

**TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN
COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL DENOMINADA ANALISIS DE MUROS DE FACHADA TIPICA
EN CASA DE UN PISO**

JUAN MANUEL VELASCO FERNANDEZ

MATILDE FERNANDA VIDAL RUALES

Director:
ING. JUAN MANUEL MOSQUERA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
POPAYAN
2009

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

22 de Octubre de 2009

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por brindarnos la inteligencia, perseverancia y fuerza suficiente para terminar con éxito este proyecto, a nuestros padres por guiar nuestro camino y su total apoyo para conseguir la meta que nos propusimos y a nuestros hermanos y demás familiares por su apoyo incondicional, a nuestros profesores por transmitirnos su conocimiento, en especial al Ingeniero Juan Manuel Mosquera por su dedicación durante todo el proceso de trabajo para llegar con éxito a su finalización.

CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCION	10
2. MAMPOSTERIA	12
2.1. MATERIALES UTILIZADOS EN LA MAMPOSTERIA	14
3. SOLUCION ANALITICA	18
3.1. MODELO TEORICO MURO SIMPLE	24
4. ELEMENTO FINITO	26
5. FACHADAS ESTUDIADAS	30
6. PROCESO DE MODELACIONES	34
6.1. EL MODELO CON SAP	34
6.1.1. Características del modelo	35
6.1.2. Esfuerzos	36
7. APLICACIONES	37
7.1. MURO MACIZO	37
7.1.1. Deflexiones	37
7.1.2. Esfuerzos normales	38
7.1.3. Esfuerzos cortantes	41
7.2 MURO CONFINADO	41
7.2.1. Deflexiones	43
7.2.2. Esfuerzos normales	44
7.2.3. Esfuerzos cortantes	45
8. FACHADAS TIPICAS	50
8.1. PRIMERA FACHADA SIMPLE	50
8.1.1 Deflexiones	52
8.1.2. Esfuerzos normales	52
8.1.3 Esfuerzos cortantes	54
8.2. PRIMERA FACHADA CONFINADA	55
8.2.1. Esfuerzos normales	56
8.2.2. Esfuerzos cortantes	58

8.3	SEGUNDA FACHADA SIMPLE	60
8.3.1	Deflexiones	61
8.3.2.	Esfuerzos normales	62
8.3.3	Esfuerzos cortantes	63
8.4.	SEGUNDA FACHADA CONFINADA	64
8.4.1.	Esfuerzos normales	65
8.4.2.	Esfuerzos cortantes	66
8.5	TERCERA FACHADA SIMPLE	69
8.5.1	Deflexiones	70
8.5.2.	Esfuerzos normales	71
8.5.3	Esfuerzos cortantes	71
8.6.	TERCERA FACHADA CONFINADA	72
8.6.1.	Esfuerzos normales	73
8.6.2.	Esfuerzos cortantes	75
9.	OBSERVACIONES	78
10.	CONCLUSIONES	83
11.	BIBLIOGRAFIA	85

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 2. Esquema estructural de casa unifamiliar en mampostería confinada.	13
Figura 2.1. Representación del confinamiento inferior del muro (viga de cimentación).	14
Figura 2.2. Colocación del mortero de pega	15
Figura 3. Comportamiento a carga lateral	18
Figura 3.1. Comportamiento a cortante	19
Figura 3.2. Comportamiento a flexión	20
Figura 3.3. Medidas del muro macizo	24
Figura 3.4. Ubicación de momento	25
Figura 4.1. Elemento plano de 4 nodos	26
Figura 4.2. Elemento plano de tres nodos	27
Figura 4.3. Elemento membrana	27
Figura 4.4. Elemento plano	28
Figura 4.5. Elemento plano deformado por flexión	28
Figura 4.6. Representación malla con elementos Shell	28
Figura 5.1. Fotografías de diferentes tipos de fachadas	30
Figura 5.2. Fotografía primer tipo de fachada	31
Figura 5.3. Modelo esquemático primer tipo de fachada	31
Figura 5.4. Fotografía segundo tipo de fachada	32
Figura 5.5. Modelo esquemático segundo tipo de fachada	32
Figura 5.6. Fotografía tercer tipo de fachada	33
Figura 5.7. Modelo esquemático tercer tipo de fachada	33
Figura 6.1. Ventana del programa SAP.	34
Figura 6.2. Representación de distribución de cargas en la corona	36
Figura 6.3. Representación de los esfuerzos	36
Figura 7. Muro con carga lateral sin peso propio (σ_{22}).	39
Figura 7.1. Muro con carga lateral y peso propio (σ_{22})	40
Figura 7.2. Esfuerzos cortantes muro macizo (σ_{12}).	41
Figura 7.3. Representación confinamiento tipo 1(CT1) muro macizo	42
Figura 7.4. Representación confinamiento tipo 2 (CT2) muro macizo	43
Figura 7.5. Esfuerzos normales confinamiento (CT2) tipo 2 (σ_{22})	45

Figura 7.6. Esfuerzos cortantes confinamiento (CT2)) tipo 2 (σ_{12})	46
Figura 8. Modelo primera fachada simple	50
Figura 8.1. Esfuerzos normales (σ_{22}), primera fachada	53
Figura 8.2. Esfuerzos cortantes (σ_{12}), primera fachada	54
Figura 8.3. Representación confinamiento tipo 1 (CT1) para primera fachada	55
Figura 8.4. Representación confinamiento tipo 2 (CT2) para primera fachada	55
Figura 8.5. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 1(CT1), primera fachada	56
Figura 8.6. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 2 (CT2), primera fachada	57
Figura 8.7. Esfuerzos normales de tensión en la mampostería	57
Figura 8.8. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 1 (CT1), primera fachada	58
Figura 8.9. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 2 (CT2), primera fachada	58
Figura 8.10. Modelo segunda fachada simple	60
Figura 8.11. Esfuerzos normales (σ_{22}), segunda fachada	62
Figura 8.12. Esfuerzos cortantes (σ_{12}), segunda fachada	63
Figura 8.13. Representación confinamiento 1(CT1) para segunda fachada	64
Figura 8.14. Representación confinamiento 2 (CT2) para segunda fachada	64
Figura 8.15. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 1(CT1), segunda fachada	56
Figura 8.16. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 2 (CT2), segunda fachada	66
Figura 8.17. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 1 (CT1), segunda fachada	66
Figura 8.18. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 2 (CT2), segunda fachada	67
Figura 8.19. Modelo tercera fachada simple	69
Figura 8.20. Esfuerzos normales (σ_{22}), tercera fachada	71
Figura 8.21. Esfuerzos cortantes (σ_{12}), tercera fachada	72
Figura 8.22. Representación confinamiento tipo 1(CT1), tercera fachada	72
Figura 8.23. Representación confinamiento tipo 2 (CT2), tercera fachada	73
Figura 8.24. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo (CT1), fachada 3	73
Figura 8.25. Representación de un mal confinamiento	74
Figura 8.26. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 2(CT2), fachada 3	73
Figura 8.27. Representación de un confinamiento adecuado.	74
Figura 8.28. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 1(CT1), fachada 3	74
Figura 8.29. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 2(CT2), fachada 3	75

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 2. Posiciones de pegado del ladrillo.	17
Tabla 7. Comparación de los valores analíticos modelados con SAP.	49
Tabla 8. Rigidez de los muros desde la base hasta la corona de la primera fachada.	51
Tabla 8.1. Comparación entre la primera fachada simple y confinada.	59
Tabla 8.2. Comparación entre el muro solido simple y la primera fachada.	59
Tabla 8.3. Rigidez de los muros desde la base hasta la corona de la segunda fachada.	61
Tabla 8.4. Comparación entre la segunda fachada simple y confinada.	66
Tabla 8.5. Comparación entre el muro solido simple y la segunda fachada.	67
Tabla 8.6. Rigidez de los muros desde la base hasta la corona de la tercera fachada.	70
Tabla 8.7. Comparación entre la tercera fachada simple y confinada.	77
Tabla 8.8. Comparación entre el muro solido simple y la tercera fachada.	75
Tabla 9. Comparación entre deflexiones promedio analíticas y dadas por el SAP.	79
Tabla 9.1 Comparación de deflexiones dadas por el programa SAP de las fachadas simples y confinadas.	81
Tabla 9.2. Incremento de los esfuerzos normales máximos presentes en la mampostería respecto al muro solido simple	82
Tabla 9.3. Incremento de los esfuerzos cortantes máximos presentes en la mampostería respecto al muro solido simple	82

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 7. Deflexiones en la corona muro macizo sin confinar (SAP).	37
Gráfica 7.1. Comportamiento esfuerzo normal analítico en la base del muro	38
Gráfica 7.2 Comportamiento esfuerzo normal con SAP	39
Gráfica 7.3. Comparación deflexiones muro macizo (SAP)	44
Gráfica 7.4. Comparación esfuerzos en la corona del muro (SAP)	47
Gráfica 7.5. Comparación esfuerzo en la mitad de la altura del muro	48
Gráfica 7.6. Comparación esfuerzos en la base del muro	48
Gráfica 8. Deflexiones muro simple primera fachada	52
Gráfica 8.1 Deflexiones muro simple segunda fachada	62
Gráfica 8.3 Deflexiones muro simple tercera fachada	68
Grafica 9. Comparación deflexiones sin confinar fachadas estudiadas	76
Grafica 9.1 . Comparación deflexiones confinamiento 1 fachada estudiada	77
Grafica 9.2. Comparación deflexiones confinamiento 2 fachadas estudiadas	78

1. INTRODUCCION

El sistema estructural de muros se caracteriza por su gran rigidez, comparado con otros sistemas estructurales como el sistema de pórticos. El piso, que hace las veces de diafragma rígido, transmite al muro tanto las cargas verticales como las cargas horizontales, trasladadas a su vez a la cimentación.

Para las cargas horizontales, el muro se modela como un elemento en voladizo empotrado en su base, idealización que permite un análisis estructural simple. Las fuerzas horizontales generadas en el sismo, inducen en el muro esfuerzos de flexión y de cortante. La idealización planteada, permite valorar el desplazamiento de corona del muro integrando directamente estos esfuerzos. Esta consideración se puede plantear para muros de sección completa y de espesor constante. Las aberturas en un muro cambian la distribución de esfuerzos, no haciendo factible la integración directa. Hay que buscar por lo tanto otra forma de análisis para encontrar el desplazamiento y la distribución de esfuerzos. Como alternativa de análisis se tiene el Método de los Elementos Finitos (MEF), el cual transforma físicamente el medio continuo en un conjunto de elementos discretos (elementos finitos), y puede valorar condiciones de borde complejas, los esfuerzos y el valor de desplazamiento.

Cualquiera que sea el análisis estructural del muro, al determinar el desplazamiento de corona ante cargas horizontales, se puede obtener la rigidez, como la razón de la fuerza cortante al desplazamiento lateral relativo, siendo este el parámetro geométrico fundamental, con el cual se calcula el flujo de carga a cada muro.

La fachada es un elemento principal en las viviendas, la cual, por condiciones arquitectónicas se tiene un muro muy segmentado, por la puerta de ingreso y las ventanas para iluminación.

En este trabajo se estudiarán muros de mampostería para fachadas de un solo piso, con aberturas de puerta y ventana, cuya ubicación y tamaño, influyen en la rigidez y la distribución de esfuerzos en el muro.

El confinamiento para muros específicos de mampostería, representa las franjas de concreto reforzado, las cuales hacen que los esfuerzos recibidos anteriormente por el muro se repartan generando una nueva distribución en toda la cara.

Se realizará un estudio de muros de mampostería típicos de fachada, teniendo en cuenta: longitud, ancho y espesor del muro, características de los materiales presentes en la mampostería confinada y dimensiones de aberturas presentes, se evaluarán los muros de fachada más representativos de las urbanizaciones de la ciudad de Popayán.

2. MAMPOSTERIA

Esté sistema estructural esta relacionada con la construcción de muros en ladrillo, bloques de concreto, piedra, calados o en celosía, en los interiores o fachadas de edificaciones.

Según la NSR-98 (capitulo D.2.1) la clasificación de mampostería estructural reconoce los siguientes tipos de mampostería:

➤ **Mampostería de cavidad reforzada**

Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas ó no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico.

➤ **Mampostería reforzada**

Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero. Este sistema estructural se clasifica para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico cuando todas sus celdas se inyectan con mortero de relleno, y como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico, cuando solo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo.

➤ **Mampostería parcialmente reforzada**

Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico.

➤ **Mampostería no reforzada**

Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico.

➤ **Mampostería de muros confinados**

Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico.

Básicamente este tipo de mampostería será el objeto de nuestro estudio.

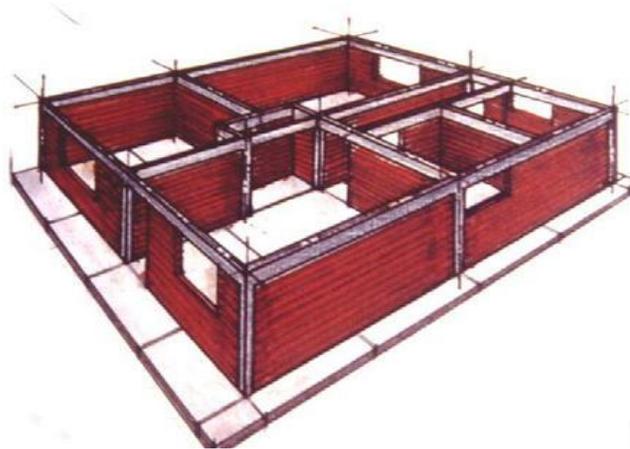


Figura 2 Esquema estructural de casa unifamiliar en mampostería confinada.

➤ **Mampostería de muros diafragma**

Se llaman muros diafragma de mampostería a aquellos muros colocados dentro de una estructura de pórticos, los cuales restringen su desplazamiento libre bajo cargas laterales. Este tipo de construcción no se permite para edificaciones nuevas y su empleo solo se permite para la adición, modificación o remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento, o de la evaluación de su vulnerabilidad sísmica.

2.1. MATERIALES UTILIZADOS EN LA MAMPOSTERIA.

CONCRETO REFORZADO

Es un material, que aprovecha en forma muy eficiente las características de buena resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y moldeabilidad del concreto, junto con las de alta resistencia en tensión y ductilidad del acero, para formar un material compuesto que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales componentes. Manejando de manera adecuada la posición y cuantía del refuerzo, se puede lograr un comportamiento notablemente dúctil en elementos sujetos a flexión. Las columnetas y viguetas de mampostería confinada se construirán en concreto reforzado.

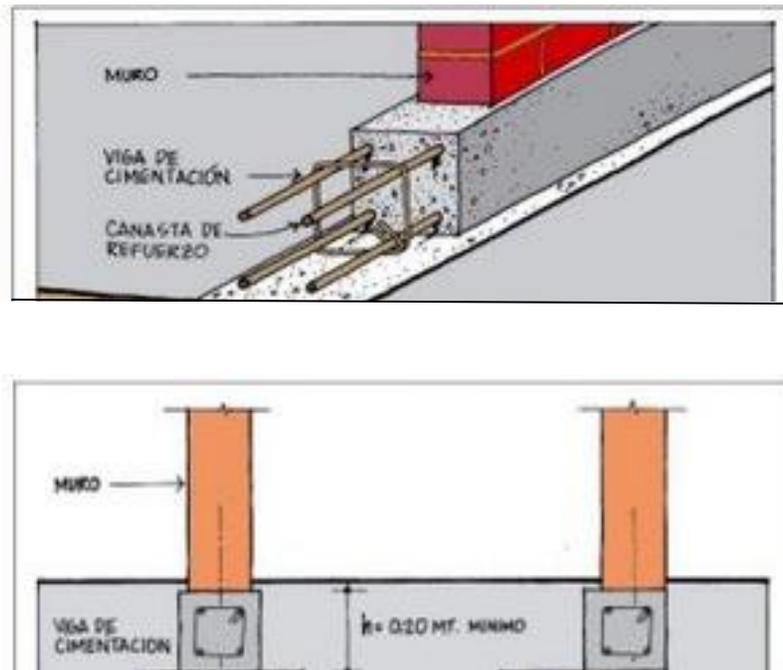


Figura 2.1. Representación del confinamiento inferior del muro (viga de cimentación)

MORTERO DE PEGA

Es una mezcla de cementos, arenas y aditivos, especialmente diseñado para su utilización en la unión de elementos constructivos en piezas de mampostería, ya sea estructural o no, de acuerdo a la norma NSR 98.

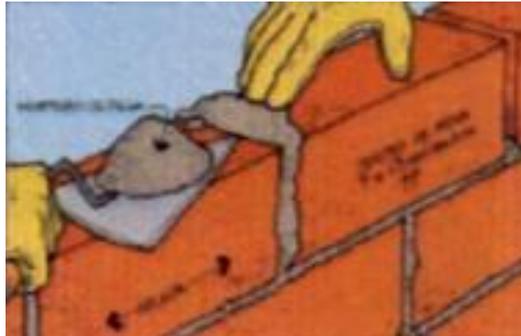


Figura 2.2. Colocación del mortero de pega

UNIDADES DE MAMPOSTERIA

Las unidades de mampostería que se utilicen en las construcciones de mampostería estructural pueden ser de concreto, cerámica (arcilla cocida), sílico-calcáreas o de piedra. Según el tipo de mampostería estructural y según el tipo de refuerzo, las unidades pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o sólidas, de acuerdo con la posición normal de la pieza en el muro. Las unidades sólidas son aquellas cuyas cavidades ocupan menos de un 25% del volumen de la pieza.

➤ Unidades especiales

Para la construcción de elementos de mampostería como muros, vigas, etc., Son indispensables unidades especiales, las cuales deben cumplir las especificaciones adoptadas por las unidades típicas del mismo material.

➤ **Unidades de mampostería de perforación vertical**

Las unidades de mampostería de perforación vertical (bloque) se pueden utilizar en las construcciones de mampostería estructural de todos los tipos clasificados según la NSR 98 (D.2.1). Pueden ser de concreto, arcilla o silico-calcáreas.

➤ **Unidades de perforación horizontal**

Las unidades de mampostería de perforación horizontal (bloque) solo se puede utilizar en los siguientes tipos de estructuras de mampostería clasificados en D.2.1: mampostería de muros confinados y mampostería de cavidad reforzada. También se pueden usar combinadas con unidades de perforación vertical, en edificaciones de uno y dos pisos del grupo de uso I para mampostería no reforzada y para mampostería parcialmente reforzada.

➤ **Unidades macizas de mampostería**

Las unidades macizas de mampostería (tolete) solo se pueden utilizar en los siguientes tipos de estructuras de mampostería clasificados en D.2.1: mampostería de muros confinados y mampostería de cavidad reforzada. También se pueden utilizar, combinadas con unidades de perforación vertical para mampostería parcialmente reforzada.

Resistencias típicas del ladrillo

Las siguientes son resistencias a la compresión de ladrillos prensados producidos en fábricas

- Ladrillos normales: 250 kg/cm^2 , promedio aproximado.
- Ladrillos de resistencia alta: 280 a 350 kg/cm^2

En nuestro medio generalmente no se utilizan ladrillos producidos en fábricas sino ladrillo artesanal, el cual se dice que es de muy baja resistencia aproximadamente 150 Kg/cm^2 .

Posiciones de pegado del ladrillo

Para pega de mampostería con ladrillo cerámico macizo con unas dimensiones aproximadas de 7 x 15 x 22cm, se tienen las siguientes dimensiones respectivas, del espesor que se quiera obtener.

	Largo (x) (cm)	Alto (Y) (cm)	Espesor (Z) (cm)
Tizón	15	7	22
Soga	22	7	15
Papelillo	22	15	7

Tabla 2. Posiciones de pegado del ladrillo

Para efectos de la investigación el muro se modelará con un ladrillo de 15cm en soga.

3. SOLUCIÓN ANALÍTICA

Históricamente el comportamiento del muro, ha sido idealizado analíticamente como una estructura en voladizo empotrado en su base, modelo que permite valorar el desplazamiento del muro ante cargas horizontales.

Las fuerzas horizontales, generan cortantes y momentos, efectos que pueden estudiarse independientemente, considerando las propiedades geométricas del muro, (longitud, altura y espesor), y las propiedades del material a través de sus constantes elásticas (modulo de elasticidad, modulo de cortante y relación de poisson). Los resultados de cada efecto se pueden superponer, considerando un análisis lineal, así se evalúa el efecto a flexión, luego el efecto a cortante, y finalmente se superponen estos dos efectos.

COMPORTAMIENTO DEL MURO A CARGA LATERAL

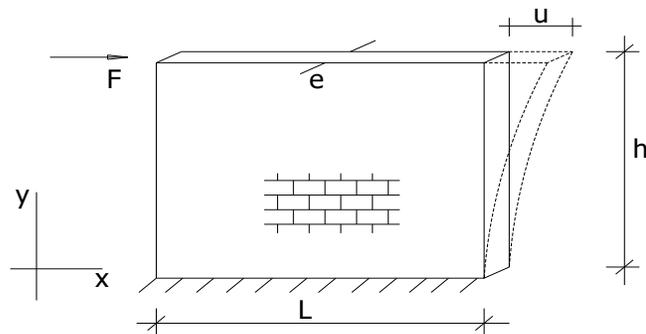


Figura 3. Comportamiento a carga lateral

Muro de 1 piso

Longitud = L

Altura = H

Espesor = e

Fuerza lateral = F

Desplazamiento lateral de corona = μ

$\mu = \mu_c + \mu_f$ = el desplazamiento superior o de corona del muro se debe a los efectos de la fuerza cortante y del momento flector.

COMPORTAMIENTO A CORTANTE

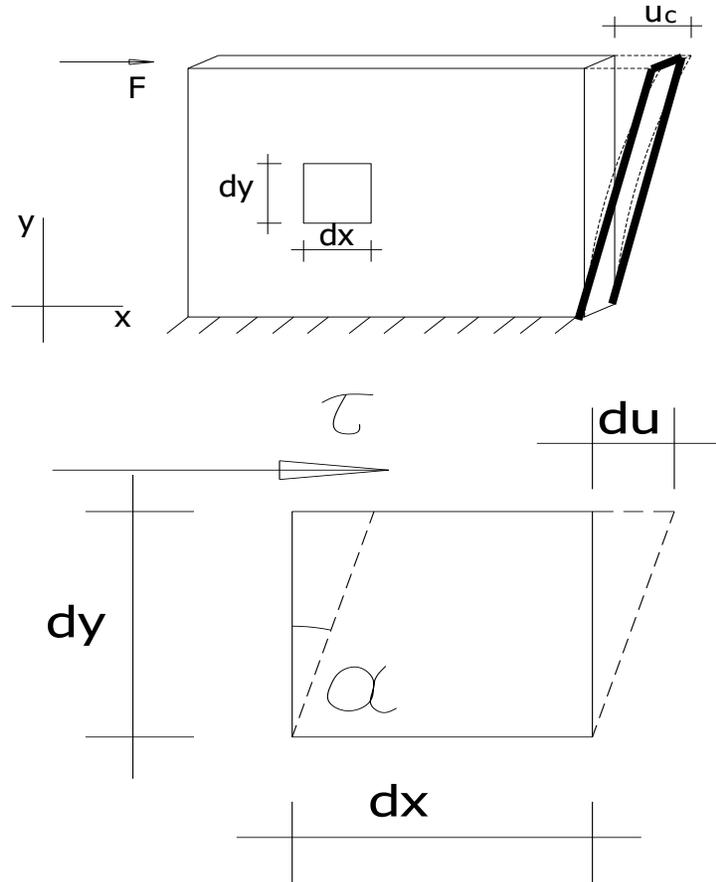


Figura 3.1. Comportamiento a cortante

α = deformación cortante, la cual para ángulos pequeños

$$\tan \alpha = \text{sen } \alpha = \alpha = \frac{du}{dy}$$

De la formulación de la ley de Hooke se tiene que:

$$\alpha = \frac{du}{dy} = \frac{\tau}{G}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante

G : el módulo elástico de cortante.

Este esfuerzo expresado en términos del esfuerzo promedio, por un factor de forma β , que para el muro (sección rectangular) es de 1.2

$$\tau = \hat{\tau} \beta = \frac{F \beta}{A}$$

Así:

$$\alpha = \frac{du}{dy} = \frac{\tau}{G} = \frac{\hat{\tau} \beta}{G} = \frac{F \beta}{GA} \quad \rightarrow \quad \frac{du}{dy} = \frac{F \beta}{GA}$$

La integración de esta ecuación diferencial e imponiendo la condición de frontera $U_{(y=0)} = 0$

$u = \frac{\beta y F}{GA}$; Para la cual el desplazamiento en la corona del muro por la acción de la fuerza cortante, haciendo uso de la transformación de módulo ($G=0.4E$)

Se tiene:

$$uc = \frac{3}{E * e} * \frac{h}{L} * F$$

COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN

El momento al que está sometido el muro expresado con respecto a la coordenada y que nace en la base

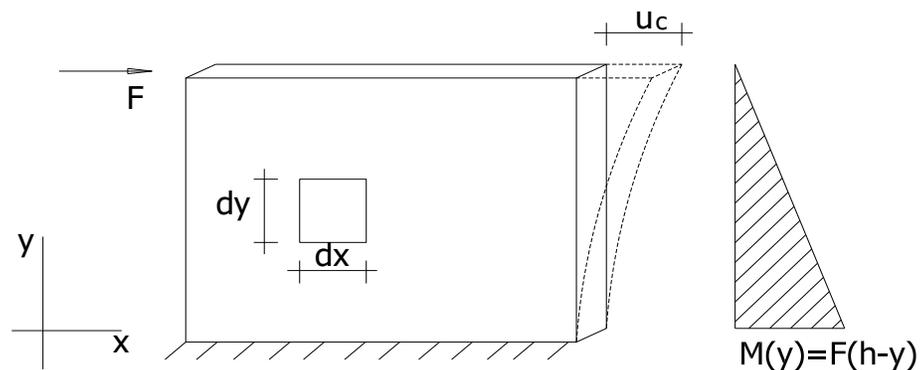


Figura 3.2. Comportamiento a flexión

$$\text{curvatura} = \frac{1}{\delta} = \frac{M(y)}{E * I}$$

$$\frac{d^2u}{dy^2} = \frac{F(h - y)}{E * I}$$

Ecuación diferencial del muro para flexión

$$\frac{du}{dy} = \frac{Fhy - \frac{fhy^2}{2}}{E * I} + c1$$

$$u = \frac{\frac{fhy^2}{2} - \frac{fy^3}{2}}{E * I} + c1 * y + c2$$

Por lo tanto:

$$u = \frac{F}{2E * I} \left(hy^2 - \frac{y^3}{3} \right)$$

Condiciones de borde

$$y = 0$$

$$u = 0 ; \frac{du}{dy} = 0$$

$$c2 = 0 \quad c1 = 0$$

$$uf = uy = h \Rightarrow$$

$$uf = \frac{F}{2E * I} * \left(h^3 - \frac{h^3}{3} \right) = \frac{F}{3E * I} * h^3$$

$$I = \left(\frac{1}{12} \right) (c * L^3) \Rightarrow$$

$$\frac{4h^3F}{E * e * L^3} = \frac{4}{E * e} * \left(\frac{h}{L} \right)^3 * F$$

DESPLAZAMIENTO DE CORONA

Si $m(x) = v(h-y)$

$$\frac{du}{dy} = vhy - \frac{vy^2}{2} + c1$$

$$du = \frac{vhy^2}{2} - \frac{vy^3}{6} + c1 * y + c2$$

$u = 0$ cuando $y = 0$ $c1 = 0$

$\left(\frac{du}{dy}\right) = 0$ cuando $y = 0$

$$\frac{du}{dy} = vhy - \frac{vy^2}{2} + c1 \quad c1 = 0$$

$$u = \frac{v}{2E * I} \left(h^3 - \frac{h^3}{3} \right) = \frac{vh^3}{3E * I} \rightarrow uf = \frac{vh^3}{3E * \frac{1}{2} * eh^3}$$

$$uf = \frac{4v}{E * e} (h/L)^3$$

$$u_{\tau} = uf + uc = \left[\left(\frac{3}{E * e} \right) * \left(\frac{h}{L} \right) + \left(\frac{4}{E * e} \right) * \left(\frac{h}{L} \right)^3 \right] * v$$

La rigidez a flexión + cortante

$$v = \frac{E * e}{3 \frac{h}{L} + 4 \left(\frac{h}{L} \right)^3} * u$$

Con lo que al final se puede encontrar una expresión para la rigidez del muro dada por:

$$K = \frac{E * e}{3 \frac{h}{L} + 4 \left(\frac{h}{L}\right)^3}$$

E= Módulo de elasticidad

e=espesor del muro

h=Altura del muro

L=longitud del muro

Esta expresión, que se obtiene de manera analítica, es aplicable a un muro de sección completa, sin ningún tipo de orificio y sin confinamiento.

3.1 MODELO TEORICO MURO SIMPLE

Son las deflexiones, esfuerzos cortantes y de flexión analíticos, que servirán como punto de partida y referencia para evaluar los resultados de las modelaciones realizadas en el programa de elementos finitos SAP.

Para los siguientes cálculos es necesario conocer las dimensiones de muro con que se van a trabajar y se tiene la siguiente configuración:

La fachada de las urbanizaciones estudiadas tienen aproximadamente 7m de largo, 2.75 de altura y 0.15m de espesor, como se muestra en la siguiente figura, lo cual generaría un muro macizo como elemento virtual de comparación y serán las dimensiones estándar que manejaran todos los muros que se modelaran, con objeto de apreciar los posibles cambios que pueda tener el muro de fachada al cambiar su configuración geométrica.

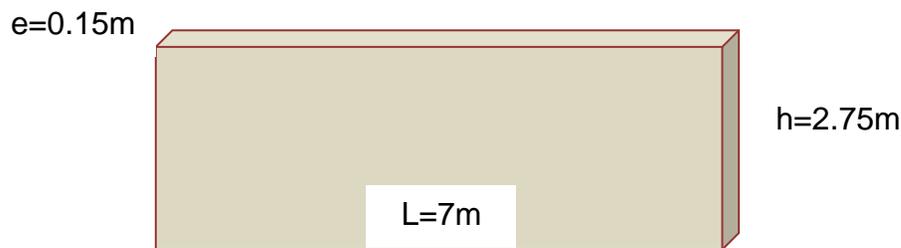


Figura 3.3 Medidas del muro macizo

Cálculo del desplazamiento relativo

$$\delta = \frac{\text{Carga lateral}}{\text{Rigidez}}$$

➤ Rigidez (K)

$$K = \frac{E * e}{3 \frac{h}{L} + 4 \left(\frac{h}{L}\right)^3}$$

$$K = \frac{4000000 * 0.15}{3 \left(\frac{2.75}{7}\right) + 4 \left(\frac{2.75}{7}\right)^3} = 422208 \text{KN/m}$$

- Carga lateral = 100KN (asumida)

Por tanto:

$$\delta = \frac{100KN}{422208KN/m} = 2.37 * 10^{-4}m$$

Adicionalmente se calcula el esfuerzo de la flexión de tensión en la izquierda y de compresión en la derecha.

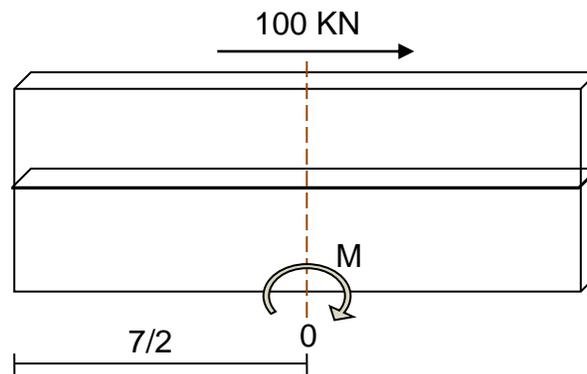


Figura 3.4. Ubicación de momento

$$\sigma = \frac{MY}{I}$$

$$M = 100 * 2.75 = 275KN * m$$

$$Y = 3.5m$$

$$I = (1/12) * (0.15 * 7^3) = 4.2875m^4$$

$$\sigma = \frac{275 * 3.5}{4.2875} = 224.5KN/m^2$$

El esfuerzo cortante máximo en la sección localizada en la mitad es de:

$$\tau = \hat{t}\beta = \frac{F\beta}{A} = \frac{100 * 1.2}{(7 * 0.15)} = 114.29KN/m^2$$

4. ELEMENTO FINITO

Otra posibilidad de análisis para poder determinar el desplazamiento y la rigidez del muro, ante una carga horizontal es el método de los elementos finitos (MEF). En este, se divide el muro en una malla de elementos, unidos en sus nudos transformándose matemáticamente el problema a un sistema de ecuaciones simultáneas. Cada elemento tiene sus propiedades determinadas por la geometría del mismo y los grados de libertad estipulados. Con base en estas propiedades, se determina el comportamiento global del muro, como la suma de este conjunto de elementos. La transformación matemática implica el manejo de una gran cantidad de números, que generarían un trabajo desmedido y de gran complejidad para resolverlo manualmente. Por lo tanto es indispensable recurrir a códigos de computación para resolver el problema. Actualmente, en el mercado existen muchos códigos que trabajan con el MEF. Uno de estos, y con los cuales se van a hacer los análisis en este trabajo, es el SAP, programa de una gran versatilidad que permite el análisis de diversas estructuras. La Universidad del Cauca cuenta con el programa MEF desarrollado en el Departamento de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil, programa con el cual también se comprobó la veracidad de los resultados.

Para modelar el muro es común utilizar elementos cuadriláteros de 3 grados de libertad por nudo. El elemento plano se puede utilizar para modelar muros, placas, y vigas de gran altura, entre otros.

Su geometría se puede considerar como sigue:

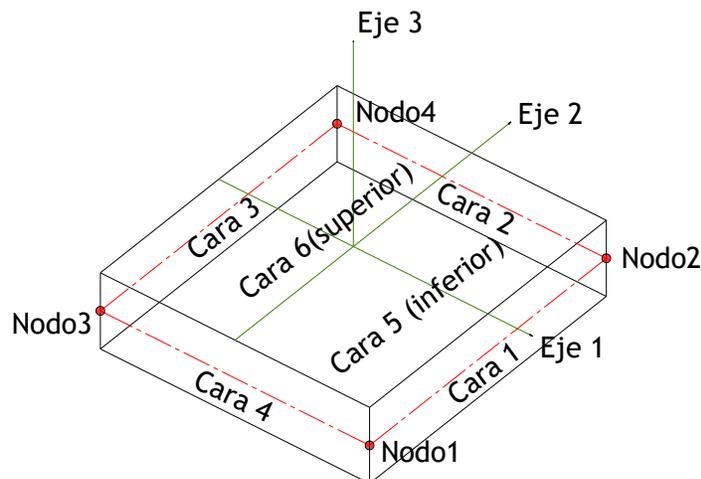


Figura 4.1. Elemento plano de 4 nodos

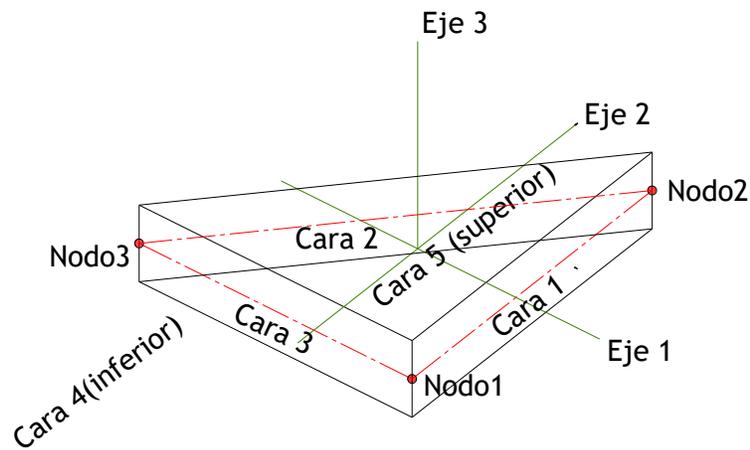


Figura 4.2. Elemento plano de 3 nodos

Podemos generar elementos planos de 4 nodos o de 3 nodos. El elemento plano tiene las siguientes clases:

ELEMENTO MEMBRANA

Permite deformaciones axiales y rotación alrededor del eje local 3.

Se utiliza para modelar muros de cortante.

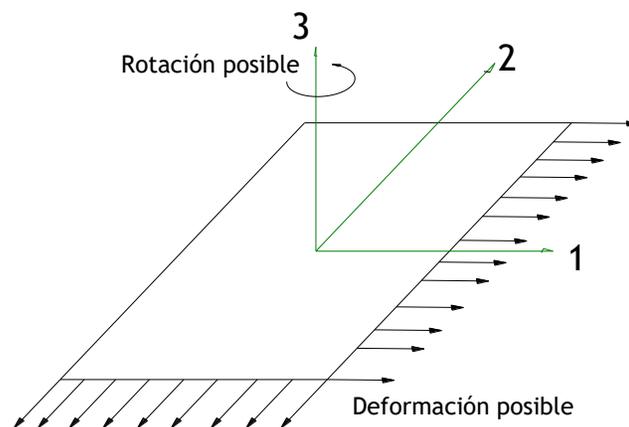


Figura 4.3. Elemento membrana

ELEMENTO PLANO:

Permite deformaciones en el eje 3 solamente y rotación en los ejes locales 1 y 2.

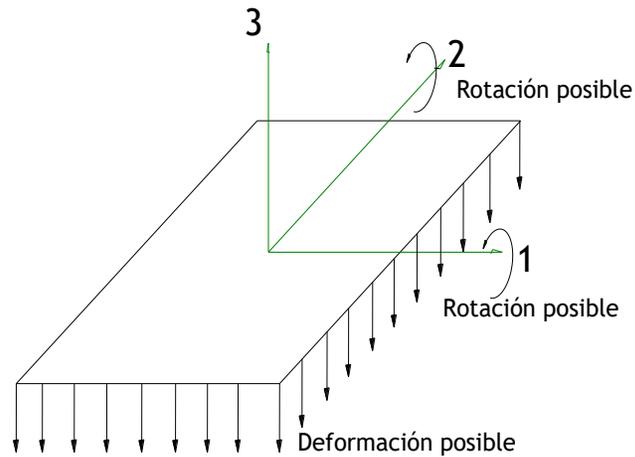


Figura 4.4. Elemento plano

Se utiliza para modelar placas de entrepiso las cuales están sujetas a deformaciones por flexión.

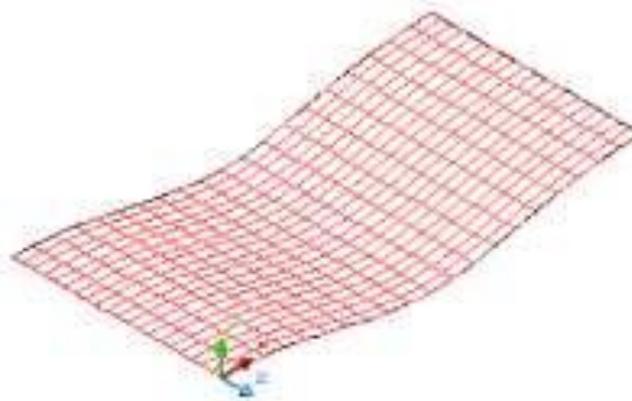


Figura 4.5. Elemento plano deformado por flexión

ELEMENTO SHELL

Es la combinación de los elementos anteriormente descritos, es decir permite rotaciones y desplazamientos alrededor de todos los ejes locales del elemento.

El programa SAP permite con gran facilidad ingresar módulos de elasticidad, cargas y condiciones de apoyo, así como modificar la conformación geométrica del muro.

Para este trabajo se utilizará el elemento Shell. Por medio del programa SAP se realizó una malla de $7 * 2.75$ con tamaño de los elementos Shell de $0.25 * 0.25$ m, cuyo espesor es igual al del muro de 0.15 m y servirá para la modelación de las estructuras, permitiendo incluir propiedades de los materiales y cargas.

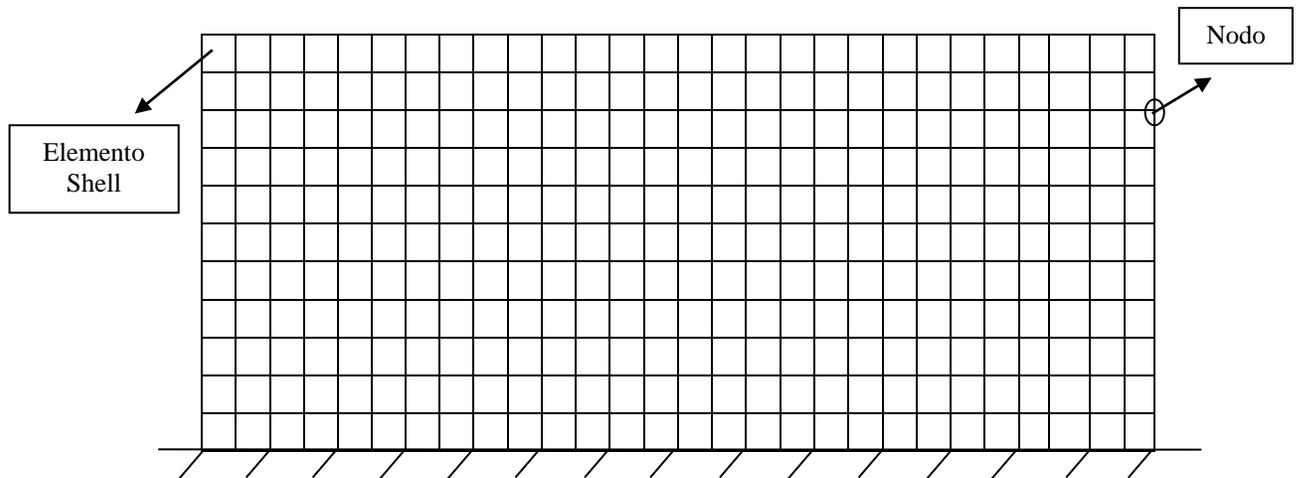


Figura 4.6. Representación de la malla con elementos Shell

La solución analítica planteada anteriormente es factible cuando el muro se modela como un elemento continuo con las mismas propiedades, pero en la medida que tengamos dos materiales trabajando simultáneamente o que sobre el muro existan orificios, el análisis se hace enormemente complejo.

5. FACHADAS ESTUDIADAS

Se realizo un recorrido por algunas urbanizaciones de la ciudad de Popayán en viviendas de un piso cuyas fotografías acompañamos y se escogieron las tres fachadas más representativas, con las cuales se acompañara el estudio.



Figura 5.1. Fotografías de diferentes tipos de fachadas

Después de tener el muestreo completo se eligen los tres tipos de fachada más representativos. La siguiente figura presenta la primera fachada, utilizada en mayor número en la ciudad de Popayán, encontrándose con frecuencia en el sur y oriente. Sus dimensiones promedio se presentan a continuación:

Fachada: longitud=7.00m alto=2.75m Espesor=0.15m
Puerta: ancho = 1.00m alto=2.00m
Ventanas: ancho =1.75m alto=1.25m



Figura 5.2. Fotografía primer tipo de fachada

Cuyo modelo esquemático se presenta a continuación:

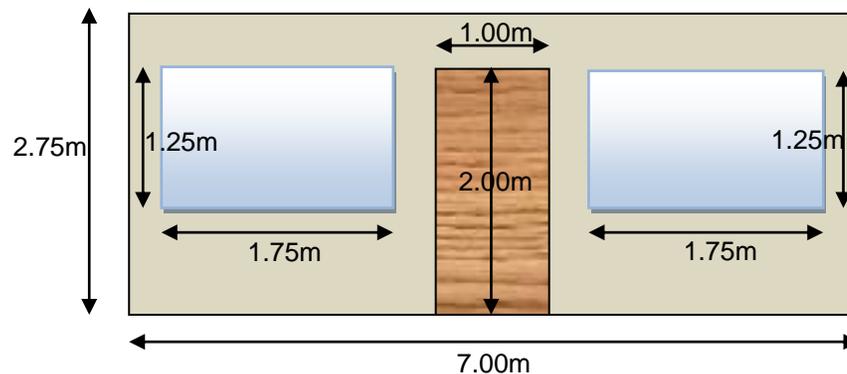


Figura 5.3. Modelo esquemático primer tipo de fachada

El segundo tipo de fachada es frecuente en el norte de la ciudad, se encuentran generalmente cuando los habitantes tienen la doble necesidad de utilizarla como puerta de ingreso o para garaje de vehículos, cuyas medidas promedio son:

Fachada: longitud=7.00m alto=2.75m Espesor=0.15m
Puerta: ancho = 3.00m alto=2.00m
Ventana: ancho =1.75 m alto=1.25m



Figura 5.4. Fotografía segundo tipo de fachada

Cuyo modelo esquemático se presenta a continuación

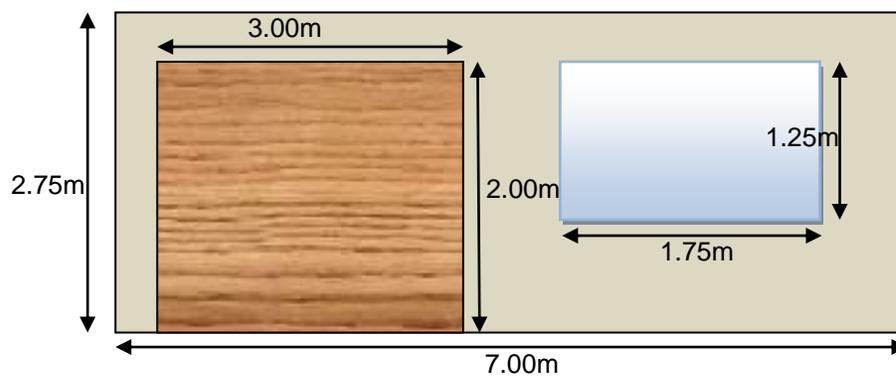


Figura 5.5. Modelo esquemático segundo tipo de fachada

El tercer tipo de fachada se encontró en un número menor a las anteriores, sin embargo se consideró representativa, ya que se encuentra en diferentes sitios de la ciudad. Tiene como peculiaridad la ubicación de la puerta, la cual esta a un lado y las dimensiones de las aberturas por puerta y ventanas se consideraron iguales al primer tipo de fachada.

Fachada: Longitud=7.00m alto=2.75m Espesor=0.15m
Puerta: ancho = 1.00m alto=2.00m
Ventanas: ancho = 1.75m alto=1.25m



Figura 5.6. Fotografía tercer tipo de fachada

Cuyo modelo esquemático se presenta a continuación

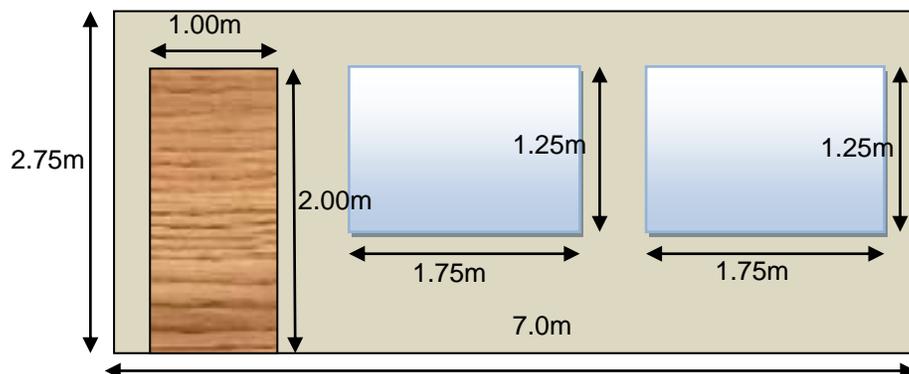


Figura 5.7. Modelo esquemático tercer tipo de fachada

6. PROCESO DE MODELACIONES

6.1 EL MODELO CON SAP

La modelación de los muros se realizó en el programa SAP. Los pasos a seguir en la modelación son:

- Se escoge el tipo de estructura a modelar, la cual para la investigación es *Sea Wall* en donde se definirá las dimensiones y el número de elementos Shell.
- Se definen las unidades a trabajar, los materiales y sus características, el tipo de carga y magnitud.
- Sobre la malla de elementos Shell se asigna el tipo de sección y el material que la compone según la necesidad del diseñador,
- Finalmente se realiza la distribución de la fuerza lateral en todos los nudos de la corona en la malla y se procede a correr el programa.

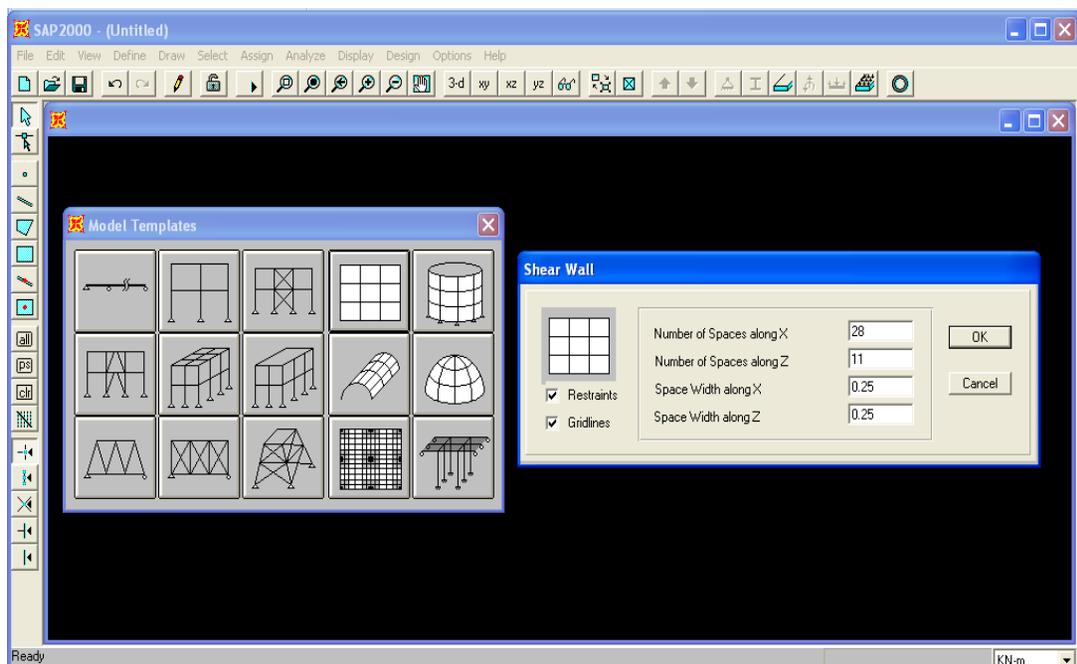


Figura 6.1. Ventana de tipo de malla del programa SAP

6.1.1 Características del modelo

- Modulo de elasticidad del concreto (E_c)= $1.8 \cdot 10^7 \text{KN/m}^2$
- Modulo de elasticidad de la mampostería (E_m)= $0.4 \cdot 10^7 \text{KN/m}^2$
- Relación de poisson= 0.25
- Peso especifico= 18KN/m^3
- Carga lateral 100KN

Por la manera como trabaja el método de los elementos finitos, se podría pensar que los resultados arrojados por esta modelación, son los mas exactos posibles, sin embargo, se debe calibrar el modelo y comprobar la validez de los resultados. El modelo de elementos finitos es sensible a:

1. Posición y número de cargas que deforman el muro.
2. Número de elementos finitos en que se divide el muro.

La forma como se aplica la carga horizontal al muro y el número de cargas sobre los nudos superiores del muro, influye en los resultados del desplazamiento del mismo. Siempre mejor, generar una distribución uniforme de estas cargas sobre el mayor número de nudos posibles, ya que los desplazamientos tienden a un valor uniforme que si considera la carga en un solo nudo, valor que debe coincidir con el resultado de la aplicación del método analítico, además las cargas concentradas generan, como es lógico, concentración de esfuerzos que a su vez nos darán desplazamientos mayores en la vecindad de la carga. Para estudiar el efecto de los desplazamientos en la corona, se aplicó la carga de 100KN distribuida en todos los nudos de la corona del muro.

Para el análisis del muro por el método de elementos finitos, la mejor condición de carga es distribuirla en los nudos superiores del muro e interpretar el desplazamiento superior de corona como el promedio de los desplazamientos de todos los nudos.

Continuando con el proceso de calibración, se considera el tamaño de la malla para realizar el análisis, teniendo presente que entre más elementos Shell contenga la malla, más preciso puede llegar a ser la solución. Es por ello que se trabajará con 308 elementos Shell. Suficientes para obtener resultados apropiados. Se mantuvo a su vez elementos de configuración cuadrada. Como se muestra en la siguiente figura.

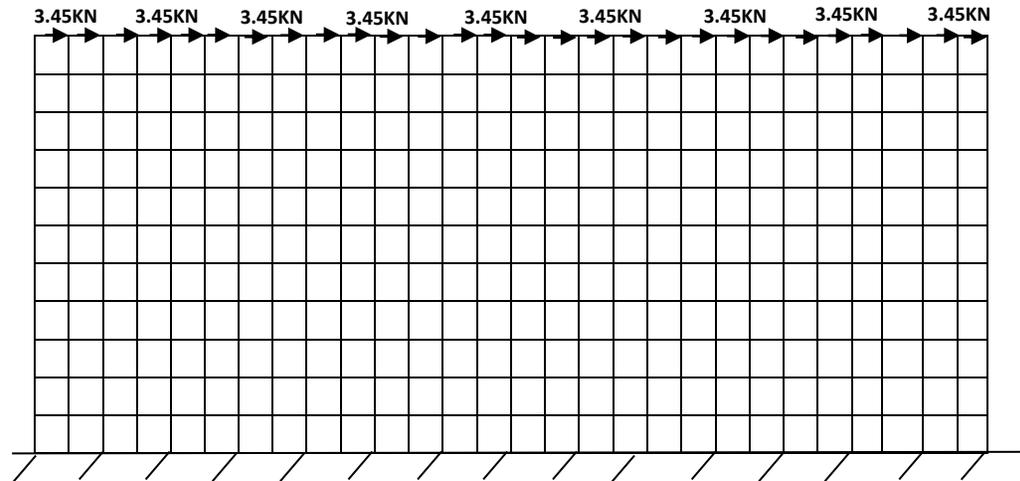
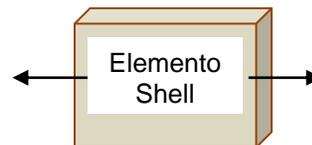


Figura 6.2. Representación de distribución de cargas en la corona del muro

6.1.2 Esfuerzos

Esfuerzos normales σ_{22}



Esfuerzos cortantes σ_{12}

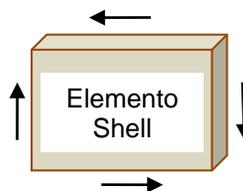


Figura 6.3. Representación de los esfuerzos

Para el análisis de los resultados arrojados por el programa SAP se tendrán en cuenta los esfuerzos de tensión y compresión, **pero se analizarán en detalle las tensiones**, ya que por influencia de este esfuerzo se inducen fisuras en los muros.

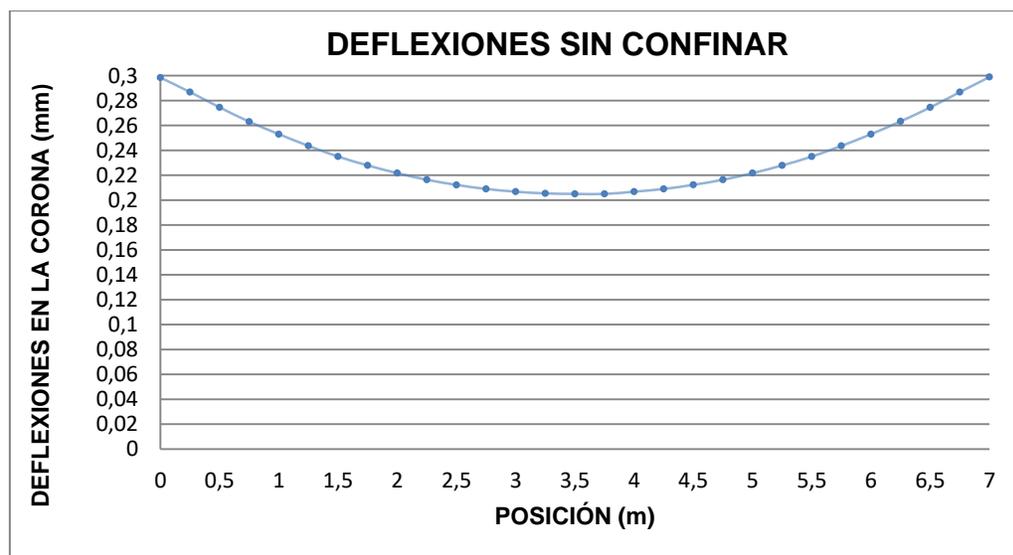
7. APLICACIONES

7.1 MURO MACIZO

Para poder realizar la parte analítica el muro no debe tener aberturas y debe ser de un solo material, en este caso de arcilla cocida. Este servirá como patrón de referencia y comparación para el análisis de los muros modelados por el programa SAP, cuya configuración consiste en un muro macizo de longitud de 7m, ancho de 2.75m y espesor de 0.15m. La malla se configuró con 308 elementos de $0.25 \times 0.25\text{m}$, horizontalmente tiene 11 filas de 28 elementos y verticalmente 28 columnas de 11 elementos. Los valores de referencia son los analíticos, es decir; $K=422208\text{KN/m}$, $\delta=0.237\text{mm}$, $\sigma=224.5\text{KN/m}^2$ y $\mathcal{T}=114\text{KN/m}^2$. Este es el punto de partida, donde se evalúan las deflexiones, esfuerzos cortantes y esfuerzos de flexión del muro solido, para posteriormente compararlos con los muros afectados por aberturas, condición presente en las fachadas.

7.1.1 Deflexiones

EL desplazamiento analítico calculado anteriormente (0.237mm) se comparará con el desplazamiento dado por el programa SAP. Solo para el muro macizo sin confinar ya que es el único que cumple las condiciones necesarias como; tener la sección completa y ser de un solo material.

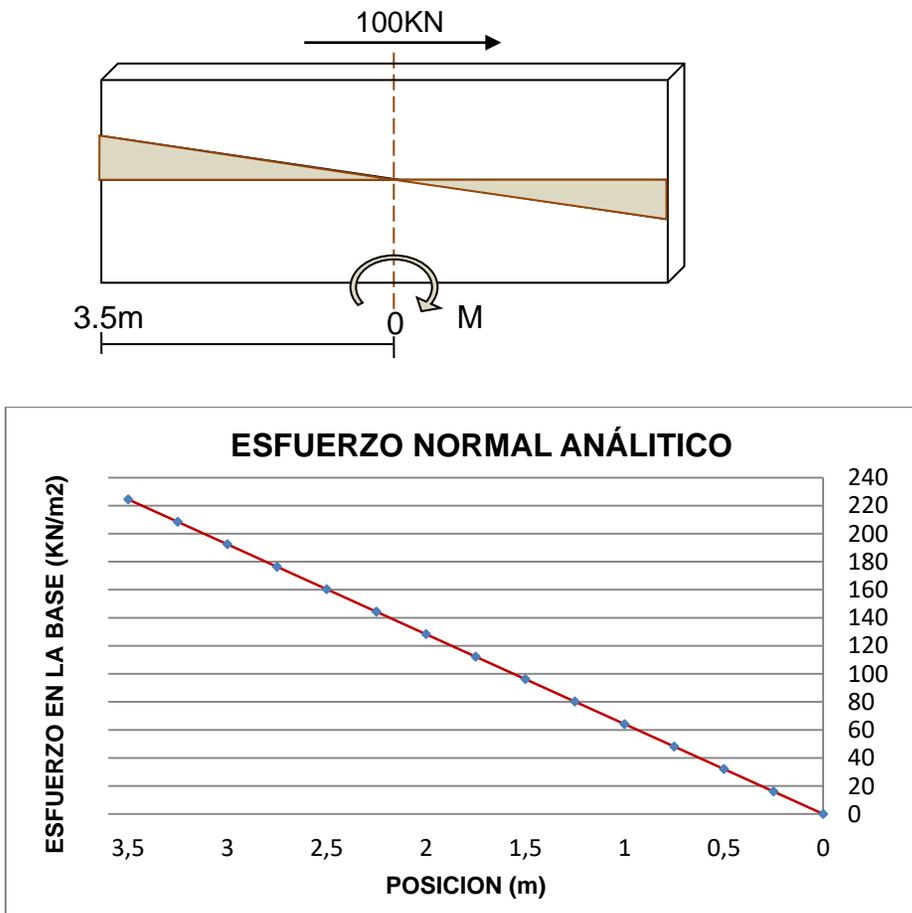


Grafica 7. Deflexiones en la corona muro macizo sin confinar (SAP)

Las deflexiones en la corona para el muro sólido oscilan entre 0.2mm y 0.3mm, presentando la máxima deflexión en los extremos de valor 0.298mm y la menor en el centro del muro cuyo valor es 0.205mm. En promedio se tiene una deflexión de 0.247mm y es aproximadamente igual al desplazamiento analítico, por lo cual son confiables los resultados proporcionados por el programa.

7.1.2 Esfuerzos normales

Los esfuerzos normales calculados analíticamente tienen una distribución lineal como se aprecia en la grafica 7.1, estos valores de esfuerzos inician de 0 en el centro del muro y van creciendo hacia el extremo izquierdo (3.5m)



Gráfica 7.1. Comportamiento esfuerzo normal analítico en la base del muro (SAP)

A diferencia de los esfuerzos calculados analíticamente, los esfuerzos dados por el programa SAP no tienen variación lineal, esto se puede apreciar en la figura 7 donde los mayores esfuerzos de tensión se concentran en el lado izquierdo en los primero cuatro elementos y en los siguientes diez elementos los esfuerzos son menores de 100KN/m². Los resultados analíticos considerando distribución lineal de esfuerzos deben compararse con el promedio por columna de elementos ya que es así como trabaja el modelo analítico.

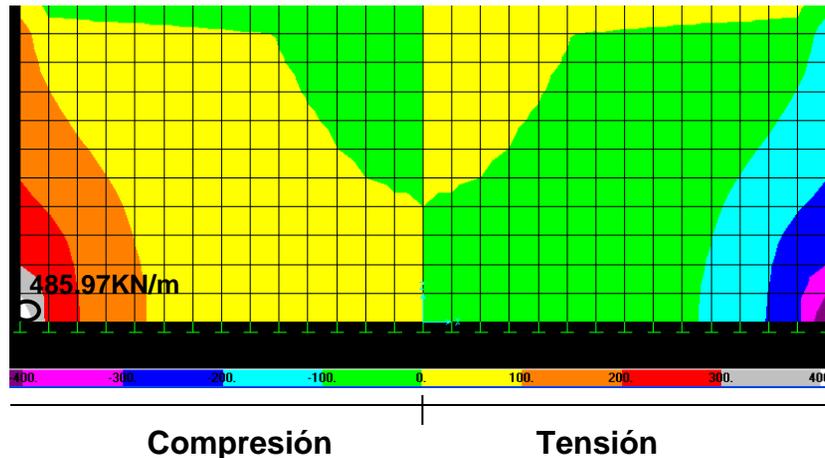
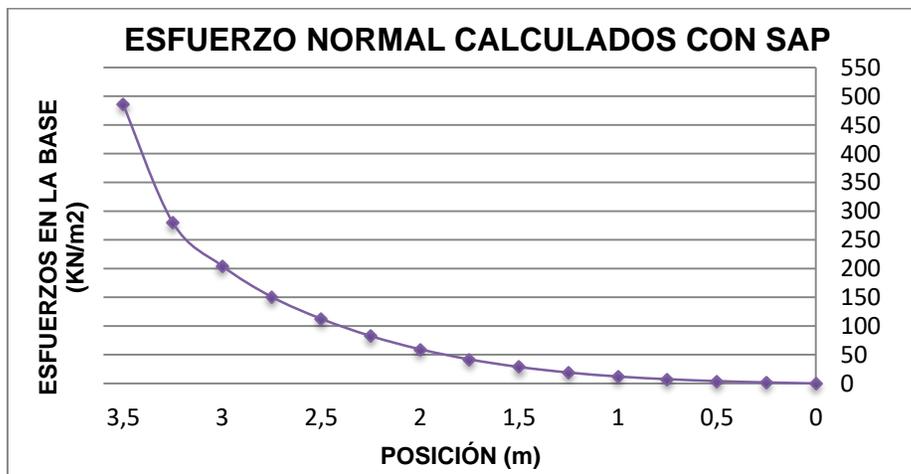


Figura 7. Muro con carga lateral sin peso propio (σ_{22})

En la siguiente gráfica se aprecia en mayor detalle el comportamiento de los esfuerzos, según el programa SAP desde el centro del muro hasta el extremo del lado izquierdo, donde los esfuerzos crecen lentamente hasta la posición de 2m y a partir de este punto hasta el extremo hay un crecimiento significativo.



Gráfica 7.2 Comportamiento esfuerzo normal con SAP

El esfuerzo normal calculado analíticamente en la sección localizada en la mitad de la altura del muro es de valor 225KN/m^2 , el cual es semejante al valor medio dado por el programa SAP de valor 229KN/m^2 . Sin embargo interesan los esfuerzos máximos es decir 486KN/m^2 , el cual es dos veces más grande del analítico.

Si el análisis se hace incluyendo peso propio cuyo resultado se presenta en la figura 7.1 este ayudará a controlar las tensiones presentes en el muro compensándolos con las compresiones generadas por el peso, por lo cual se hace más crítico cuando este se desprecia figura 7. Es por ello que en las evaluaciones futuras no se tendrá en cuenta dicho peso. Para estudio se someterán los muros en las condiciones anteriormente mencionadas. Si se comparan estas dos figuras se observa que en el muro en el que se tuvo en cuenta el peso propio los esfuerzos son menores debido a que este ayuda como reductor de tensiones, por el contrario las compresiones presentes en el muro aumentaron en el elemento donde se tuvo en cuenta el peso propio ya que la mayor parte de las fibras a tensión ocupan mayor área, debido a que se interponen los efectos de compresión por momento y peso propio. Un ejemplo claro de esto se aprecia en la esquina inferior del lado izquierdo donde la tensión es mayor en el muro sin peso propio y seguramente es donde puede iniciarse la falla.

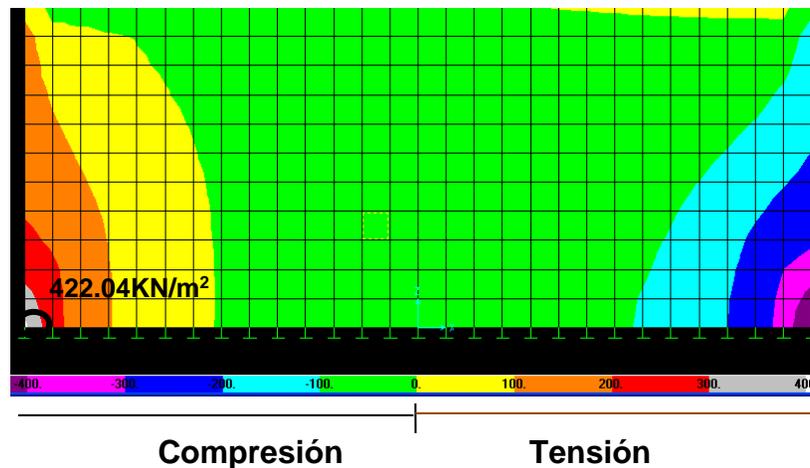


Figura 7.1. Muro con carga lateral y peso propio (σ_{22})

Las siguientes modelaciones se trabajaran despreciando el peso propio por las razones explicadas anteriormente

7.1.3 Esfuerzos cortantes

El máximo esfuerzo cortante se encuentra en el centro en la parte inferior del muro de valor 132KN/m^2 y las áreas de mayor concentración de esfuerzos cortantes se presentan desde el centro y van disminuyendo paulatinamente hacia los extremos. El esfuerzo cortante en el medio analíticamente tiene una magnitud de 114KN/m^2 y el esfuerzo promedio arrojado por el programa es de 116KN/m^2 , valores cercanos ya que las condiciones de análisis son las mismas.

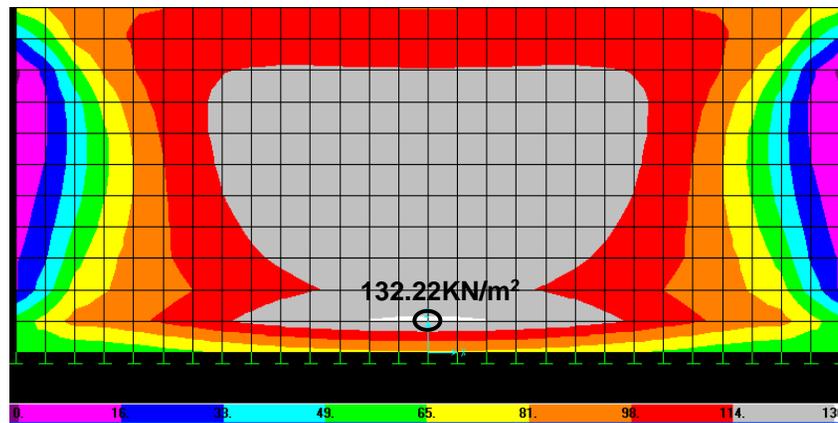


Figura 7.2. Esfuerzos cortantes muro macizo (σ_{12}).

7.2 MURO CONFINADO

La segunda aplicación evalúa un muro de longitud 7m y alto 2.75m, donde estará presente una franja de concreto reforzado que hace las veces de confinamiento, con dimensiones: ancho de 0.25m y espesor 0.15m, con modulo de elasticidad del concreto $1.8 \cdot 10^7\text{KN/m}^2$ y relación de poisson de 0.25.

Se denomina confinamiento a las viguetas y columnetas dispuestas de tal manera que rodeen el muro para que trabajen como una sola unidad.

Las columnetas son elementos verticales de confinamiento y se construyen en concreto reforzado, generalmente se colocan en los extremos de muros estructurales, en la intersección con otros muros y en sitios intermedios a distancias no mayores de 35 veces el espesor del muro confinado, 1.5 veces la distancia vertical, o a 4m. En el caso particular se requeriría columneta de confinamiento en la mitad ya que supera los valores de longitud libre de muro de mampostería estipulado por la NSR-98

Las viguetas de confinamiento son elementos de concreto reforzado que se colocan en forma horizontal sobre o debajo de los muros, ayudando a formar una especie de cajón rígido entre viguetas, columnetas, y muros, deben tener un ancho igual al del muro, una altura mínima de 15 cm, donde su área no sea menor de 150 cm^2 .

Como objeto parcial del trabajo se determinará el confinamiento apropiado para cada muro, tratando de redistribuir los esfuerzos críticos, enviándolos a la franja de confinamiento así el concreto reforzado lo reciba, ya que este es capaz de resistir dichos esfuerzos y disminuya en intensidad la afectación sobre el muro de mampostería. Se trabajarán dos tipos de confinamiento como se muestra en las siguientes figuras.

Confinamiento tipo 1, el cual se denotará como CT1. Se hará perimetral y se utilizará como modelo base, así no cumpla con la especificación NSR-98, para luz libre. EL volumen de confinamiento presente es del 24% y de mampostería 76%. La parte de mampostería es de $6.5 * 2.25\text{m}$.

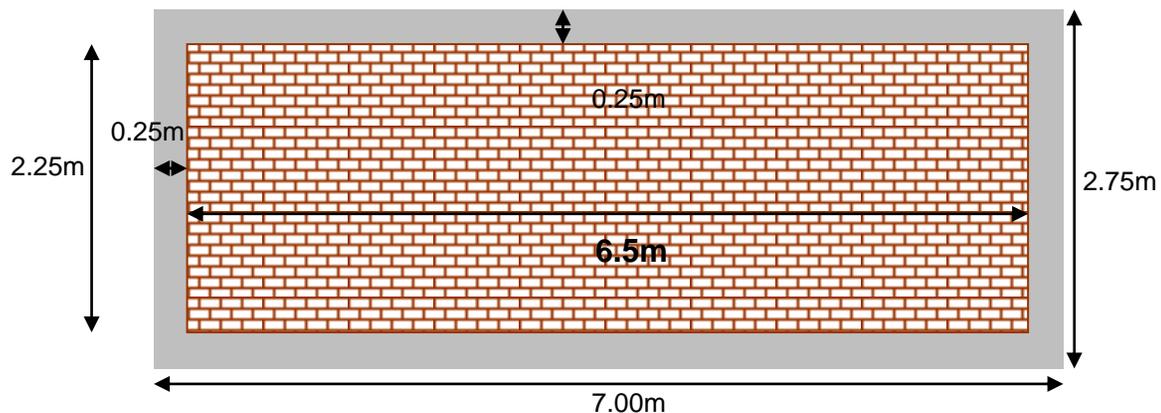


Figura 7.3. Representación confinamiento tipo 1 (CT1) muro macizo

Confinamiento tipo 2 se denotará CT2. Es el apropiado para cumplir la NSR-98, ya que la luz libre no supera las normatividades dadas, quedando dos muros de $3\text{m} * 2.25\text{m}$ y de $3.25\text{m} * 2.25\text{m}$, Volumen de confinamiento presente 26%, volumen de mampostería 74%. Se modelará para las fachadas con columnetas en los bordes de puertas y ventanas. La vigueta de la parte inferior representada en la

figura 7.4, no afecta los resultados del análisis ya que el modelo y el programa adopta la viga de cimentación como apoyo fijo.

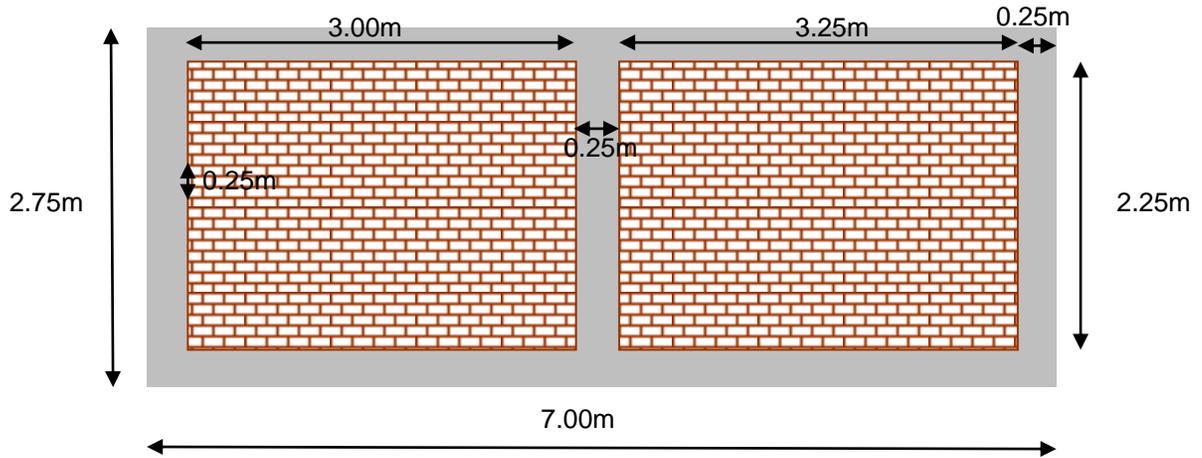
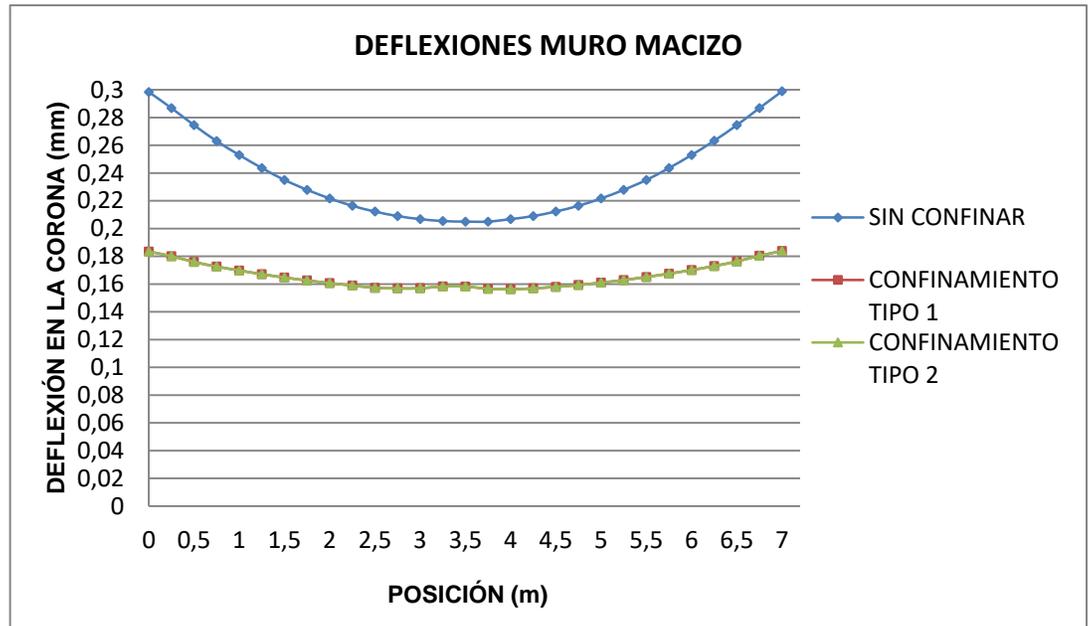


Figura 7.4. Representación confinamiento tipo 2 (CT2) muro macizo

7.2.1 Deflexiones

Realizando una comparación entre las deflexiones de los muros con CT1 y CT2 las cuales tienen un valor (0.15 a 0.19mm) y las deflexiones sin confinar (0.2 a 0.3mm); se observa que el confinamiento proporciona rigidez reduciendo consecuentemente los desplazamientos notablemente. En los extremos del muro al colocar las columnetas la reducción de la deflexión se presenta en un 39% y en el centro una reducción de 33%, respecto al muro sin confinamiento. Además ganará rigidez en un 38%. Las deflexiones son prácticamente iguales en los dos confinamientos, por ello solo se evaluará el muro sólido para esfuerzos el CT2. Si el desplazamiento analítico del muro macizo sin confinar se toma como unitario es decir 0.237mm equivale a 1, al confinarlo la reducción equivaldría a 0.72.



Grafica 7.3. Comparación deflexiones muro macizo (SAP)

7.2.2. Esfuerzos normales

El muro sin confinamiento reparte esfuerzos de tensión y compresión alrededor de un área importante del muro, haciendo factible que la mampostería sometida a estos esfuerzos sufra daños. El confinamiento ayuda a distribuir dichos esfuerzos, en toda la cara del muro y hace que las zonas de tensión se reduzcan dentro de la mampostería, logrando que estos esfuerzos sean tomados en mayor proporción por la columneta de concreto reforzado, consiguiendo que los esfuerzos de tensión sean menores.

Otro problema por falta de confinamiento es que se genera una alta concentración de esfuerzos de tensión en la base del muro, si se confina esta tensión logra repartirse dentro de la columneta, disminuyendo posibles daños en esta parte.

Con lo anterior, se entiende el buen aporte que da el confinamiento al muro, generando mayor rigidez y por ende, menores desplazamientos. Este aporte también se reconoce en la distribución de esfuerzos dentro del muro, lo que permite que los esfuerzos de tensión sean tomados en la mayoría por las

columnetas de confinamiento y no por la mampostería, reduciendo posibles daños al muro.

El esfuerzo máximo en el muro solido sin confinar es de 485KN/m^2 (figura 7) y al confinar el muro (figura 7.5) los esfuerzos se redistribuyen, generando un esfuerzo máximo de 1033KN/m^2 que lo soportará la columneta de concreto reforzado, quedando un nuevo esfuerzo en la mampostería de 295KN/m^2 , que representa una reducción del 40%, respecto al muro sólido sin confinar.

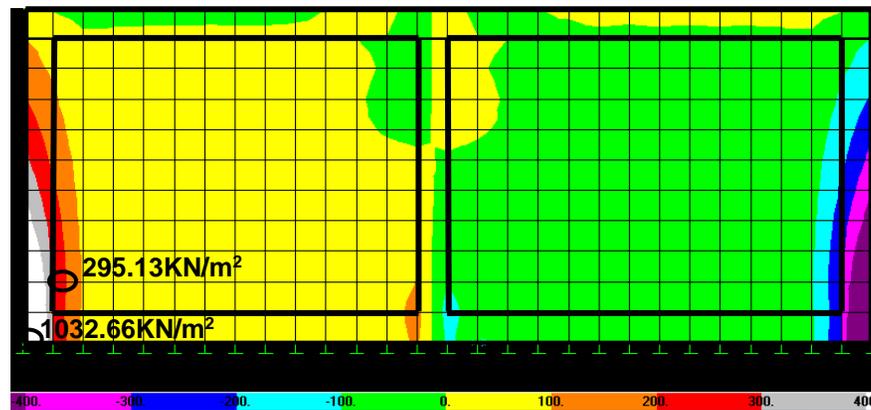


Figura 7.5. Esfuerzos normales confinamiento (CT2) tipo 2 (σ_{22})

7.2.3 Esfuerzos cortantes

Los esfuerzos normales se observa como el confinamiento ayuda a distribuir los esfuerzos cortantes en todo el muro. Esto se puede apreciar en la magnitud de los esfuerzos representados por los colores que indican la intensidad de los esfuerzos, siendo el blanco el más crítico y el amarillo el de menor intensidad para las tensiones. En el muro sin confinar (grafica .7.2) el color gris se presenta en gran parte oscilando entre 114 y 130KN/m^2 , contrario al muro confinado, por lo tanto se puede concluir que el confinamiento realizó una distribución de estos esfuerzos disminuyendo su intensidad en la cara del muro, mientras que en el punto crítico se presentó un crecimiento en la magnitud del esfuerzo, al igual que el área de influencia, sin embargo estos son tomados en gran proporción por la franja de confinamiento.

Los esfuerzos cortantes concentrados en el centro del muro sin confinar ocupan 100 elementos Shell, mientras que al confinarlo se redujo a 50 elementos, es decir en un 50%, a pesar de esta reducción la parte de mampostería alrededor del

confinamiento central queda expuesta a un esfuerzo que en magnitud es similar al esfuerzo cortante del muro sin confinar.

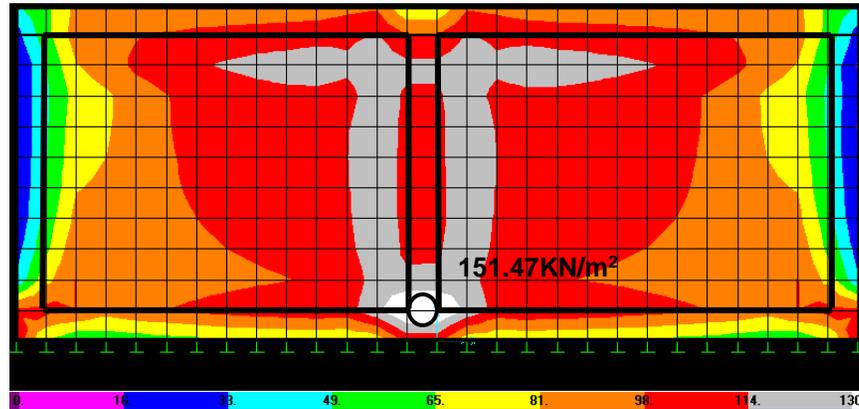
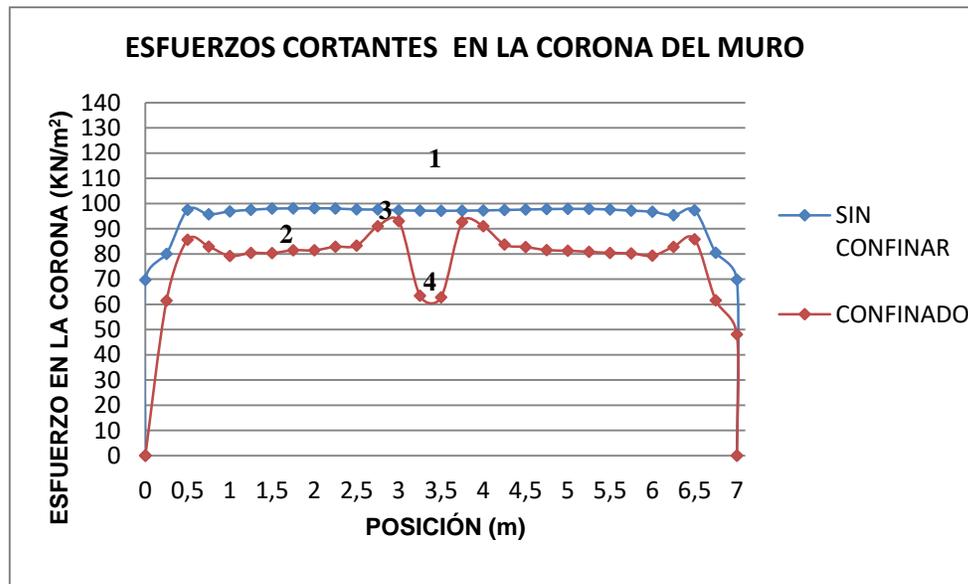


Figura 7.6. Esfuerzos cortantes confinamiento (CT2) tipo 2 (σ_{12})

Para representar mejor los esfuerzos se presentan las siguientes gráficas, comparando el muro sin confinar y el muro con confinamiento tipo 2.

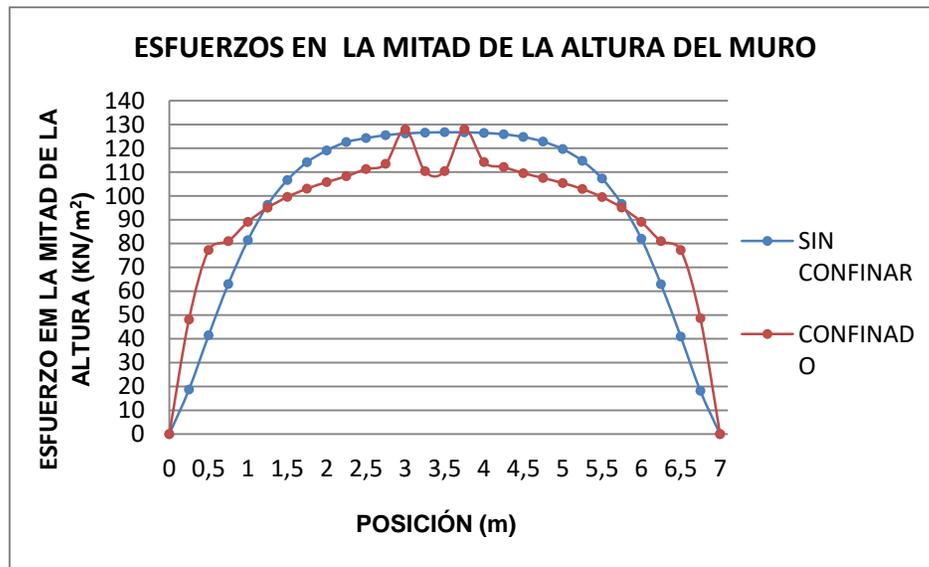
Un muro de mampostería está sometido a esfuerzos en la corona entre 0 y 100 KN/m^2 , el esfuerzo máximo presente en el muro sin confinar es de 98.14 KN/m^2 y en el confinado es de 93 KN/m^2 , los cuales no difieren en forma significativa. En la gráfica 7.4 se observa que el muro sin confinar tiene un comportamiento a cortante constante a lo largo de toda su longitud aproximadamente 98 (punto 1), si se confina se logra disminuir este esfuerzo en promedio a 80 KN/m^2 (punto 2), en el centro ocurre algo diferente cuando el esfuerzo se acerca al confinamiento, se concentra aumentándose de manera significativa a un valor de 93 KN/m^2 (punto 3), ya cuando este está sobre el confinamiento la franja de concreto reforzado lo recibe soportándolo y disminuyéndolo apreciablemente a 60 KN/m^2 (punto 4).



Gráfica 7.4. Comparación esfuerzos en la corona del muro (SAP)

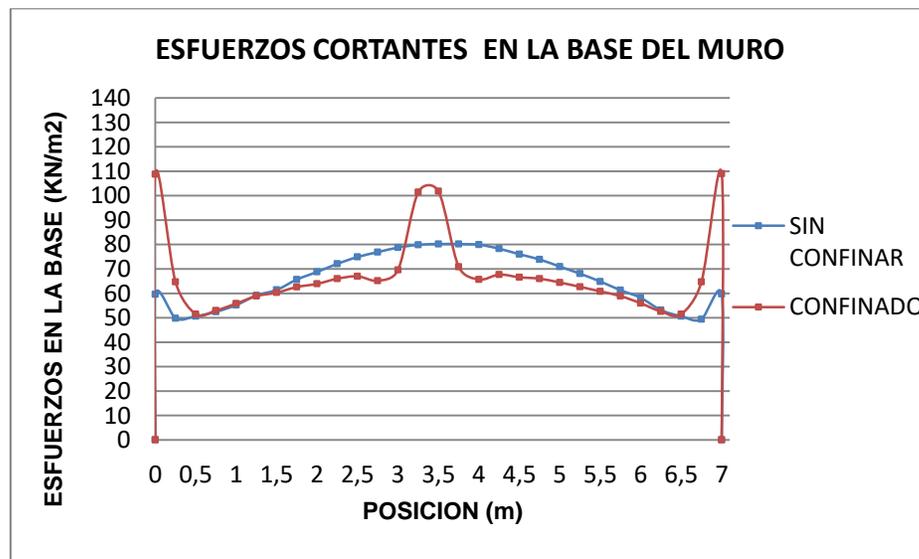
Los esfuerzos cortantes presentes en toda la cara del muro tienen mayor magnitud en la parte media, siendo el máximo para el muro sin confinar de 127KN/m^2 y para el confinado de 128KN/m^2 , los cuales no tienen una variación significativa.

En la gráfica 7.5 se observa como el muro sin confinar en su altura media tiene un comportamiento a cortante que aumenta uniformemente de 0 a 1.25m , luego tiene un comportamiento curvo aumentando hasta el centro aproximadamente de 125KN/m^2 , y empieza a disminuir cuando se acerca al final del muro, si se confina dicho muro estos esfuerzos crecen en los extremos donde están presentes las franjas de concreto reforzado debido a la distribución que estos hacen. La franja ubicada en el centro del muro permite redistribuir los esfuerzos disminuyéndolos en la cara del muro, pero concentrándolos en las proximidades del confinamiento central con un valor de 128KN/m^2 y se presenta una disminución significativa en el centro de 108KN/m^2 .



Gráfica 7.5. Comparación esfuerzo en la mitad de la altura del muro (SAP)

Los esfuerzos en la parte inferior del muro disminuyen significativamente respecto a los esfuerzos en la corona y en el medio. Debido al confinamiento se observa como los esfuerzos se concentran en las columnetas de concreto reforzado, con valor promedio de 109KN/m^2 , tratando de disminuir los esfuerzos en el muro de mampostería.



Gráfica 7.6. Comparación esfuerzos en la base del muro (SAP)

En resumen se tiene la siguiente tabla donde se aprecia la poca diferencia que existe entre los valores analíticos y los valores promedio dados por el programa SAP, además se observa la disminución de los esfuerzos y deflexión promedio en el muro sólido cuando se confina y son los valores de partida para compararlos con los resultados de las siguientes modelaciones para analizar la afectación de las aberturas en un muro.

	δ promedio (mm)	σ promedio (KN/m ²)	τ promedio (KN/m ²)
Muro sólido simple analíticamente	0.237	225	114
Muro sólido sin confinar (SAP).	0.247	229	116
Muro sólido confinado (SAP).	0.17	190	98

Tabla7. Comparación de los valores analíticos modelados con SAP

8. FACHADAS TIPICAS

8.1 PRIMERA FACHADA SIMPLE O SIN CONFINAR

La configuración de esta fachada sin confinamiento, no sirve para la construcción según la NSR-98, solo será utilizada como base de comparación. El volumen de vacíos que ocupan la puerta y las ventanas es de 33% y el de mampostería del 77%, respecto al volumen total del muro (100%).

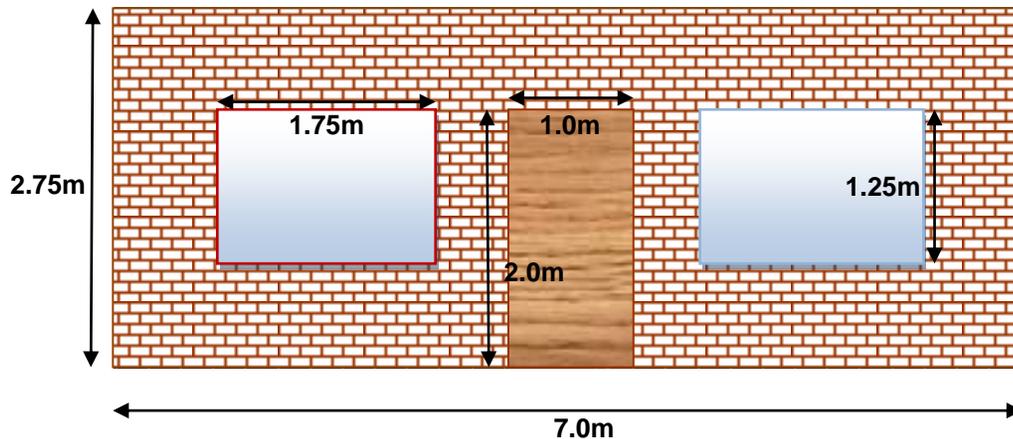
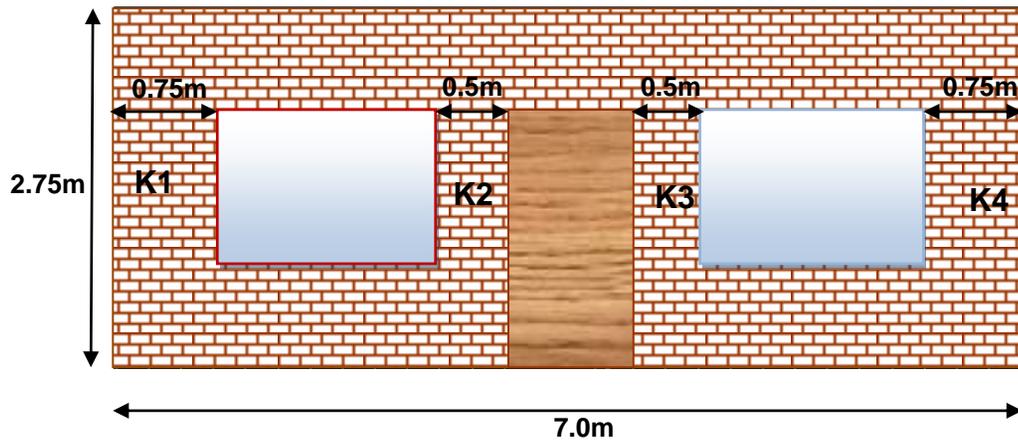


Figura 8. Modelo primera fachada simple

La rigidez de un muro de mampostería con aberturas se considera la suma de las rigideces de los muros continuos que van desde la base hasta la corona.

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n$$



Muro (h*L)	Rigideces
0.75*2.75	K1= 2882
0.5* 2.75	K2= 880
0.5*2.75	K3= 880
0.75*2.75	K4= 2882
	ΣK = 7524

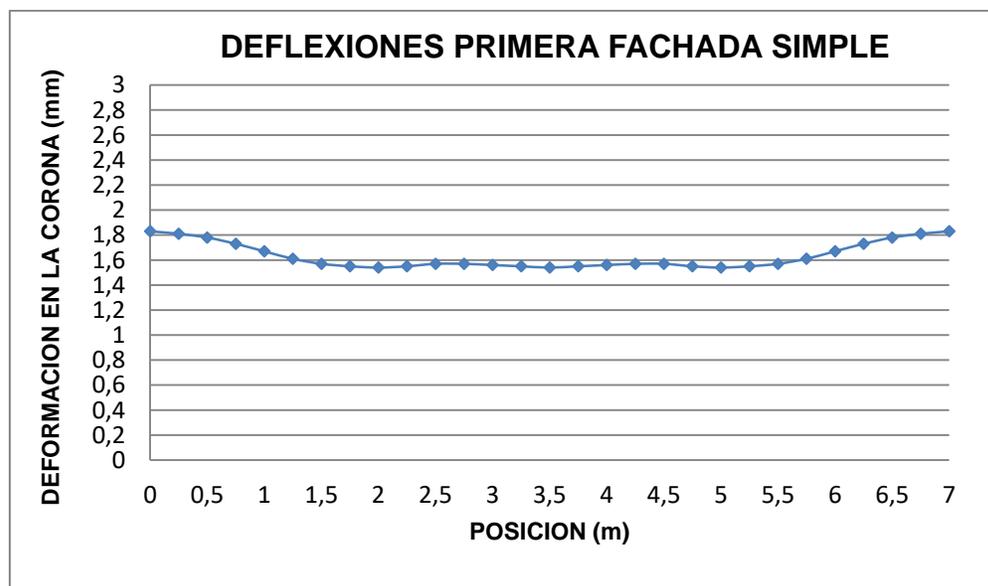
Tabla 8. Rigidez de los muros desde la base hasta la corona de la primera fachada

Para una carga de 100KN el desplazamiento lateral de la primera fachada es de $\delta = 13.29\text{mm}$

Analíticamente el desplazamiento relativo cuando hay presencia de aberturas crece apreciablemente, para la primera fachada este crecimiento es 56 veces el desplazamiento del muro sólido simple ya que su valor paso de 0.237 a 13.29mm, por ende la rigidez disminuye drásticamente en un 5508%.

8.1.1. Deflexiones

En el muro modelado en SAP las deflexiones crecen cuando en el mismo hay presencia de orificios, si el muro es sólido éstas oscilan entre 0.22mm y 0.3mm y cuando presentan aberturas se incrementan en un rango que oscila entre 1.5mm y 1.9mm, aproximadamente el incremento es de siete veces. Se confirma que el resultado analítico es conservador y realmente la fachada tendrá más rigidez que la expresada analíticamente.



Gráfica 8. Deflexiones muro simple primera fachada (SAP)

8.1.2. Esfuerzos normales

La carga del modelo es lateral distribuida en la parte superior a lo largo de toda su sección direccionada hacia la derecha, la cual produce esfuerzos máximos de tensión en los vértices opuestos en todos los orificios como se observa en todos los modelos.

Al presentar aberturas el muro, es evidente cómo los esfuerzos de tensión crecen significativamente aumentando puntos de posibles fisuraciones respecto al muro sólido, por efecto de las aberturas se concentran en mayor número los esfuerzos de tensión.

En este tipo de fachada el sentido de la fuerza de 100KN es indiferente para la evaluación de esfuerzos, ya que el diseño geométrico del muro y de los orificios utilizados como ventanas y puerta conservan simetría respecto al centro del muro.

Si se aplica la fuerza en sentido contrario ← los esfuerzos de tensión se presentarían en los vértices opuestos (○) como se muestra en la figura 8.1.

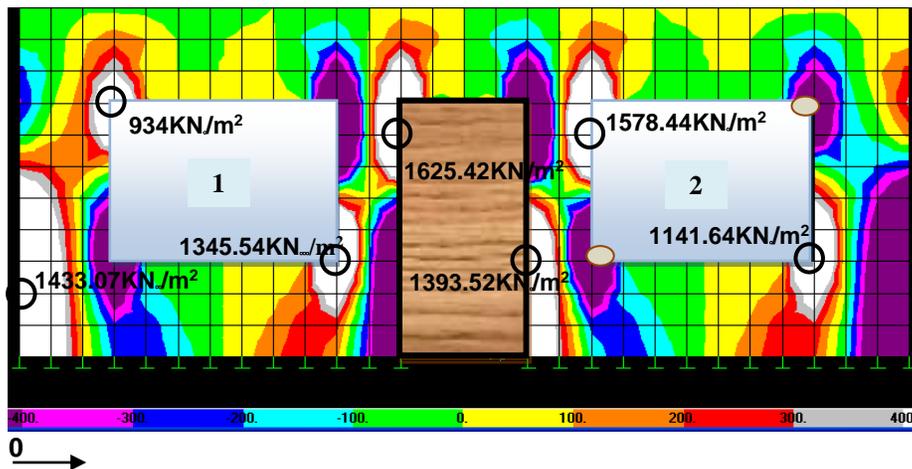


Figura 8.1. Esfuerzos normales (σ_{22}), primera fachada

Adicionalmente por aberturas los esfuerzos de mayor magnitud se encuentran concentrados en la esquina superior e inferior de la puerta cuyo valor máximo es de 1625KN/m^2 , es aproximadamente 3 veces mayor al del muro macizo de 485KN/m^2 concentrado en la esquina inferior izquierda. En este tipo de fachada los esfuerzos en la parte superior aumentan a medida que la ventana se aleja del eje de referencia "0" es decir la ventana 1 tiene un valor de 934KN/m^2 y la ventana 2 aumenta a 1578KN/m^2 , a diferencia de la esquina inferior, donde el esfuerzo disminuye en la ventana 2 de valor 1147KN/m^2 en una magnitud poco apreciable respecto a la ventana 1 de 1433KN/m^2 .

Con respecto al centro del muro, al lado derecho aparecen tensiones mayores, por el hecho geométrico de la presencia de aberturas. A diferencia del muro macizo, donde se presentan a este lado compresiones. En la parte izquierda hay presencia de tensiones al igual que el muro macizo, pero de mayor magnitud y mayor cantidad de puntos.

8.1.3 Esfuerzos cortantes

En la sección sólida está concentrado el esfuerzo cortante de 132KN/m^2 en el centro del muro. La presencia de aberturas incrementa la magnitud de los esfuerzos alrededor de ellas en un orden de tres veces más. Siendo notorio el valor de los esfuerzos en las esquinas de los orificios, lugar donde el muro se encuentra desprotegido por influencia de estos.

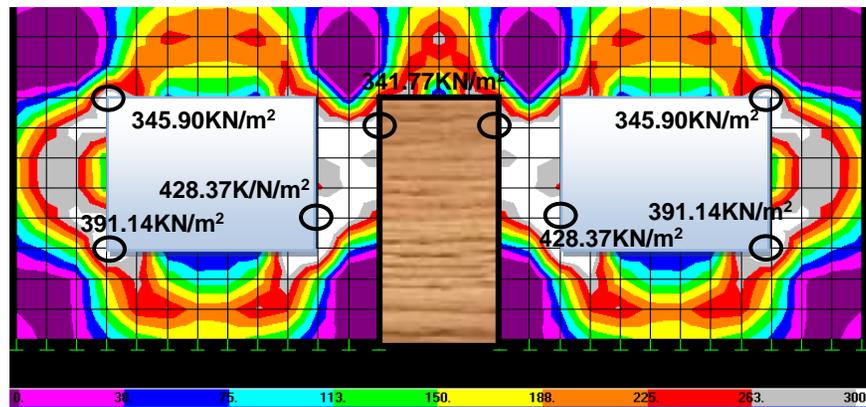


Figura 8.2. Esfuerzos cortantes (σ_{12}), primera fachada

8.2 PRIMERA FACHADA CONFINADA

El confinamiento tipo 1 (CT1) para esta fachada (figura 8.3) consiste en una franja de concreto reforzado de igual ancho del elemento Shell que rodea al muro, sin embargo no es reglamentada por la NSR-98 ya que debería tener como mínimo una columneta en el medio del muro, quedando cuatro muros de mampostería desde la base de $0.25\text{m} \times 2.5\text{m}$. El porcentaje de concreto es de 16% el de mampostería de 51% y el de vacios de 33% considerando el muro de sólido como el 100%.

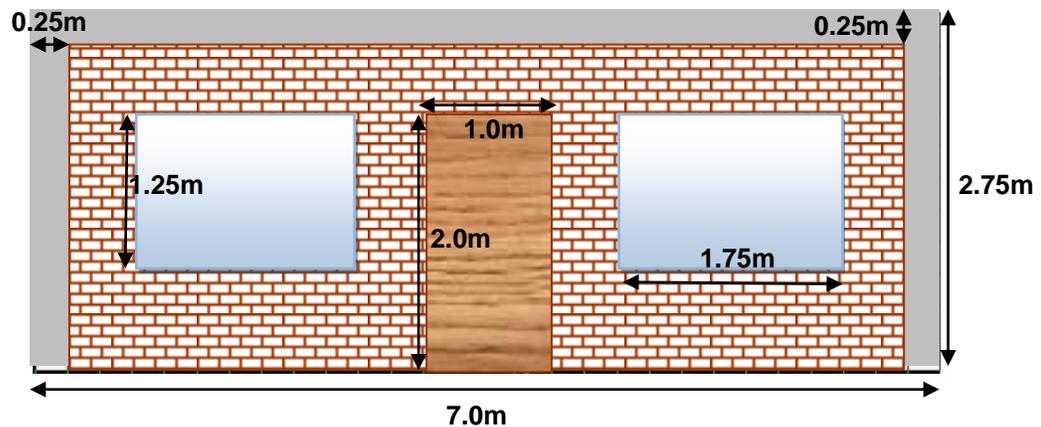


Figura 8.3. Representación confinamiento tipo 1 (CT1) para primera fachada

El confinamiento tipo 2 (CT2) (figura 8.4), consiste en colocar columnetas en los extremos del muro y en los bordes de puertas y ventanas tratando de proteger los muros que están afectados por las aberturas. Este confinamiento ocupa un volumen considerable de 35%, la mampostería de 32% y de vacios de 33%, y quedan solo dos muros de ancho $0.25 \times 2.5\text{m}$ desde la base. Debido a que la viga de cimentación esta representada por los apoyos. No se utilizará una franja de confinamiento en la parte inferior de ninguna fachada.

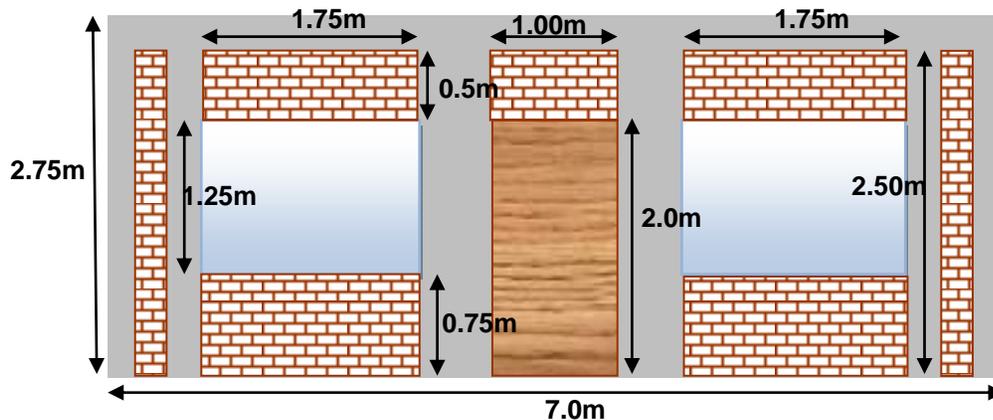


Figura 8.4. Representación confinamiento tipo 2 (CT2) para primera fachada

8.2.1 Esfuerzos normales

Al realizar el CT1 se puede apreciar respecto a la primera fachada simple como disminuyen los esfuerzos en la sección de mampostería (figura 8.5) en promedio el 17% y se intensifican en la franja de confinamiento en 50%, sobretodo en la parte inferior del muro al lado izquierdo, esto es positivo para el muro ya que el concreto redistribuye dichos esfuerzos, pero aun se conservan puntos críticos en los vértices de puerta y ventanas cuya magnitud oscilan entre 750KN/m^2 y 1350KN/m^2 donde se puede iniciar fisuraciones por las altas tensiones, es por ello se debe realizar un confinamiento mayor, donde los muros queden como muros completos. A pesar del confinamiento el esfuerzo máximo de tensión es grande respecto al muro de mampostería sólido alrededor de tres veces. Pasa de 486KN/m^2 a 1340KN/m^2 .

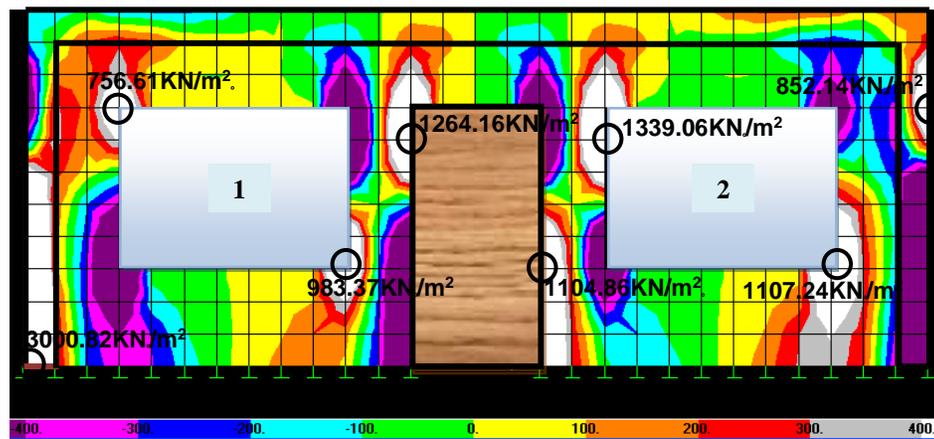


Figura 8.5. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 1(CT1), primera fachada

Los esfuerzos que se presentan en una fachada con el debido confinamiento se representa en la figura 8.6 donde el CT1 logra una redistribución de esfuerzos, incrementándolos en las zonas de concreto reforzado, el cual los soporta, además este tipo de confinamiento hace que aumente el área de secciones completas ayudando al muro a ganar rigidez.

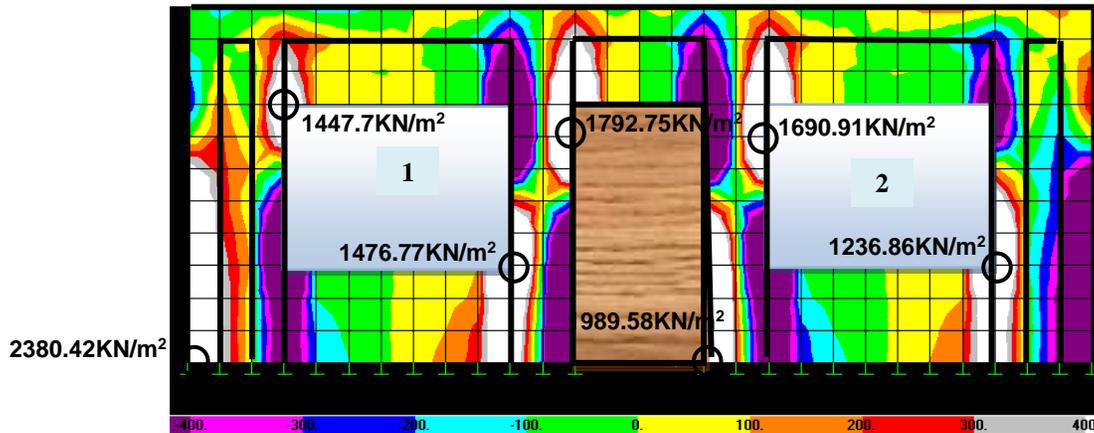


Figura 8.6. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 2 (CT2), primera fachada

El inconveniente de dicho confinamiento es que el volumen de concreto es del orden del 65%, además aun siguen zonas de mampostería expuestas a esfuerzos de tensión altos como se muestra en los puntos A, B, C y D y pueden ocasionar fisuras horizontales por encima de la puerta y ventanas y posiblemente debajo de la ventana como se muestra en la siguiente figura, es por ello que se recomienda la construcción de una vigueta de concreto reforzado en la parte superior de los orificios y evaluar el porcentaje de concreto respecto a la mampostería para ver si vale la pena construir la fachada con los dos materiales o construirla solamente con concreto.



Figura 8.7. Esfuerzos normales de tensión en la mampostería

8.2.2. Esfuerzos cortantes

El confinamiento tipo 1 (CT1) logra disminuir apreciablemente los esfuerzos cortantes que afectaban la estructura por presencia de la puerta de 340 a 260KN/m², es decir el 24%, por lo contrario, incremento en el muro de mampostería entre las ventanas y las columnetas en un 17%, condición indeseable. Este comportamiento es complejo analizarlo con la comparación entre uno y otro análisis, es por ello que se debe realizar un desarrollo más detallado.

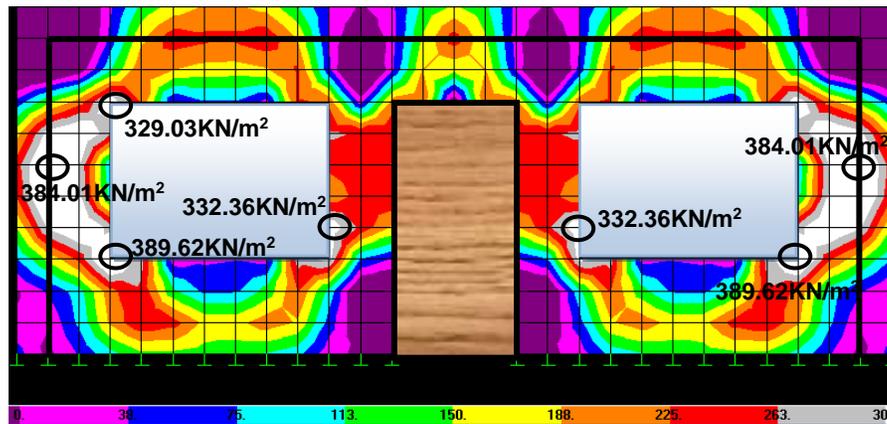


Figura 8.8. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 1 (CT1), fachada 1

No se va a presentar problemas de altos esfuerzos cortantes al realizar el confinamiento tipo 2 (CT2), ya que las columnetas de concreto reforzado van a tomar los esfuerzos críticos de máximo valor 402.08KN/m². En la redistribución se disminuyeron los esfuerzos grandes presentes sobre las ventanas y protegido los muros de sección completa. Sin embargo en la parte inferior de las ventanas se presenta en el muro de mampostería máximos esfuerzos cortantes de 350KN/m².

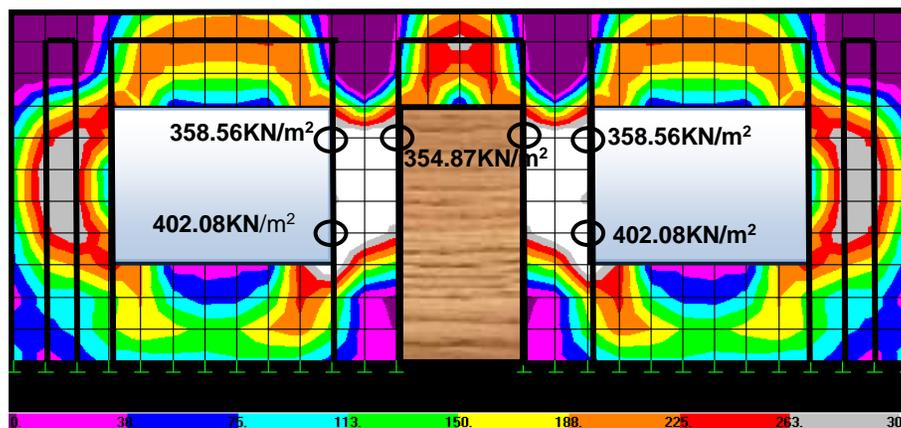


Figura 8.9. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 2 (CT2), primera fachada

En la siguiente tabla se pueden apreciar los cambios que presenta la primera fachada cuando se confina. Siendo la primera fachada simple el punto de referencia. Cuando se realizó el confinamiento tipo 1 (CT1) disminuyeron las deflexiones, los esfuerzos cortantes y normales a tensión en porcentajes considerables, por ello se espera que al realizar el segundo confinamiento los porcentajes de disminución sean mayores a los del primer confinamiento, situación que se da para la deflexión y el cortante, pero para el esfuerzo normal hay una disminución menor que cuando se realizó el primer confinamiento, esto es debido a la redistribución de esfuerzos donde trata de que las columnetas tomen los esfuerzos máximos y no alcanzan a quedar todos dentro de la franja por lo cual quedan en las proximidades afectando al muro de mampostería en estos puntos.

	Fachada 1 simple	Fachada 1 (CT1)	Disminución (%)	Fachada 1 (CT2)	Disminución (%)
δ máx (mm)	1.63	1.18	28	0.66	59
σ máx (KN/m ²)	1625	1340	18	1570	3
τ máx (KN/m ²)	428	390	9	350	18

Tabla 8.1. Comparación entre la primera fachada simple y confinada

En la siguiente tabla se puede apreciar por efecto de las aberturas el incremento deflexiones, esfuerzos cortantes y normales a tensión que presenta la fachada uno respecto al muro sólido simple.

	Muro sólido simple	Fachada 1 simple	Incremento (%)	Fachada 1 (CT1)	Incremento (%)	Fachada 1 (CT2)	Incremento (%)
δ máx (mm)	0.247	1.63	560	1.18	378	0.66	167
σ máx (KN/m ²)	486	1625	234	1340	176	1570	223
τ máx (KN/m ²)	132	428	224	390	195	350	165

Tabla 8.2. Comparación entre el muro sólido simple y la primera fachada

8.3 SEGUNDA FACHADA SIMPLE

La configuración de esta fachada sin confinamiento, no cumple para la construcción según la NSR-98, solo será utilizada como base de comparación. El volumen de vacíos que ocupan la puerta y las ventanas es de 43%, con respecto al volumen total del muro, mayor al porcentaje de vacíos de la fachada tipo 1 en un 10%.

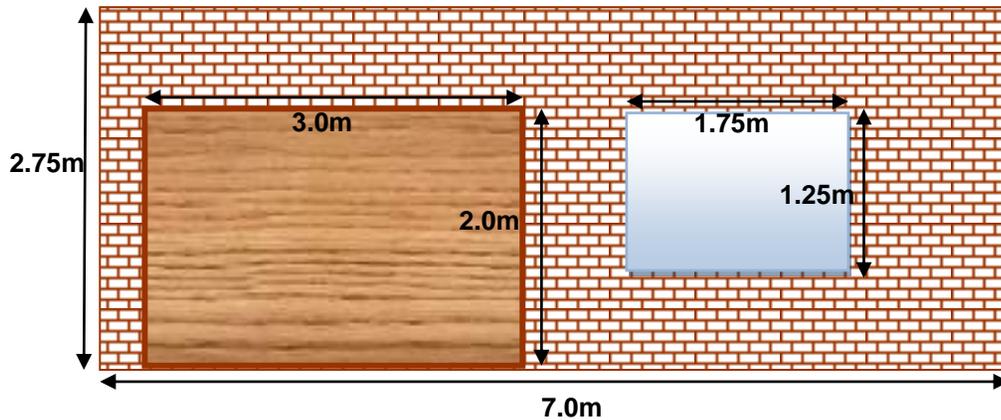
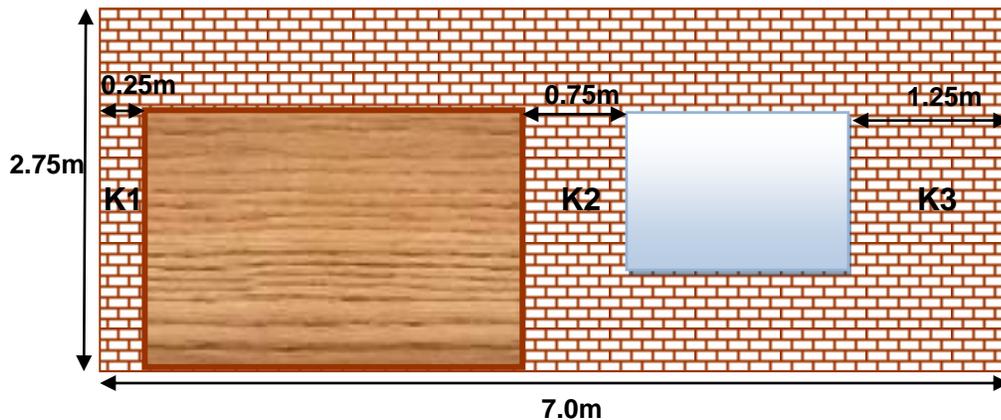


Figura 8.10. Modelo segunda fachada simple



Muro (h*L)	Rigideces
0.25*2.75	K1= 112
0.75* 2.75	K2= 2882
1.25*2.75	K3=12197
	$\Sigma K = 15191$

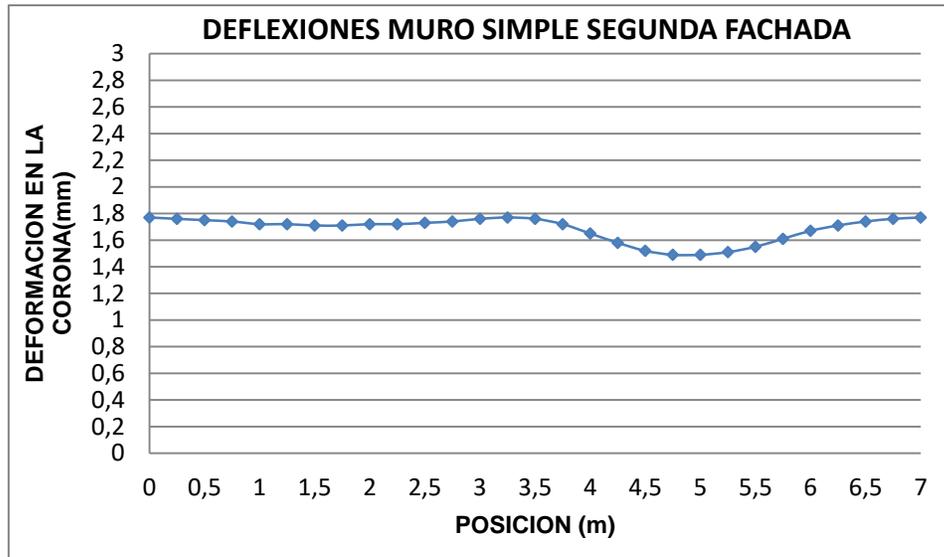
Tabla 8.3.Rigidez de los muros desde la base hasta la corona de la segunda fachada

Para una carga de 100KN el desplazamiento lateral de la segunda fachada es de **$\delta = 6.58\text{mm}$**

Analíticamente esta fachada presenta un desplazamiento menor a la de la primera fachada en un 50%, pero el desplazamiento sigue siendo 28 veces más grande respecto al del muro sólido simple, por ende la rigidez es menor que la del muro sólido simple y mayor a la de la primera fachada.

8.3.1 Deflexiones

En la segunda fachada según el SAP (figura 8.1), también crecen las deflexiones en gran proporción respecto al muro sin aberturas de 0.3mm a 1.77mm en promedio. El máximo incremento está asociado a la presencia de la ventana, sin embargo las deflexiones son menores a las de la primera fachada cuyo valor oscila entre 1.5mm y 1.9mm y en la segunda entre 1.49mm a 1.77mm. Al igual que en el calculo analítico la segunda fachada presenta menores deflexiones, aunque poco variables y los resultados son conservadores respecto a los dados por el SAP, es por ellos que se puede afirmar que el muro tiene mayor rigidez a la calculada.



Gráfica 8.1 Deflexiones muro simple segunda fachada (SAP)

8.3.2. Esfuerzos normales

A pesar de tener una abertura de puerta mayor el cambio en la magnitud de los esfuerzos no es significativa, ya que en algunos puntos aumentan y en otros disminuye (figura 8.11). En la puerta de 1m*2m los esfuerzos son de 1625.42KN/m² y 1394KN/m² y en la de 3m*2m son de 1731KN/m² y 1224KN/m², en las ventanas el máximo de la primera fachada es de 1578KN/m² y el de la segunda es de 1730KN/m². El incremento respecto al muro sólido simple es de tres veces y a la primera fachada es del 6%. Al lado derecho hay presencia de grandes tensiones debido a la presencia de las aberturas a diferencia del muro macizo donde a este lado los esfuerzos son de compresión.

En este caso el sentido de la fuerza lateral no es indiferente, ya que la estructura no es simétrica y los esfuerzos variaran porque la distribución de estos será diferente debido a la ubicación que tiene los tramos de muros completos.

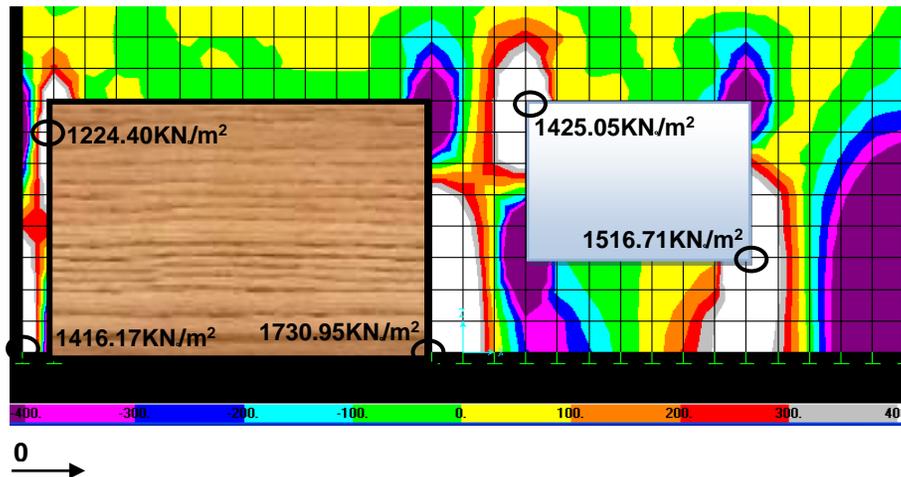


Figura 8.11. Esfuerzos normales (σ_{22}), segunda fachada

8.3.3. Esfuerzos cortantes

En este tipo de fachada los mayores esfuerzos cortantes están alrededor de la ventana siendo el máximo de 521.26KN/m^2 , se aprecia el incremento en la magnitud del cortante y de las áreas de afectación en un 13% respecto al muro sólido simple.

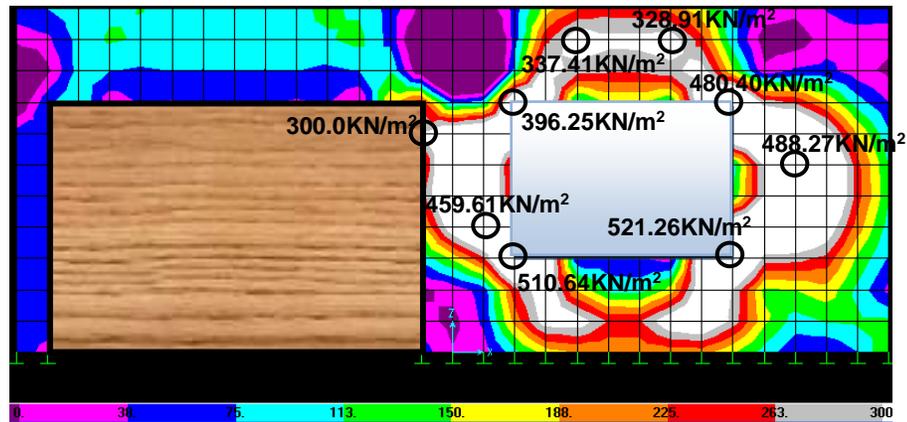


Figura 8.12. Esfuerzos cortantes (σ_{12}), segunda fachada

8.4. SEGUNDA FACHADA CONFINADA

El confinamiento tipo 1 (CT1) para esta fachada consiste en una franja de concreto reforzado de igual ancho del elemento Shell de 0.25m que rodea al muro, sin embargo no cumple la NSR-98 ya que debería tener como mínimo una columneta en el medio del muro. El porcentaje de concreto es del 16%, el de mampostería de 41% y el de vacios de 43%, siendo el muro sólido el 100%.

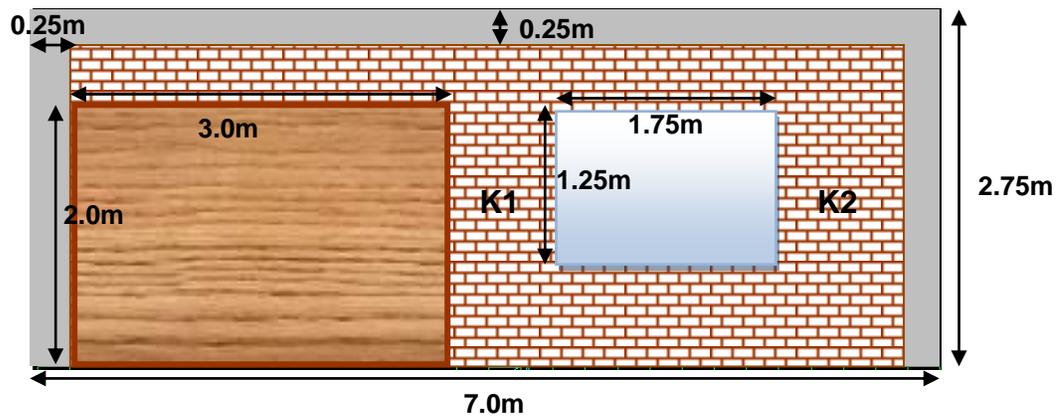


Figura 8.13. Representación confinamiento tipo 1 (CT1) para segunda fachada

El confinamiento tipo 2 (CT2), consiste en colocar columnetas en los extremos del muro y en los bordes de puertas y ventanas tratando de proteger los muros que están afectados por las aberturas. Este confinamiento ocupa un volumen de 25%, de mampostería de 32% y de vacios de 43%, representando el volumen del muro sólido el 100% y quedan dos muros sólidos desde la base; uno de ancho 0.25m y el otro de 0.75m.

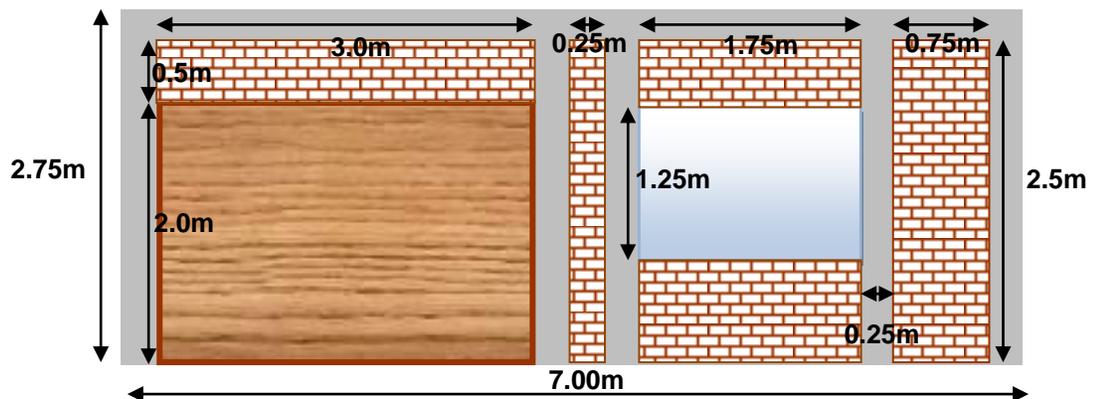


Figura 8.14. Representación confinamiento tipo 2 (CT2) para segunda fachada

8.4.1 Esfuerzos normales

Este tipo de fachada presenta el mismo comportamiento al de la primera fachada, donde el primer confinamiento redistribuye los esfuerzos disminuyendolos en promedio 15% en el muro de mamposteria, respecto a la segunda fachada simple, pero no lo suficiente como para evitar posibles fisuraciones, ya que las tensiones siguen siendo altas, mayores a 1250KN/m² en los vertices opuestos de la puerta y ventanas. Respecto al muro sólido simple se presenta un incremento de tres veces, esto quiere decir que las aberturas son perjudiciales para el muro ya que incrementa las tensiones en gran magnitud como se puede observar en la figura 8.15.

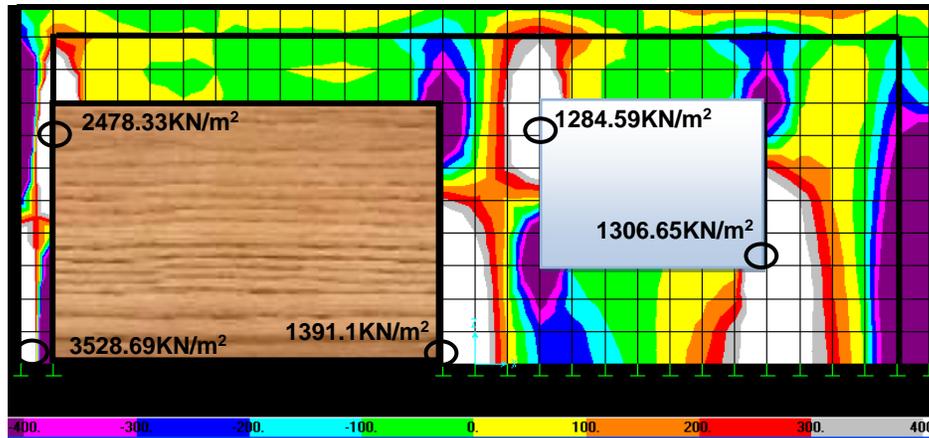


Figura 8.15. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 1(CT1), segunda fachada.

Como el confinamiento (CT1) no es adecuado ni permitido, se recurre al segundo tipo de confinamiento (CT2) donde se trata de dejar muros completos concentrando los máximos esfuerzos en las franjas de concreto reforzado, sin embargo aun siguen expuestos algunos muros de mampostería a tensiones que oscilan entre 1200KN/m² y 1600KN/m² donde es factible que se presenten fisuraciones como se muestra en la siguiente figura, por ello se recomienda construir una vigueta de concreto reforzado sobre la puerta y la ventana. Evaluar la cantidad de concreto a utilizar para ver si vale la pena utilizar los dos materiales.

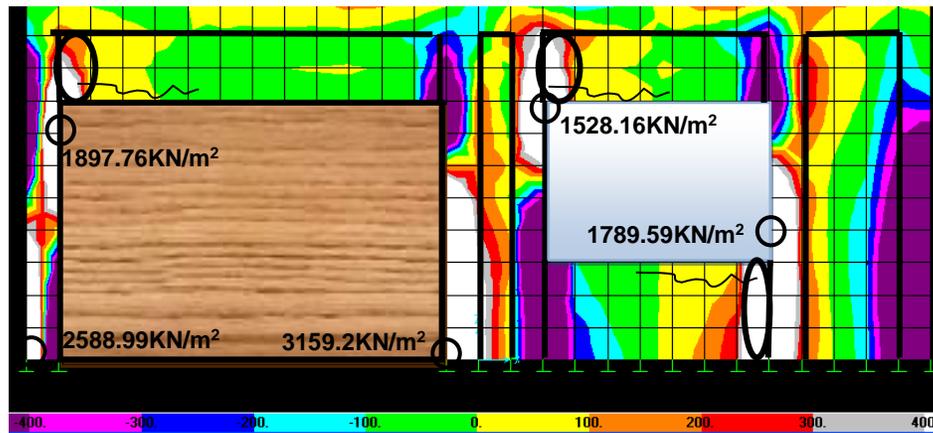


Figura 8.16. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 2 (CT2), segunda fachada.

8.4.2. Esfuerzos cortantes

Se presenta una disminución de esfuerzos poco apreciable alrededor del 10%, respecto a la segunda fachada simple, así que para esta fachada el confinamiento a los lados (CT1) no soluciona los problemas por cortante, ya que las tensiones alrededor de la ventana en el muro de mampostería aun son críticas de máximo valor 492.61KN/m², semejante al máximo valor de la fachada simple de valor 510.64KN/m².

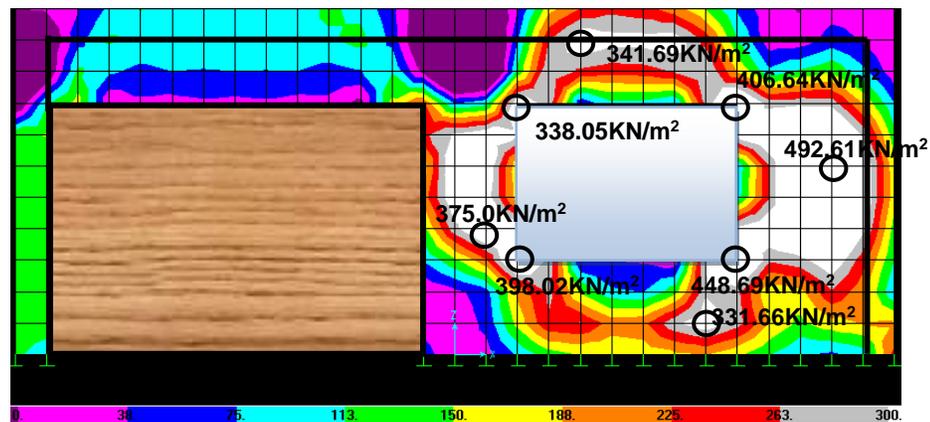


Figura 8.17. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 1 (CT1), segunda fachada

Aunque se haya hecho el segundo tipo de confinamiento (CT2), no se logra disminución de los esfuerzos cortantes en los muros sólidos de mampostería que oscilan entre 400KN/m^2 y 500KN/m^2 , pero podrían no ser nocivos ya que el muro de mampostería es sólido y esta rodeado perimetralmente por franjas de concreto reforzado.

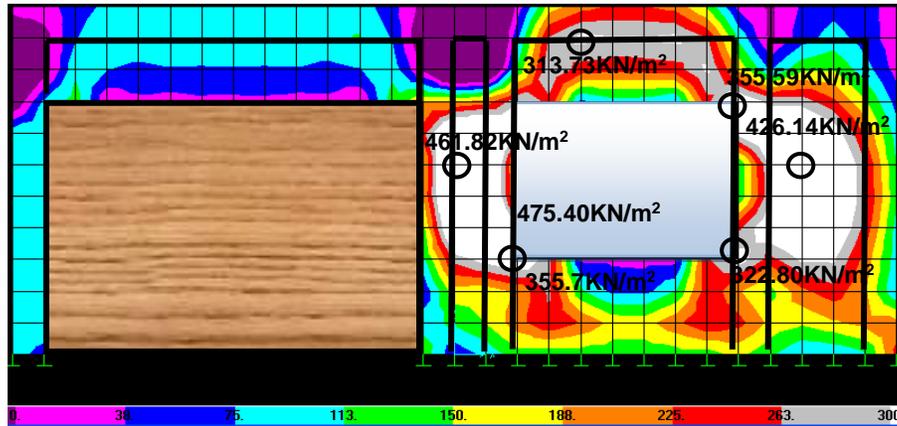


Figura 8.18. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 2 (CT2), segunda fachada.

La siguiente tabla presenta un resumen del comportamiento que tiene la segunda fachada cuando se confina. Tomando como referencia la segunda fachada simple. Se aprecia cómo a medida que se va adicionando confinamiento la deflexión y los esfuerzos van disminuyendo.

	Fachada 2 simple	Fachada 2 (CT1)	Disminución (%)	Fachada 2 (CT2)	Disminución (%)
δ máx (mm)	1.60	1.19	26	0.81	49
σ máx (KN/m^2)	1731	1725	0.3	1600	8
T máx (KN/m^2)	521	493	5	462	11

Tabla 8.4. Comparación entre la segunda fachada simple y confinada

En esta tabla se puede apreciar por efecto de las aberturas el incremento de deflexiones, esfuerzos cortantes y normales a tensión que presenta la fachada dos respecto al muro sólido simple. En general la segunda fachada presenta mayores incrementos, respecto a la primera fachada.

	Muro sólido simple	Fachada 2 simple	Incremento (%)	Fachada 2 (CT1)	Incremento (%)	Fachada 2 (CT2)	Incremento (%)
δ máx (mm)	0.247	1.60	547	1.19	382	0.81	228
σ máx (KN/m ²)	486	1731	256	1725	255	1600	229
τ máx (KN/m ²)	132	521	295	493	273	462	250

Tabla 8.5. Comparación entre el muro solido simple y la segunda fachada

8.5. TERCERA FACHADA SIMPLE

La configuración de esta fachada sin confinamiento, no sirve para la construcción según la NSR-98, solo será utilizada como base de comparación. El volumen de vacíos que ocupan la puerta y las ventanas es de 33%, con respecto al volumen total del muro. Presenta igual número de aberturas e igual dimensión a la de la fachada uno, la diferencia es la posición de la puerta que esta al lado izquierdo del muro.

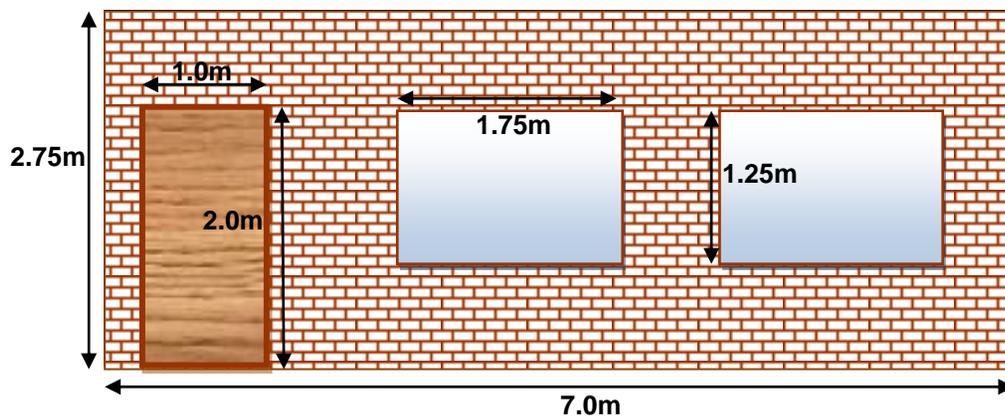
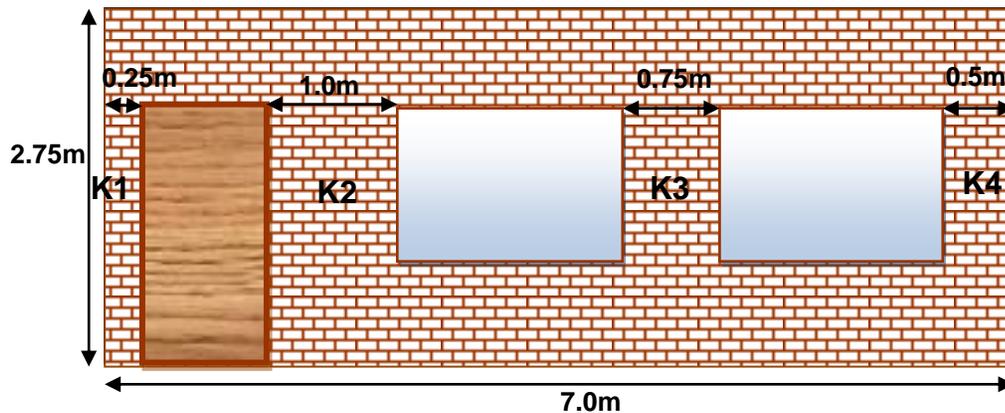


Figura 8.19. Modelo tercera fachada simple



En la tercera fachada analíticamente el desplazamiento es menor al la primera fachada y mayor al de la segunda y 41 veces mayor al del muro sólido simple.

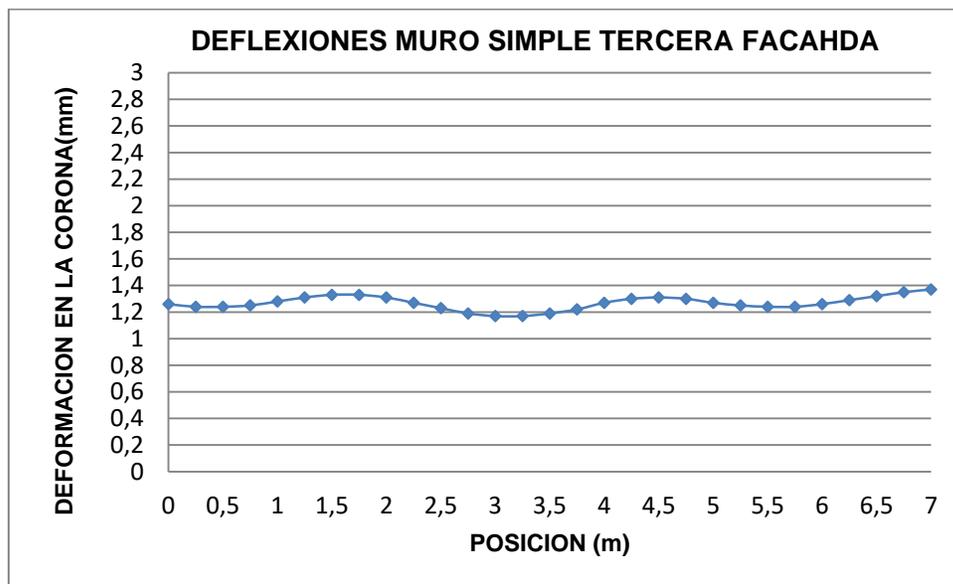
Muro (h*L)	Rigideces
0.25*2.75	K1= 112
1.00*2.75	K2= 6562
0.75*2.75	K3=2882
0.5*2.75	K4=880
	ΣK = 10436

Tabla 8.6. Rigidez de los muros desde la base hasta la corona de la tercera fachada

Para una carga de 100KN el desplazamiento lateral de la tercera fachada es de $\delta = 9.58\text{mm}$

8.5.1. Deflexiones

Este tipo de fachada modelada con SAP presenta un incremento de magnitud en las deflexiones respecto al muro sólido y menor a las deflexiones de la fachada uno que oscilan entre 1.33mm y 1.17mm, posiblemente sea debido a la ubicación de la puerta, la cual esta más próxima al lado izquierdo, para este caso particular. A diferencia del resultado analítico, en los resultados del programa se aprecia que la tercera fachada es la que presenta menores deflexiones, respecto a las otras dos fachadas.



Gráfica 8.3 Deflexiones muro simple tercera fachada (SAP)

8.5.2 Esfuerzos normales

El sentido de aplicación de la fuerza lateral tiene importancia en este tipo de fachada debido a que esta no es simétrica. El máximo esfuerzo de tensión en la fachada uno es de 1625KN/m^2 y en esta es de 1473KN/m^2 , posiblemente esta disminución se debe a la ubicación de la puerta donde sería más favorable en el lado izquierdo para este caso particular, en las ventanas las tensiones en los puntos disminuyeron en diferentes porcentajes, por ejemplo en la primera ventana en el vértice superior no se presentó ningún cambio y en el vértice inferior disminuyó aproximadamente en el 5% y en la segunda ventana en el vértice de arriba disminuyó en el 35% y el de la parte inferior en 40%.

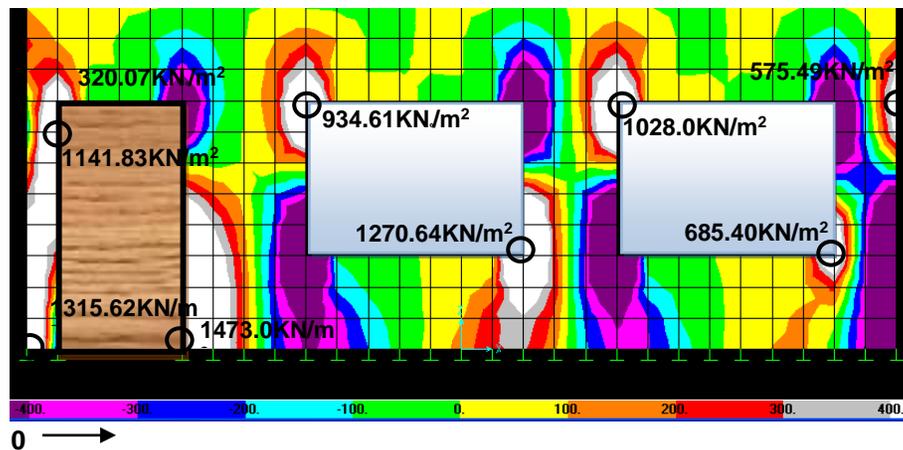


Figura 8.20. Esfuerzos normales (σ_{22}), tercera fachada.

8.5.3. Esfuerzos cortantes

Cuando el muro no está confinado la mayor afectación de los esfuerzos cortantes se presenta en las ventanas, específicamente en la primera, alrededor de la puerta se ve que ningún esfuerzo significativo la afecta y se podría pensar que es la mejor ubicación de la puerta en una fachada de una casa de un piso. Las aberturas ocasionan crecimiento en las tensiones mayores a 400KN/m^2 al lado izquierdo de las ventanas.

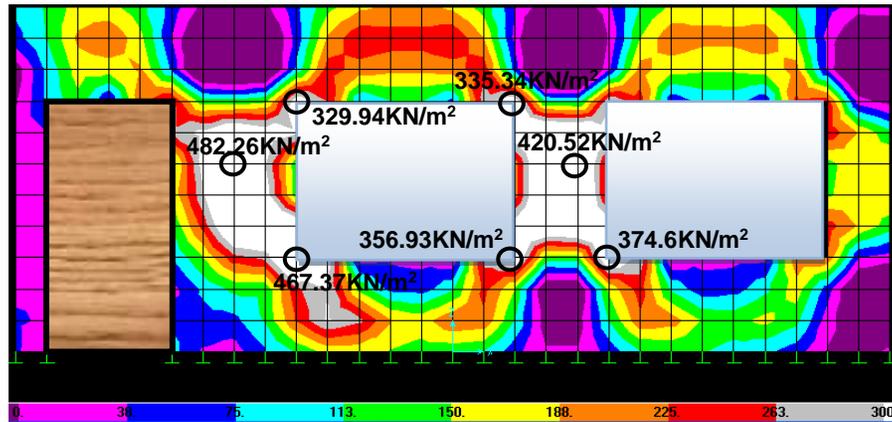


Figura 8.21. Esfuerzos cortantes (σ_{12}), tercera fachada.

8.6 TERCERA FACHADA CONFINADA

El confinamiento tipo 1 (CT1) para esta fachada consiste en una franja de concreto reforzado de igual ancho del elemento Shell que rodea al muro, sin embargo no es reglamentada por la NSR-98 ya que debería tener como mínimo una columneta en el medio del muro. El porcentaje de concreto es de 16% el de mampostería de 51% y el de vacios de 33% siendo el muro de sólido el 100%, al igual que la fachada tipo 1.

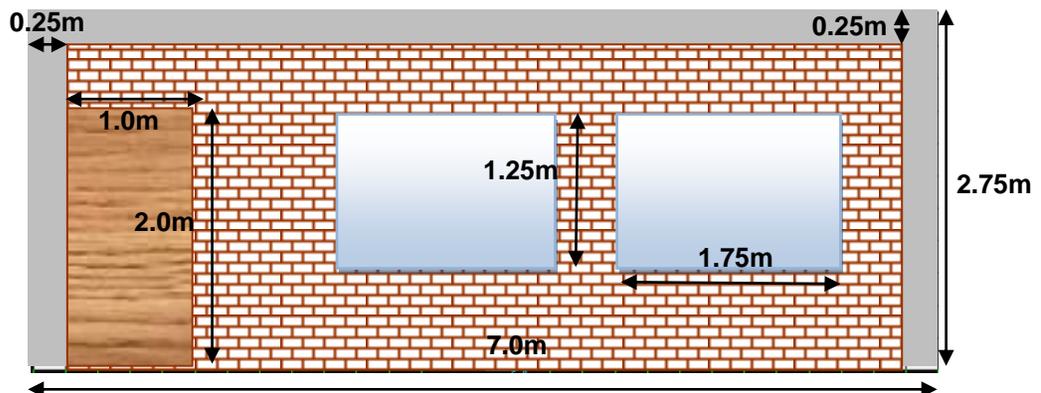


Figura 8.22. Representación confinamiento tipo 1(CT1), tercera fachada.

El confinamiento tipo 2 (CT2), consiste en colocar columnetas en los extremos del muro y en los bordes de puertas y ventanas tratando de proteger los muros que están afectados por las aberturas. Este confinamiento ocupa un volumen

considerable de 35%, la mampostería de 32% y de vacíos de 33%, siendo el muro sólido el 100% y quedan solo dos muros de ancho 0.25m desde la base.

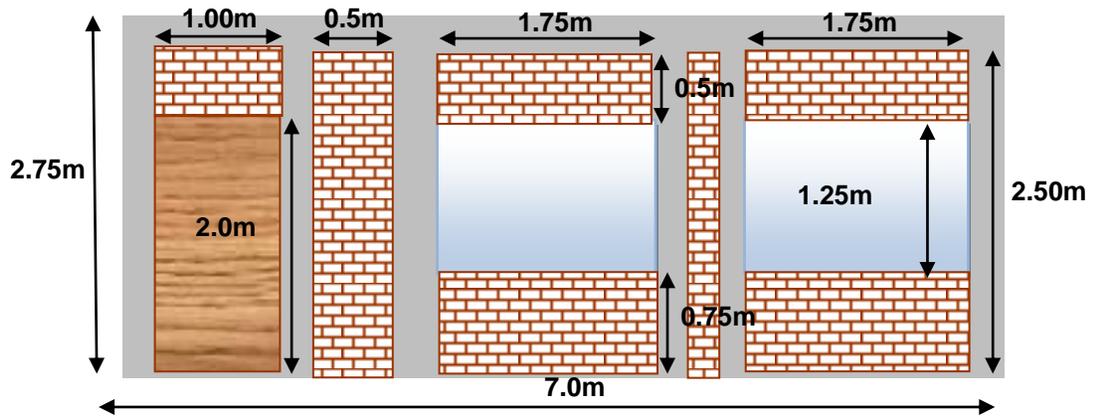


Figura 8.23. Representación confinamiento tipo 2 para fachada 3

8.6.1. Esfuerzos normales

En este tipo de fachada no es adecuado confinar el muro en sus lados, ya que por querer darle rigidez al muro, las partes de mampostería quedan expuestas a esfuerzos mayores en los puntos críticos en promedio el 36%, respecto a la primera fachada simple, lo cual va a generar sin ninguna duda fisuraciones. Esto se puede apreciar en la puerta en la parte inferior derecha donde el esfuerzo aumento de 1473KN/m^2 a 2036KN/m^2 , en la primera ventana en la parte superior incrementó de 9345KN/m^2 a 1448KN/m^2 y en la esquina inferior de 1270.64KN/m^2 a 1801KN/m^2 , en la segunda ventana se presentan los mayores incrementos, en la parte superior de 1028KN/m^2 a 1681KN/m^2 y en el vértice inferior de 685.4KN/m^2 a 1380.3KN/m^2

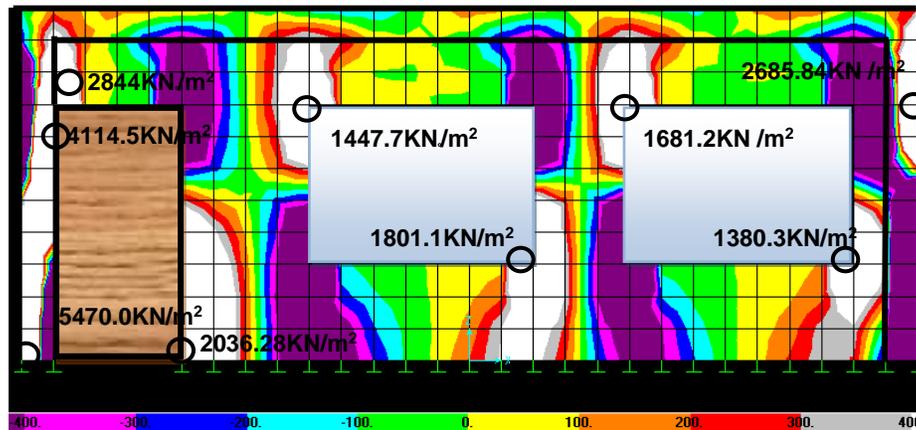


Figura 8.24. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 1(CT1), tercera fachada

El siguiente gráfico es una buena representación de cómo una estructura que aparentemente esta bien construida y tiene supuestamente el confinamiento adecuado presenta fisuraciones cuando se ve sometida a fuerzas laterales, porque no se hizo un análisis de la ubicación de las columnetas de concreto reforzado.



Figura 8.25. Representación de un mal confinamiento

Como en todas las fachadas anteriores el confinamiento tipo 2 (CT2), ayuda a redistribuir los esfuerzos normales a tensión, tratando de que el concreto tome los máximos, pero no es suficiente ya que aun quedan tensiones grandes de máximo valor 1500KN/m^2 , en los muros de mampostería obligando a colocar viguetas en la parte superior de la puerta y ventanas, paraqué no haya fisuraciones en estas partes de la fachada.

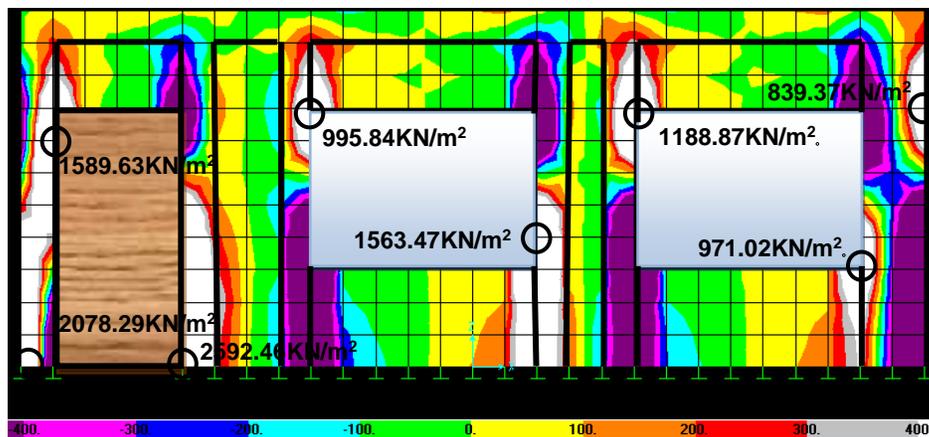


Figura 8.26. Esfuerzos normales (σ_{22}), confinamiento tipo 2 (CT2), tercera fachada.

AL realizar un confinamiento adecuado se logra un sistema adecuado de manera que la estructura gana rigidez y los esfuerzos mayores serán tomados por el concreto reforzado, el cual tiene mejores condiciones para adoptar los esfuerzos, en consecuencia se tendrá una fachada segura y sin fisuras como se puede observar en la figura 8.27.

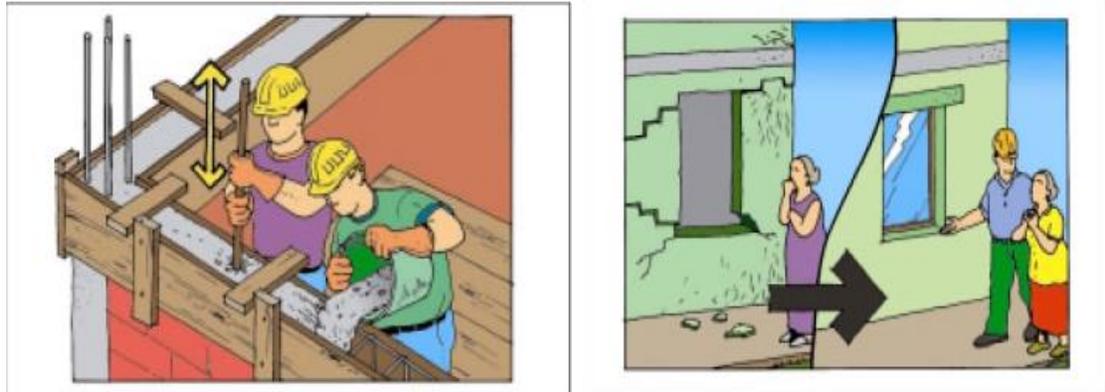


Figura 8.27. Representación de un confinamiento adecuado.

8.6.2. Esfuerzos cortantes

Al igual que en los esfuerzos normales este confinamiento (CT1) no es adecuado para este tipo de fachada porque al realizarse la redistribución de esfuerzos se incrementan en promedio 32% respecto a la tercera fachada simple y aumentan las áreas críticas, dejando un muro susceptible al crecimiento de tensiones.

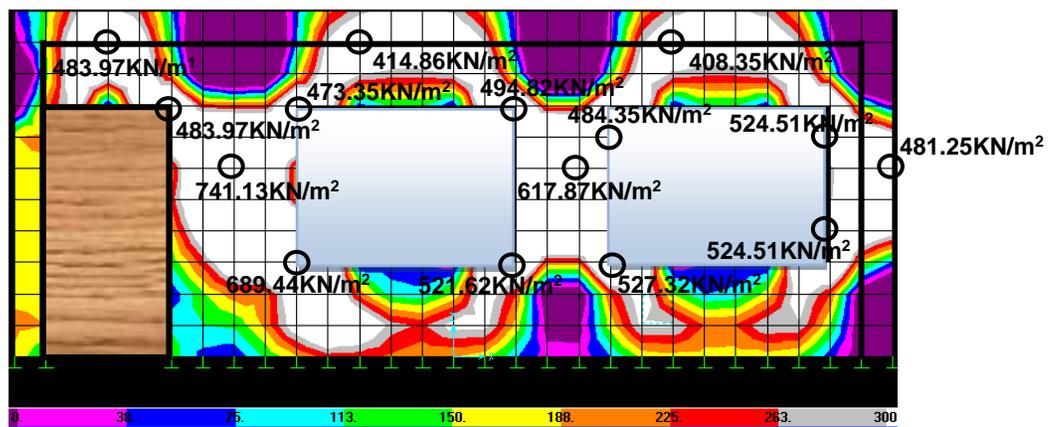


Figura 8.28. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 1 (CT1), tercera fachada

El confinamiento de la figura 8.29 se podría considerar bueno para este tipo de fachada, ya que reduce en gran magnitud los esfuerzos en las esquinas de las ventanas y puerta evitando posibles fisuras, además los lugares donde quedan ubicados los mayores esfuerzos cortantes están protegidos por el confinamiento, sin embargo lo más posible es que el constructor decida dejar los muros pequeños de mampostería en concreto, ya que la construcción sería engorrosa y garantiza que los esfuerzos los tome el concreto.

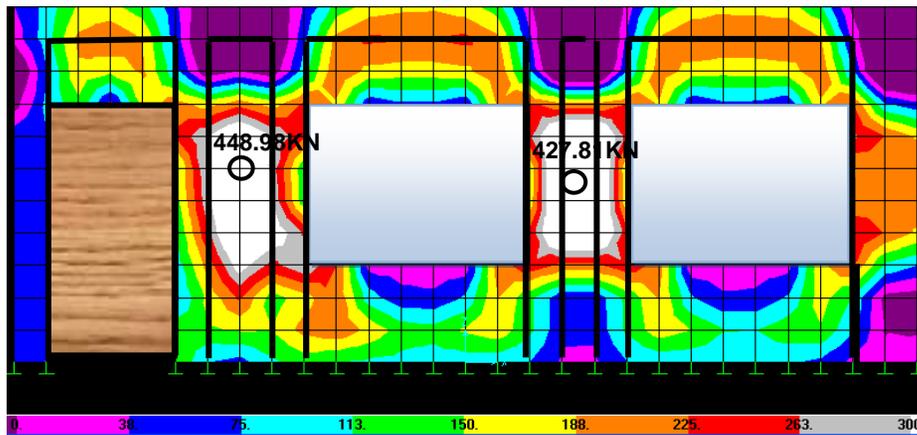


Figura 8.29. Esfuerzo cortante (σ_{12}), confinamiento tipo 2, fachada 3

La siguiente tabla presenta un resumen del comportamiento que tiene la tercera fachada cuando se confina. Tomando como referencia la tercera fachada simple. Se aprecia como las deflexiones siempre disminuyen cuando se confina, pero al realizar el primer confinamiento (CT1) los esfuerzos cortantes y normales crecen y esto no es conveniente, por lo contrario cuando se realiza el segundo confinamiento (CT2) disminuyen los esfuerzos en poca proporción.

	Fachada 3 simple	Fachada 3 (CT1)	Incremento (%)	Fachada 3 (CT2)	Disminución (%)
δ máx (mm)	1.27	0.997	21 (disminuyo)	0.6	53
σ máx (KN/m ²)	1473	2844	93	1470	0.2
τ máx (KN/m ²)	482	741	54	449	7

Tabla 8.7. Comparación entre la tercera fachada simple y confinada

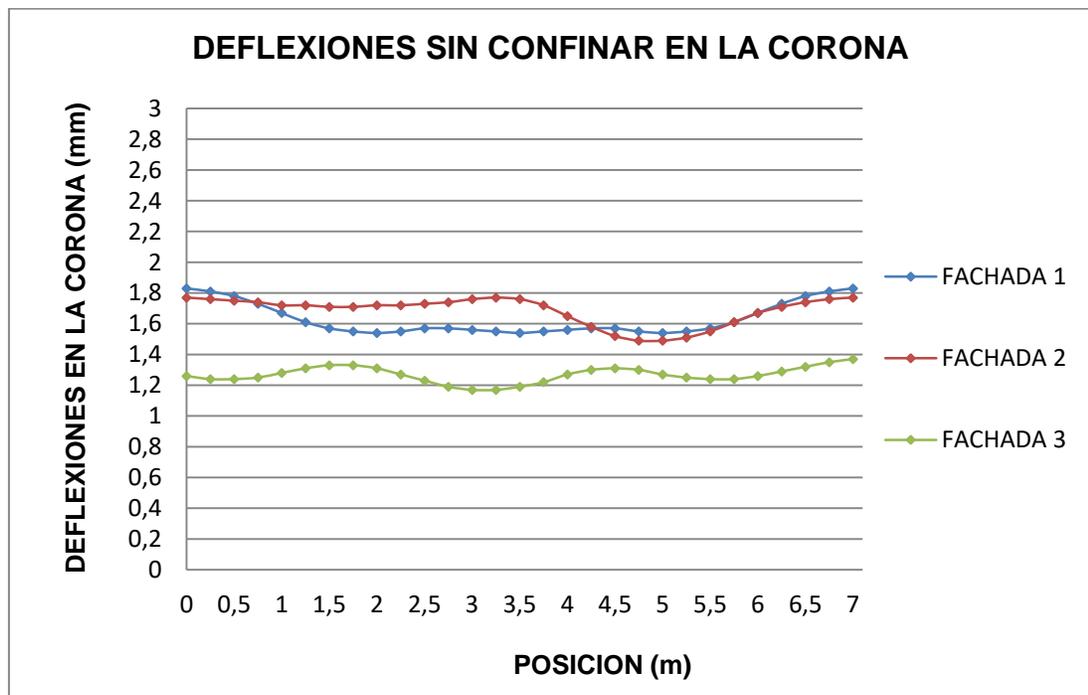
En esta tabla se puede apreciar por efecto de las aberturas el incremento de deflexiones, esfuerzos cortantes y normales a tensión que presenta la tercera fachada respecto al muro sólido simple. En la tercera fachada el primer tipo de confinamiento (CT1) los incrementos son los más grandes que se hayan presentado en todas las fachadas y al aplicar el segundo confinamiento también los incrementos son más grandes que los de las otras dos fachadas, pero en menor proporción que en el primer confinamiento (CT1), además son menores que los de la tercera fachada simple.

	Muro sólido simple	Fachada 3 simple	Incremento (%)	Fachada 3 (CT1)	Incremento (%)	Fachada 3 (CT2)	Incremento (%)
δ máx (mm)	0.247	1.27	414	0.997	303	0.6	142
σ máx (KN/m ²)	486	1473	203	2844	485	1470	202
τ máx (KN/m ²)	132	482	265	741	461	449	240

Tabla 8.8. . Comparación entre el muro solido simple y la tercera fachada

9. OBSERVACIONES

- Cuando los muros de fachada no se confinan, presentan grandes desplazamientos. El mejor comportamiento lo presenta la tercera fachada cuyo desplazamiento máximo es de 1.37mm, mientras que el de la primera fachada es de 1.83mm y el de segunda es de 1.7mm, En este caso particular estando la puerta lo más cerca al inicio del muro (lado izquierdo), la fachada tres presentará menores deflexiones.



Grafica 9. Comparación deflexiones sin confinar en la corona de fachadas estudiadas

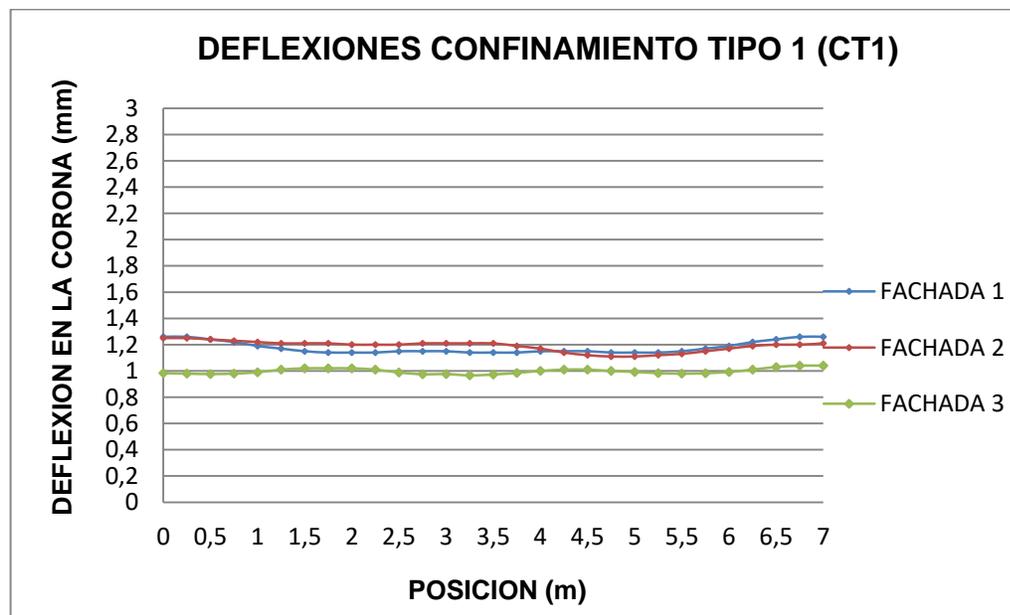
- La siguiente comparación se puede realizar para las fachadas sin confinamiento, ya que es a la única que se le puede medir la rigidez como la suma de las rigideces de los muros sólidos y se puede apreciar como los

resultados analíticos son exactos, pero refleja el comportamiento del modelo en una proporción pequeña respecto a los resultados dados por el programa SAP, lo que quiere decir que las fachadas presentan mayor rigidez que la calculada. Sé puede apreciar que la primera fachada es la que presenta mayores deflexiones tanto analíticamente como por el programa SAP.

FACHADA	DEFLESION ANALITICA (mm)	DEFLESION SAP PROMEDIO (mm)
1	13.29	1.63
2	6.58	1.60
3	9.58	1.27

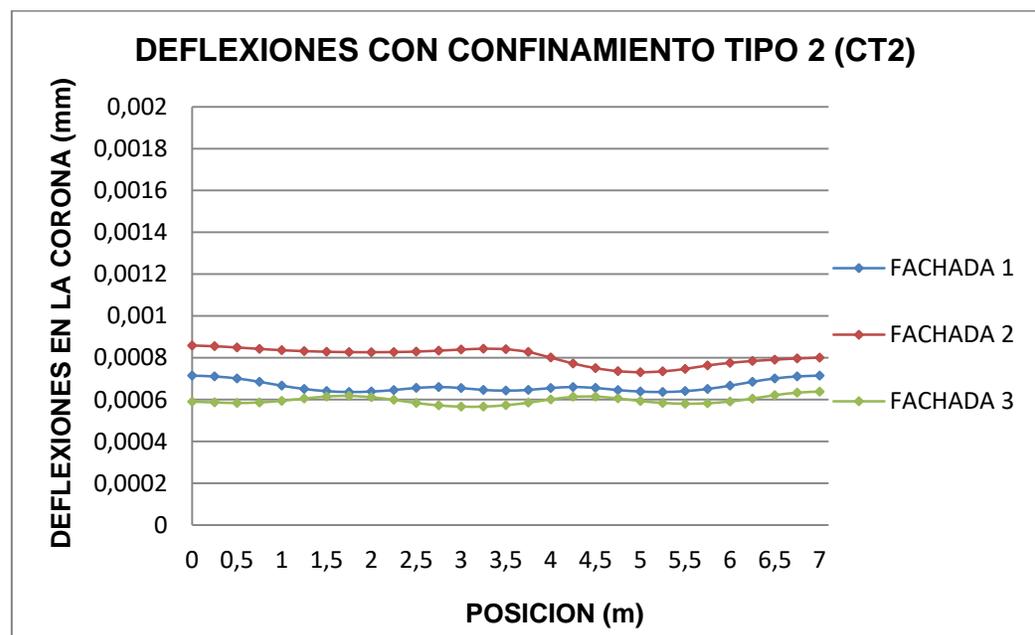
Tabla 9. Comparación entre deflexiones promedio analíticas y dadas por el SAP

- Con el confinamiento tipo 1 (CT1) disminuye las deflexiones en los tres tipos de fachadas. Conserva el comportamiento del muro sin confinar, refiriéndose a la tercera fachada, la cual sigue siendo la más favorable presentando las menores deflexiones de 1.04mm, respecto a la primera y segunda fachada que se desplazan como máximo aproximadamente 1.25mm.



Grafica 9.1 . Comparación deflexiones confinamiento 1 fachadas estudiadas

- Cuando se realiza el confinamiento tipo 2 (CT2), la tercera fachada sigue teniendo el mejor comportamiento siendo la que menos se deforma en toda su longitud de valor máximo 0.715mm, por ello se considera el tipo de fachada más favorable de construcción, en cuanto a deflexiones, además conserva el principio; entre mayor sea el número de columnetas de concreto reforzado en los lugares necesarios se logrará tener menores deflexiones y el muro con confinamiento trabajará mejor, logrando asumir los esfuerzos y la posible aparición de fisuras.
- Se aprecia en todas las fachadas cómo en el confinamiento tipo 2 (CT2) siguen disminuyendo las deflexiones, pero la segunda fachada debido al tamaño de abertura de la puerta es el tipo de estructura que disminuye en menos magnitud respecto a las otras dos fachadas, sin embargo la disminución es apreciable.



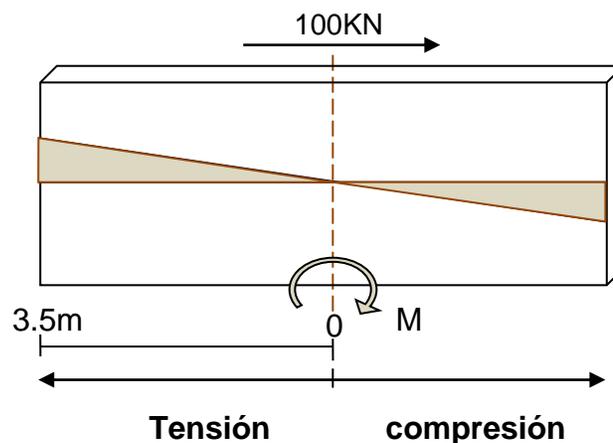
Grafica 9.2. Comparación deflexiones confinamiento 2 fachadas estudiadas

- En conclusión la tercera fachada es la que presenta menores deflexiones en todos los estado de análisis como se aprecia en la siguiente tabla

	DEFLEXIONES MODELADAS EN EL PROGRAMA SAP		
	SIMPLE	CONFINAMIENTO TIPO 1 (CT1)	CONFINAMIENTO TIPO 2 (CT2)
FACHADA 1	1.63	1.18	0.66
FACHADA 2	1.60	1.19	0.81
FACHADA 3	1.27	0.997	0.60

Tabla 9.1 Comparación de deflexiones modeladas en el programa SAP de las fachadas simples y confinadas.

- Si se mira la siguiente figura el sentido del momento actuante sobre el muro de mampostería depende del sentido de aplicación de la carga lateral, dividiendo este en dos secciones sometidas; una a tensión y otra a compresión. El momento se concentra en el centro de la cara frontal del muro. Calculando el valor de los esfuerzos analíticamente se produce el cero en todo el centro del muro, iniciando desde este punto las tensiones y compresiones, las cuales crecen linealmente, además en este punto se produce el cambio de esfuerzos actuantes en la estructura. A diferencia de la modelación realizada con el SAP, donde los esfuerzos crecen de forma parabólica desde el centro del muro incrementándose significativamente en los extremos



- La siguiente tabla presenta los esfuerzos normales máximos presentes en la mampostería, respecto al muro sólido simple representando el 100%. Cuando no se realiza ningún confinamiento la tercera fachada es la que presenta menores incrementos, pero al confinar las fachadas es la segunda la que mejor se comporta en cuanto a esfuerzos normales a tensión, ya que el incremento es menor a medida que se confina, mientras que la primera fachada se comporta mejor para el primer confinamiento.

FACHADA	INCREMENTO ESFUERZOS NORMALES (%)		
	Sin confinamiento	Confinamiento tipo 1 (CT1)	Confinamiento tipo 2 (CT2)
1	234	175	223
2	256	254	229
3	203	485	305

Tabla 9.2. Incremento de los esfuerzos normales máximos presentes en la mampostería respecto al muro sólido simple o sin confinar

- La siguiente tabla presenta los esfuerzos cortantes máximos presentes en la mampostería, respecto al muro sólido simple representando el 100%. Para cortantes la fachada más favorable es la primera y la más desfavorable es la tercera y se podría decir que la segunda presenta un buen comportamiento, ya que a medida que se va confinando los incrementos son menores.

FACHADA	INCREMENTO (%)		
	Sin confinar	Confinamiento tipo 1 (CT1)	Confinamiento tipo 2 (CT2)
1	224	195	165
2	294	273	250
3	265	461	240

Tabla 9.3. Incremento de los esfuerzos cortantes máximos presentes en la mampostería respecto al muro sólido simple

10. CONCLUSIONES

- Cuando se confina un muro de mampostería sin aberturas, se presenta una redistribución de esfuerzos en muro, haciendo que los máximos se concentren hacia las franjas de confinamiento de concreto reforzado (columnetas y viguetas), la cual tiene mejor condición de asumir dichos esfuerzos sin presentar fisuraciones.
- Cuando el muro presenta aberturas se debe hacer evaluación de la posición del confinamiento ya que no toda posición de las columnetas es adecuada, y muchas veces la no colocación del confinamiento en el sitio apropiado hace que esta redistribución de esfuerzos incremente la afectación sobre muchos de los puntos críticos presentes en la cara del muro.
- Se logra demostrar que si al muro de sección completa se le afecta su composición física realizándole aberturas pierde gran porcentaje de rigidez ante cargas laterales, incrementa los puntos frágiles en la sección del muro quedando muy desprotegido a fuerzas horizontales que pueden hacer que aparezcan fisuras.
- Para la primera fachada no es adecuado el confinamiento tipo 1 (CT1) ya que en el muro de mampostería aun quedan esfuerzos grandes en las esquinas de la puerta y ventanas generando puntos de posibles fisuraciones, es por ello que se recomienda el confinamiento tipo 2 (CT2) solamente si se le adicionan viguetas en la parte superior de las aberturas y aunque en la parte inferior de las ventanas también están presentes grandes tensiones el peso propio ayudará a estabilizar. Cuando se realice la redistribución de esfuerzos el confinamiento será el que asume los esfuerzos máximos y la mampostería quede protegida y no presente fisuraciones. El comportamiento de cortante en este tipo de fachada no tiene gran afectación, ya que el concreto asume los que podrían generar algún problema, por ello predomina el esfuerzo normal a tensión.
- La segunda fachada, aunque el muro se ve muy desprotegido si es posible utilizarlo como fachada y que esta tenga un buen comportamiento a flexión y

cortante cuando se le realiza el confinamiento perimetral adicionando columnetas en los lados de puertas y ventanas, además viguetas en la parte superior de las aberturas tratando de proteger los muros completos.

- Favorablemente la segunda fachada sin importar el tipo de confinamiento siempre presentó disminución de los esfuerzos máximos presentes en la mampostería, es por ello que se considera la fachada más favorable.
- Para la tercera fachada no se recomienda recurrir al confinamiento tipo 1 (CT1), ya que aumenta los esfuerzos cortantes y normales a tensión en toda la cara frontal del muro y probablemente presentará fisuraciones, debido a que la distribución se concentra en algunos puntos convirtiéndolos en críticos. Cuando se introducen columnetas en los bordes de puertas y ventanas y viguetas en la parte superior de los orificios podría ser el confinamiento apropiado ya que logra una reducción significativa de la magnitud de los esfuerzos protegiendo los muros de mampostería. En todos los estados este tipo de fachada es apropiada en cuanto a deflexiones.
- Los tres tipos de fachada se pueden construir si se les realiza el confinamiento adecuado, el cual consiste en un confinamiento de concreto reforzado perimetral, adicionándole columnetas a lado de los orificios y viguetas en la parte superior de las aberturas, así los esfuerzos cortantes y normales a tensión disminuyan en la mampostería, por lo cual con un buen confinamiento esta fachada asumirá mejor los esfuerzos generados por el sismo sin presentar fisuraciones.
- El confinamiento como se mostró en la investigación puede ser favorable o desfavorable, por lo tanto para los intereses de los constructores se recomendará al diseñador realizar un estudio detallado del tipo de confinamiento a utilizar a la hora de realizar el diseño de las fachadas.
- Es necesario que en todas las obras de mampostería confinada, se realicen todas las exigencias en la construcción del muro de fachada y su confinamiento.

11. BIBLIOGRAFIA

1. Galviz F.A, Mosquera J.M. Construcciones de uno y dos pisos muros estructurales. Rigidez de desplazamiento lateral. Universidad del cauca, 2002.
2. AIS. Normas colombianas de diseño y construcción Sismo-Resistente (NSR-98). Ley 400 de 1997.
3. Zuluaga F. Software para modelamiento de mallas de elementos finitos. Universidad del Cauca, 2003
4. Manual del usuario programa SAP
5. Norma sismo resistente de 1998.
6. www.arghys.com / construcción / reforzado-concreto
7. www.mapesatripod.com
8. Rivera Gerardo A., concreto simple. Universidad del cauca
9. Hernán Ramírez Ovalle. Análisis de muros con aberturas por el método de los elementos finitos 2006