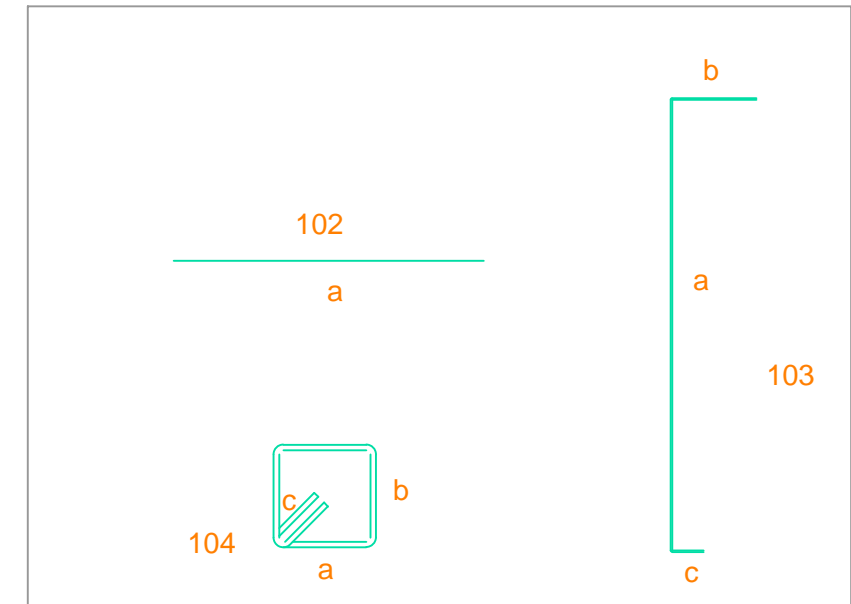
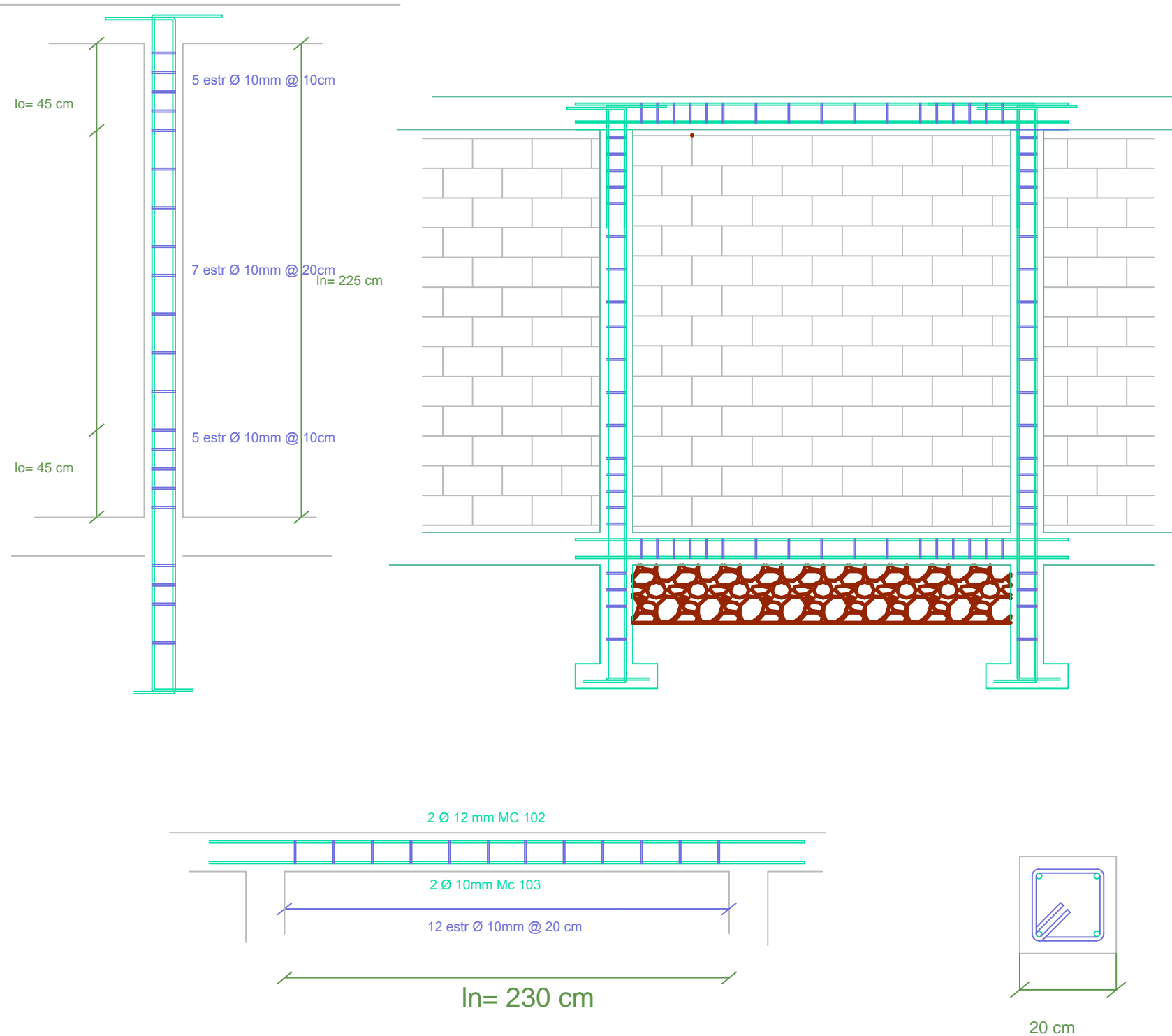


VISTA EN PLANTA

FUNDACIÓN ECOSUR ECUADOR	"De desastre a dignidad"	Javier Alejandro Mejía Valladares	
	UBICACIÓN: Lotización María Luisa III Etapa		Hoja: 2/4



FUNDACIÓN ECOSUR ECUADOR	"De desastre a dignidad"	Javier Alejandro Mejía Valladares	
	UBICACIÓN: Lotización María Luisa III Etapa		Hoja: 3/4



PLANILLA DE ACEROS

Mc	TIPO	Ø mm	No.	DIMENSIONES (m)					LONG. Desar. (m)	No. Var.	Observ.
				a	b	c	d	g			
MARCAS 100											
101		8	96	0.45	-	-	-	-	0.45	96	-
102		12	74	2.60	0.60	0.60	-	-	3.80	74	-
103	C	12	48	3.50	0.65	0.25	-	-	4.40	48	-
104	Estr	10	1586	0.12	0.12	0.07	-	-	0.62	1586	-
RESUMEN DE MATERIALES											
Ø (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
W (Kg/m)	0.395	0.617	0.888	1.208	1.578	1.998	2.466	2.984	3.853	4.834	6.313
L (m)	43.20	983.32	2352.00	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO (Kg)	17.06	606.70	2088.57	0	0	0	0	0	0	0	0
Wtot (Kg) =		2712.33									
HORMIGON f _c =		210 Kg/cm ²									