

A large architectural drawing of a modern building, rendered in white lines on a dark gray background. The drawing is partially obscured by a large, dark red, rounded rectangular shape on the left side. The building has multiple stories, with windows and structural elements clearly defined by the lines.

**MANUAL DE DISEÑO
POR CORTANTE Y
FLEXO-CORTANTE**
PARA MUROS CONFINADOS DE CCA

Dr. Jorge Luis Varela Rivera
Dr. Juan Cacep Rodríguez



AIRCRETE®
MEXICO

Empresa mexicana dedicada a la producción y comercialización de bloques y paneles de concreto celular de autoclave (CCA) para construcción.

Este manual tiene fines informativos y no sustituye el análisis, diseño ni validación técnica requeridos en cada proyecto. Aircrete México no se responsabiliza por su uso sin revisión profesional. Se recomienda que toda aplicación sea evaluada por personal técnico calificado. Para asesoría adicional, contacte a un representante de Aircrete México.

CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN</u>	04
<u>DESARROLLO DE ECUACIONES DE DISEÑO</u>	08
• Ecuación de diseño por cortante en función de la relación de aspecto (H/L)	08
• Ecuación de diseño por cortante en función de la relación claro de cortante – longitud (M/VL)	11
• Ecuación de diseño por flexo-cortante	16
<u>EJEMPLOS DE DISEÑO</u>	19
• Ejemplo 1. Muro confinado de CCA en volado	19
• Ejemplo 2. Muro confinado de CCA acoplado de un nivel	22
• Ejemplo 3. Muro confinado de CCA acoplado de dos niveles	27
<u>REFERENCIAS</u>	35

01.

INTRODUCCIÓN

El **Concreto Celular de Autoclave (CCA)** es un material ligero prefabricado compuesto por cemento Portland, cal, arena sílica, yeso, agua y aluminio en polvo. El CCA se fabrica mezclando los componentes anteriores en proporciones controladas en un molde metálico hasta formar una mezcla fluida. El aluminio en polvo funciona como un agente expansivo, por lo tanto, la mezcla incrementa su volumen entre dos y tres veces en 4 horas aproximadamente. Después de la expansión,

de 450 kg/m³. Entre las propiedades mecánicas del CCA se encuentran la resistencia a compresión (f_{CCA}), la resistencia a tensión por compresión (f_{tCCA}), la resistencia a tensión por flexión (f_{rCCA}) y el módulo de elasticidad (E_{CCA}).

La resistencia a compresión del CCA se determina de acuerdo con la norma ASTM C1693-11 (2017). Esta norma es para CCA. Se considera el ensaye de al menos 3 cubos de 10 cm por lado (**Figura 1**).



Figura 1. Ensaye a compresión de un cubo de CCA

la mezcla es capaz de soportar su peso propio y mantener su forma. Posteriormente, la mezcla se retira del molde y se corta para formar las piezas deseadas. Las piezas se introducen en un autoclave bajo presión y temperatura constante entre 10 y 12 horas. Finalmente, las piezas se retiran del autoclave, se empaquetan y están listas para su uso. El CCA se produce en clases, por ejemplo 2, 4 y 6 (ASTM-C1693-11, 2017). Las clases dependen de la resistencia a compresión y de la densidad seca del CCA. Por ejemplo, la Clase 4, se refiere a una resistencia a compresión mínima de 40 kg/cm² (4 MPa) y una densidad seca mínima

Para el caso del CCA clase 4, el promedio de la resistencia a compresión reportado en trabajos experimentales es de 48.37 kg/cm² (Varela et al., 2018; Alonzo, 2021; Varela et al., 2023; Alcocer, 2024 y Varela et al., 2025).

La resistencia a tensión por compresión del CCA se determina de acuerdo con la norma ASTM C1006/C1006M-20A (2020). Esta norma es para piezas de mampostería. Se considera el ensaye de al menos 5 bloques de 15 cm x 20 cm x 60 cm (espesor x altura x longitud) (**Figura 2**). Para el

caso del CCA clase 4, el promedio de la resistencia a tensión por compresión reportado en trabajos experimentales es de 4.17 kg/cm^2 (Varela et al., 2018; Alonzo, 2021; Varela et al., 2023; Alcocer, 2024 y Varela et al., 2025).

La adherencia entre el CCA y el mortero de pared delgada se determina de acuerdo con la norma ASTM C1660-24 (2024). Esta norma es para CCA. Se considera el ensaye de al menos 5 especímenes formados por dos cubos de 10 cm por



Figura 2. Ensayo a tensión por compresión de un bloque de CCA

La resistencia a tensión por flexión del CCA se determina de acuerdo con la norma ASTM C78/C78M-22 (2022). Esta norma es para concreto. Se considera el ensaye de al menos 5 bloques de 15 cm x 20 cm x 60 cm (espesor x altura x longitud) (**Figura 3**). Para el caso del CCA clase 4, el promedio de la resistencia a tensión por flexión reportado en trabajos experimentales es de 7.48 kg/cm^2 (Alonzo, 2021 y Alcocer, 2024).

lado unidos con una junta de mortero de pared delgada (**Figura 5**). Los especímenes se ensayan con condiciones de carga y apoyo similares a las descritas para la prueba de tensión por compresión del CCA. Se espera que los agrietamientos y por tanto la falla sean en el CCA y no en la junta de mortero de pared delgada como se presenta en la **Figura 5**.



Figura 3. Ensayo a tensión por flexión de un bloque de CCA

El módulo de elasticidad del CCA se determina de acuerdo con la norma ASTM C1693-11 (2017). Esta norma es para CCA. Se considera el ensaye de al menos 3 prismas de 10 cm x 10 cm x 20 cm (lado x lado x altura) (**Figura 4**). Para el caso del CCA clase 4, el promedio del módulo de elasticidad reportado en trabajos experimentales es de 20190 kg/cm^2 (Pérez, 2019 y Varela et al., 2025).

El CCA se utiliza en México para la construcción de viviendas, oficinas, locales comerciales y hoteles, entre otros, con alturas de aproximadamente cinco niveles. Dichas edificaciones se pueden construir utilizando muros confinados de CCA y losas de CCA.

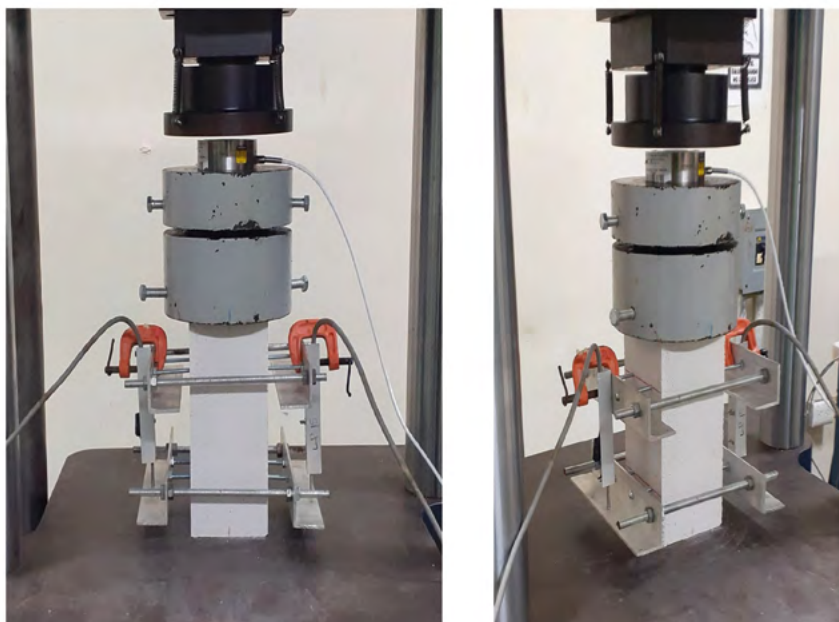


Figura 4. Ensayo a compresión de un prisma de CCA



Figura 5. Ensayo a tensión por compresión de un espécimen de CCA

Los muros confinados se construyen utilizando bloques sólidos de diversas dimensiones, por ejemplo, 15 cm x 20 cm x 60 cm (espesor x altura x longitud). El sistema ante cargas laterales de dichas edificaciones está formado por muros confinados de CCA en volado o muros confinados de CCA acoplados. Las traveses de acoplamiento son de concreto reforzado.

En los Estados Unidos de América se cuenta con un reglamento para el diseño de estructuras de mampostería (TMS 402/602-22, 2022). En este reglamento se incluyen especificaciones para el diseño de muros no reforzados y reforzados de CCA, así como especificaciones para el diseño de traveses de

CCA reforzadas. Por otro lado, en México se cuenta con normas técnicas para el diseño de estructuras de mampostería (NTCM) (GCM, 2023). En estas normas se incluyen especificaciones para el diseño de muros reforzados interiormente y confinados construidos con piezas de concreto o arcilla. Actualmente en México no existen reglamentos donde se consideren explícitamente recomendaciones para el diseño de muros confinados de CCA. El objetivo de este manual es presentar el desarrollo de ecuaciones de diseño para determinar la resistencia a cortante (Varela et al., 2023 y Varela et al., 2025) y flexo-cortante (Varela et al., 2023) en el plano de muros confinados de CCA. Se incluyen ejemplos de diseño para muros confinados de CCA en volado y acoplados.

CELUCRETO®

Es concreto celular de autoclave, un material de construcción prefabricado ligero, resistente y aislante.

02.

DESARROLLO DE ECUACIONES DE DISEÑO

Se presenta el desarrollo de ecuaciones de diseño para determinar la resistencia a cortante y flexo-cortante en el plano de muros confinados de CCA. La resistencia a cortante se asocia con la formación de los primeros agrietamientos diagonales en el panel de los muros (**Figura 6**). La resistencia a flexo-cortante se asocia con la formación de una grieta horizontal en los castillos y su posterior propagación de forma diagonal en el panel de los muros (**Figura 7**). Se considera que la grieta horizontal se forma a una altura igual a la longitud media medida desde la base de los muros. Los agrietamientos diagonales y agrietamientos por flexo-cortante fueron observados en pruebas de laboratorio como se presenta posteriormente. Para el caso de la resistencia a cortante se presentan dos ecuaciones de diseño, la primera en función de la relación de aspecto ($\frac{H}{L}$) y la segunda en función de la relación claro de cortante entre longitud ($\frac{M}{VL}$) de los muros. Para el caso de la resistencia a

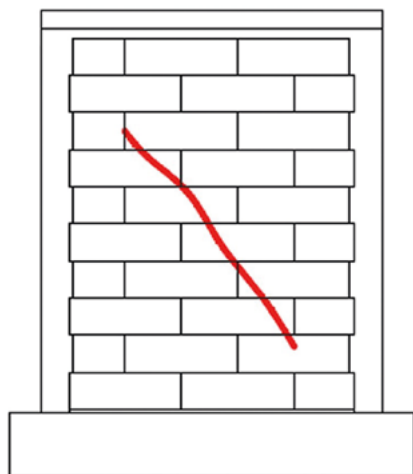


Figura 6. Grieta diagonal por cortante

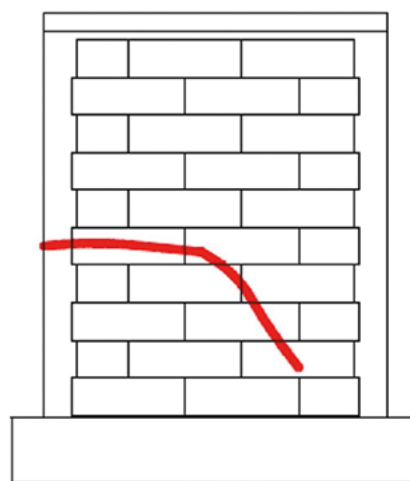


Figura 7. Grieta por flexo-cortante

flexo-cortante se presenta una ecuación de diseño en función de la relación de aspecto ($\frac{H}{L}$) de los muros. Las ecuaciones anteriores están ajustadas a valores medios como se describe posteriormente. La propuesta de ecuaciones de diseño más conservadoras deberá ser realizada por integrantes de comités de normas de mampostería.

Ecuación de diseño por cortante en función de la relación de aspecto (H/L)

La ecuación de diseño por cortante en función de la relación de aspecto ($\frac{H}{L}$) se basa en el trabajo de Varela et al. (2023). En dicho trabajo se estudiaron 7 muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Se consideraron muros en volado a escala natural. Las cargas laterales se aplicaron en el extremo superior de los muros. En la **Tabla 1** se presentan las características de los muros. En dicha

Muro	H (cm)	L (cm)	t (cm)	$\frac{H}{L}$	f_{CCA} (kg/cm ²)	f_{iCCA} (kg/cm ²)
S1	240	456	15	0.53	44.13	3.88
M1	240	336	15	0.71	44.13	3.88
W1	240	336	15	0.71	53.88	4.65
W2	240	195	15	1.23	53.88	4.65
W3	240	195	15	1.23	53.88	4.65
W4	240	195	15	1.23	53.88	4.65
W6	240	91	15	2.64	53.88	4.65

Tabla 1. Características de los muros en volado a escala natural

tabla, H , L , y t son la altura, la longitud y el espesor de los muros, respectivamente. Adicionalmente, f_{CCA} y f_{iCCA} son la resistencia a compresión y la resistencia a tensión por compresión del CCA, respectivamente. En la **Tabla 2** se presenta la carga lateral (V) y la carga axial (P) asociadas con la formación de los

primeros agrietamientos diagonales de los muros. Se consideraron ciclos de carga lateral positivos y negativos. En la **Figura 8** se presentan muros donde se observan los primeros agrietamientos diagonales. En esta figura se observa que los agrietamientos son en los bloques y no en las juntas.

Muro	Ciclo	V (kg)	P (kg)
S1	Negativo	23936	20657
M1	Negativo	18869	16723
M1	Positivo	19705	16542
W1	Negativo	16120	15969
W1	Positivo	17514	16192
W2	Negativo	10339	9653
W3	Positivo	9917	14808
W3	Negativo	11024	14763
W4	Negativo	8736	22218
W4	Positivo	9046	22223
W6	Negativo	3548	4937

Tabla 2. Carga lateral y carga axial de los muros en volado a escala natural

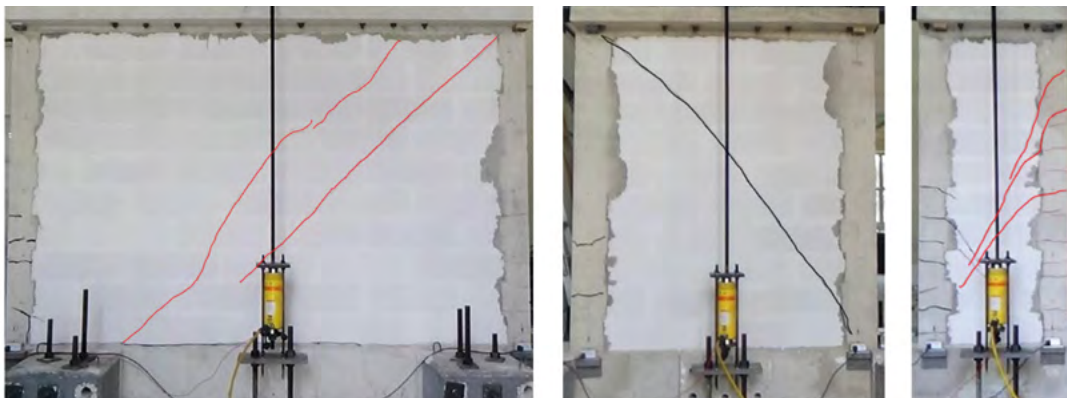


Figura 8. Muros donde se observan primeros agrietamientos diagonales

En la **Figura 9** se presentan las cargas laterales normalizadas en función de la relación de aspecto ($\frac{H}{L}$) de los muros. Se consideró una relación lineal entre las cargas laterales normalizadas y la relación de aspecto. Se determinó la ecuación de la línea recta, la cual se presenta en la **Ecuación 1**. La resistencia a cortante de los muros (V_{c1}) se definió por dicha ecuación. La resistencia a cortante se relacionó

con la resistencia a tensión por compresión del CCA (f_{tCCA}) debido a que los agrietamientos diagonales se presentan en los bloques y no en las juntas. En la **Ecuación 1**, λ es un factor donde se considera la reducción de la resistencia a cortante de muros con cargas axiales de compresión normalizadas mayores que 0.10. El valor de λ se determina con las **Ecuaciones 2 y 3**.

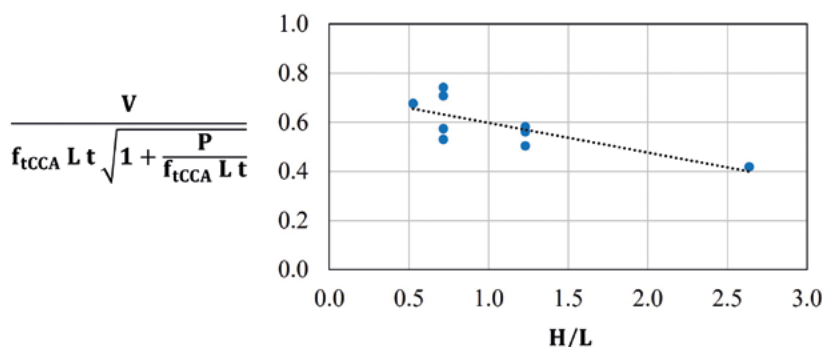


Figura 9. Cargas laterales normalizadas en función de la relación H/L

$$V_{c1} = \left(0.72 - 0.12 \frac{H}{L}\right) f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P \lambda}{f_{tCCA} L t}} \quad (1)$$

$$si \quad 0 \leq \frac{P}{f_{CCA} L t} \leq 0.10 \quad \lambda = 1 \quad (2)$$

$$si \quad 0.1 < \frac{P}{f_{CCA} L t} \leq 0.15 \quad \lambda = 3 - 20 \frac{P}{f_{CCA} L t} \quad (3)$$

Muro	Ciclo	$\frac{H}{L}$	P (kg)	V (kg)	V_{c1} (kg)	$\frac{V_{c1}}{V}$
S1	Negativo	0.53	20657	23936	23247	0.97
M1	Negativo	0.71	16723	18869	16894	0.90
M1	Positivo	0.71	16542	19705	16852	0.86
W1	Negativo	0.71	15969	16120	19275	1.20
W1	Positivo	0.71	16192	17514	19330	1.10
W2	Negativo	1.23	9653	10339	10178	0.98
W3	Positivo	1.23	14808	9917	11250	1.13
W3	Negativo	1.23	14763	11024	11241	1.02
W4	Negativo	1.23	22218	8736	8857	1.01
W4	Positivo	1.23	22223	9046	8854	0.98
W6	Negativo	2.64	4937	3548	3415	0.96
Promedio					1.01	
CV					0.09	

Tabla 3. Resistencia a cortante experimental y analítica de los muros confinados de CCA (H/L)

Las resistencias a cortante experimentales (V) y analíticas (V_{cl}) de los muros confinados de CCA se presentan en la **Tabla 3**. Las resistencias a cortante analíticas se calcularon utilizando la **Ecuación 1**. En la **Tabla 3** se presenta también la relación entre las resistencias a cortante analíticas y experimentales de los muros ($\frac{V_{cl}}{V}$), el promedio de dicha relación y el coeficiente de variación (CV) correspondiente. Se observa que la relación entre la resistencia a cortante analítica y experimental de los muros confinados de CCA varió entre 0.86 y 1.20, con un promedio de 1.01 (**Tabla 3**). El coeficiente de variación fue de 0.09. Lo anterior indica que la resistencia a cortante de dichos muros se predice bien con la **Ecuación 1**.

Ecuación de diseño por cortante en función de la relación claro de cortante – longitud (M/VL)

La ecuación de diseño por cortante en función de la relación claro de cortante – longitud (M/VL) se basa en el trabajo de Varela et al. (2025). En dicho trabajo se consideraron los 7 muros confinados de CCA en volado descritos anteriormente en la **Tabla 1**. Adicionalmente, se consideraron 2 muros confinados de CCA en volado y 4 muros confinados de CCA acoplados sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Se consideraron 2 muros acoplados de un nivel y 2 muros acoplados de dos niveles. Las trabes de acoplamiento fueron de concreto reforzado. Los 6 muros anteriores se construyeron a escala 1:2. Las cargas laterales se aplicaron en los extremos superiores de los muros. Se ha demostrado que el comportamiento de muros confinados de CCA a escala natural y reducida sujetos a cargas laterales es similar (Varela et al., 2024). En la **Tabla 4** se presentan las características de los muros en volado a escala 1:2. Para dichos muros, la relación M/VL es igual a la relación H/L . En la **Tabla 5** se presentan las características de los muros acoplados a escala 1:2.

En dicha tabla, MII, MID, MSI y MSD se refieren al muro inferior izquierdo, inferior derecho, superior izquierdo y superior derecho, en su caso, de los muros acoplados, respectivamente. En la **Tabla 6** se presenta la carga lateral (V) y la carga axial (P) asociadas con la formación de los primeros agrietamientos diagonales de los muros en volado a escala 1:2. Se consideraron ciclos de carga lateral positivos y negativos. En la **Tabla 7** se presenta la carga lateral (V) y la carga axial (P) asociadas con la formación de los primeros agrietamientos diagonales de los muros individuales MII, MID, MSI y MSD de los muros acoplados a escala 1:2. En la **Figura 10** se presenta un muro acoplado de un nivel donde se observan los primeros agrietamientos diagonales. Similarmente, en la **Figura 11** se presenta un muro acoplado de dos niveles donde se observan los primeros agrietamientos diagonales. En dichas figuras se observa que los agrietamientos diagonales son en los bloques y no en las juntas.

Muro	H (cm)	L (cm)	t (cm)	$\frac{H}{L}$	$\frac{M}{VL}$	f_{CCA} (kg/cm ²)	f_{ICCA} (kg/cm ²)
W1-12	120	97.5	7.5	1.23	1.23	47.87	3.88
W3-12	120	52.5	7.5	2.29	2.29	47.87	3.88

Tabla 4. Características de los muros en volado a escala 1:2

Muro	Muro Individual	H (cm)	L (cm)	t (cm)	$\frac{H}{L}$	$\frac{M}{VL}$	f_{CCA} (kg/cm ²)	f_{iCCA} (kg/cm ²)
CW1-1.23	MII	120	97.5	7.5	1.23	0.70	47.87	3.88
CW1-1.23	MID	120	97.5	7.5	1.23	0.91	47.87	3.88
CW1-2.29	MII	120	52.5	7.5	2.29	1.26	47.87	3.88
CW1-2.29	MID	120	52.5	7.5	2.29	1.38	47.87	3.88
CW2-1.23	MII	120	97.5	7.5	1.23	1.03	47.87	3.88
CW2-1.23	MID	120	97.5	7.5	1.23	1.13	47.87	3.88
CW2-1.23	MSI	120	97.5	7.5	1.23	0.62	47.87	3.88
CW2-1.23	MSD	120	97.5	7.5	1.23	0.66	47.87	3.88
CW2-2.29	MID	120	52.5	7.5	2.29	1.57	47.87	3.88
CW2-2.29	MII	120	52.5	7.5	2.29	1.60	47.87	3.88
CW2-2.29	MSD	120	52.5	7.5	2.29	1.14	47.87	3.88
CW2-2.29	MSI	120	52.5	7.5	2.29	1.14	47.87	3.88

Tabla 5. Características de los muros acoplados a escala 1:2

Muro	Ciclo	V (kg)	P (kg)
W1-12	Positivo	2165	2274
W1-12	Negativo	2090	2332
W3-12	Positivo	1075	1225
W3-12	Negativo	976	1227

Tabla 6. Carga lateral y carga axial de los muros en volado a escala 1:2

Muro	Muro Individual	Ciclo	V (kg)	P (kg)
CW1-1.23	MII	Positivo	1906	827
CW1-1.23	MID	Positivo	3312	3591
CW1-2.29	MII	Positivo	1272	-205
CW1-2.29	MID	Positivo	1538	2536
CW2-1.23	MII	Positivo	1399	-1147
CW2-1.23	MID	Positivo	2694	5930
CW2-1.23	MSI	Positivo	2397	210
CW2-1.23	MSD	Positivo	2748	4232
CW2-2.29	MID	Positivo	1053	4369
CW2-2.29	MII	Negativo	1220	4559
CW2-2.29	MSD	Negativo	1183	-176
CW2-2.29	MSI	Negativo	1295	2982

Tabla 7. Carga lateral y carga axial de los muros MII, MID, MSI y MSD de los muros acoplados a escala 1:2

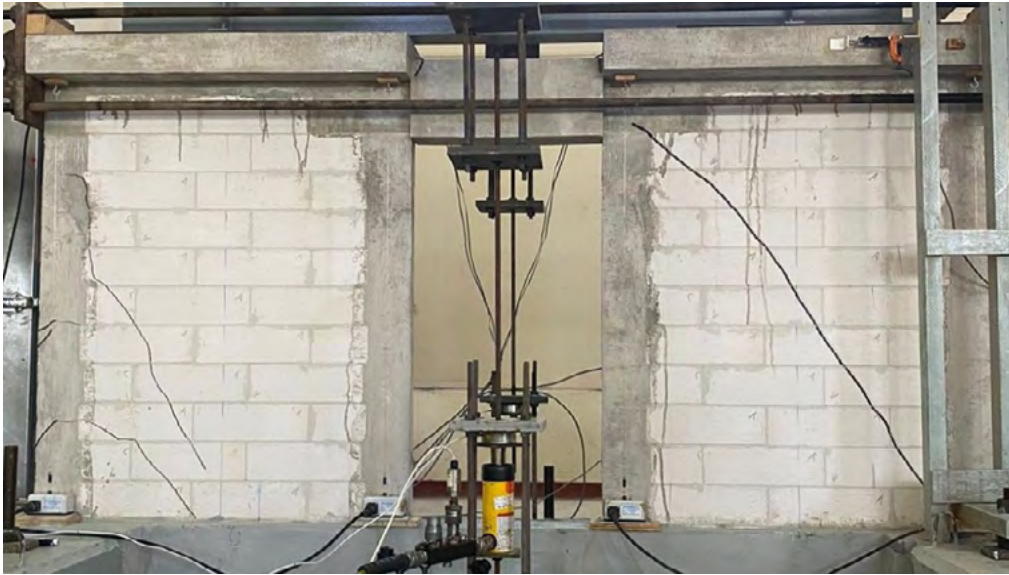


Figura 10. Muro acoplado de un nivel donde se observan primeros agrietamientos diagonales



Figura 11. Muro acoplado de dos niveles donde se observan primeros agrietamientos diagonales

En la **Figura 12** se presentan las cargas laterales normalizadas en función de la relación claro de cortante – longitud (M/VL) de los muros. Se consideró una relación lineal entre las cargas laterales normalizadas y la relación M/VL . Se determinó la ecuación de la línea recta, la cual se presenta en la **Ecuación 4**. En la **Figura 13** se presentan las cargas laterales normalizadas incluyendo la relación M/VL en función de la carga axial normalizada de los muros. Se consideraron dos relaciones lineales entre las cargas laterales normalizadas y la carga axial normalizada. Se determinaron las ecuaciones de ambas líneas

rectas, las cuales se presentan para la primera línea en la **Ecuación 5** y para la segunda en la **Ecuación 6**. En las ecuaciones anteriores, α es un factor donde se considera el incremento o la reducción de la resistencia a cortante de muros en función de las cargas axiales normalizadas. La resistencia a cortante (V_c) de los muros se definió por la **Ecuación 4**. La resistencia a cortante se relacionó con la resistencia a tensión por compresión del CCA (f_{tCCA}) debido a que los agrietamientos diagonales se presentan en los bloques y no en las juntas. La **Ecuación 4** es válida para muros en volado y muros acoplados.

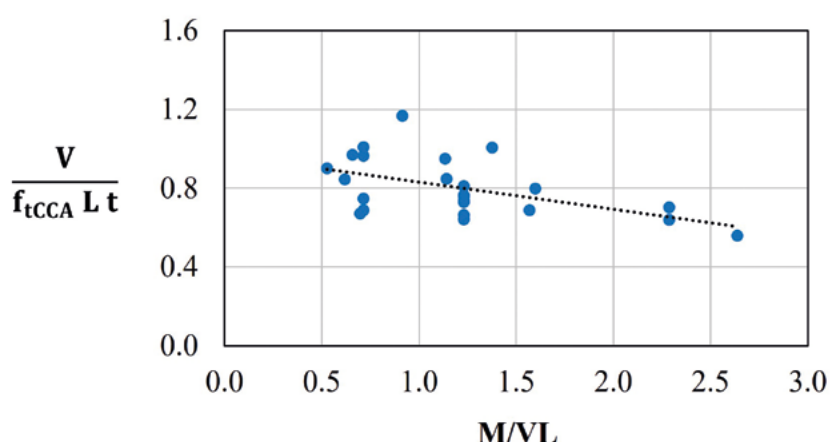


Figura 12. Cargas laterales normalizadas en función de la relación M/VL

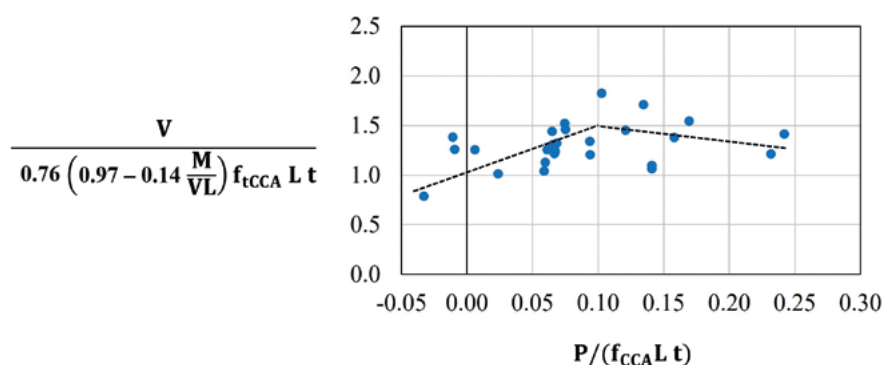


Figura 13. Cargas laterales normalizadas en función de la carga axial normalizada

$$V_{c2} = a \left(0.74 - 0.11 \frac{M}{VL} \right) f_{tCCA} L t \quad (4)$$

$$si \quad -0.05 \leq \frac{P}{f_{CCA} L t} \leq 0.10 \quad a = 1 + 1.48 \frac{P}{f_{CCA} L t} \quad (5)$$

$$si \quad 0.10 < \frac{P}{f_{CCA} L t} \leq 0.25 \quad a = 1.57 - 1.31 \frac{P}{f_{CCA} L t} \quad (6)$$

Las resistencias a cortante experimentales (V) y analíticas (V_{c2}) de los muros confinados de CCA se presentan en la **Tabla 8**. Las resistencias a cortante analíticas se calcularon utilizando la **Ecuación 4**. En la **Tabla 8** se presenta también la relación entre las resistencias a cortante analíticas y experimentales de los muros ($\frac{V_{c2}}{V}$), el promedio de dicha relación y

el coeficiente de variación (CV) correspondiente. Se observa que la relación entre la resistencia a cortante analítica y experimental de los muros confinados de CCA varió entre 0.69 y 1.30, con un promedio de 0.99 (**Tabla 8**). El coeficiente de variación fue de 0.15. Lo anterior indica que la resistencia a cortante de dichos muros se predice bien con la **Ecuación 4**.

Muro	Muro Individual	Ciclo	$\frac{H}{L}$	$\frac{M}{VL}$	P (kg)	V (kg)	V_{c2} (kg)	$\frac{V_{c2}}{V}$
S1	--	Negativo	0.53	0.53	20657	23936	23653	0.99
M1	--	Negativo	0.71	0.71	16723	18869	17291	0.92
M1	--	Positivo	0.71	0.71	16542	19705	17244	0.88
W1	--	Negativo	0.71	0.71	15969	16120	19585	1.21
W1	--	Positivo	0.71	0.71	16192	17514	19642	1.12
W2	--	Negativo	1.23	1.23	9653	10339	10480	1.01
W3	--	Positivo	1.23	1.23	14808	9917	11685	1.18
W3	--	Negativo	1.23	1.23	14763	11024	11675	1.06
W4	--	Negativo	1.23	1.23	22218	8736	11392	1.30
W4	--	Positivo	1.23	1.23	22223	9046	11392	1.26
W6	--	Negativo	2.64	2.64	4937	3548	3714	1.05
W1-12	--	Positivo	1.23	1.23	2274	2165	2215	1.02
W1-12	--	Negativo	1.23	1.23	2332	2090	2227	1.07
W3-12	--	Positivo	2.29	2.29	1225	1075	964	0.90
W3-12	--	Negativo	2.29	2.29	1227	976	964	0.99
CW1-1.23	MII	Positivo	1.23	0.70	827	1906	2081	1.09
CW1-1.23	MID	Positivo	1.23	0.91	3591	3312	2604	0.79
CW1-2.29	MII	Positivo	2.29	1.26	-205	1272	875	0.69
CW1-2.29	MID	Positivo	2.29	1.38	2536	1538	1254	0.81
CW2-1.23	MII	Positivo	1.23	1.03	-1147	1399	1516	1.08
CW2-1.23	MID	Positivo	1.23	1.13	5930	2694	2353	0.87
CW2-1.23	MSI	Positivo	1.23	0.62	210	2397	1957	0.82
CW2-1.23	MSD	Positivo	1.23	0.66	4232	2748	2673	0.97
CW2-2.29	MID	Positivo	2.29	1.57	4369	1053	1098	1.04
CW2-2.29	MII	Negativo	2.29	1.60	4559	1220	1080	0.89
CW2-2.29	MSD	Negativo	2.29	1.14	-176	1183	899	0.76
CW2-2.29	MSI	Negativo	2.29	1.14	2982	1295	1279	0.99
Promedio								0.99
CV								0.15

Tabla 8. Resistencia a cortante experimental y analítica de los muros confinados de CCA (M/VL)

Ecuación de diseño por flexo-cortante

La ecuación de diseño por flexo-cortante se basa en el trabajo de Varela et al. (2023). En dicho trabajo se estudiaron 8 muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Se consideraron muros en volado a escala natural. Las cargas laterales se aplicaron en el extremo superior de los muros. En la **Tabla 9** se presentan las características de los muros. En dicha tabla, E_{CCA} es el módulo de elasticidad del CCA. f_c , f_r y E_c son la resistencia a compresión, la resistencia a tensión por flexión y el módulo de elasticidad del concreto de los castillos de los muros. Adicionalmente, A_{tr} y S_{tr} son el área

de la sección transversal y el módulo de sección transversal transformados de CCA a concreto de los muros, respectivamente. En la **Tabla 10** se presenta la carga lateral (V) y la carga axial (P) asociadas con la formación de los primeros agrietamientos por flexo-cortante de los muros. Se consideraron ciclos de carga lateral positivos y negativos. En la **Figura 14** se presentan muros donde se observan los primeros agrietamientos por flexo-cortante. En dicha figura se observa que la parte diagonal de los agrietamientos son en los bloques y no en las juntas.

Muro	H (cm)	L (cm)	t (cm)	$\frac{H}{L}$	f_{CCA} (kg/cm ²)	E_{CCA} (kg/cm ²)	f_c (kg/cm ²)	f_r (kg/cm ²)	E_c (kg/cm ²)	A_{tr} (cm ²)	S_{tr} (cm ³)
W2	240	195	15	1.23	53.88	20993	158	27.53	141234	945.59	54417
M2	240	185	15	1.30	44.13	21809	196	33.24	157304	772.34	42217
M3	240	124	15	1.94	44.13	21809	194	33.07	156499	646.49	24028
W5	240	124	15	1.94	53.88	20993	165	27.53	144329	655.09	24130
M4	240	91	15	2.64	44.13	21809	174	31.32	148213	584.64	15384
W6	240	91	15	2.64	53.88	20993	162	27.53	143011	584.32	15382
W7	240	91	15	2.64	53.88	20993	165	27.53	144329	583.09	15374
W8	240	91	15	2.64	53.88	20993	160	27.53	142125	585.15	15388

Tabla 9. Características de los muros en volado a escala natural (flexo-cortante)

Muro	Ciclo	V (kg)	P (kg)
W2	Positivo	10461	9653
M2	Positivo	8836	9358
M2	Negativo	9069	9260
M3	Positivo	5178	6233
M3	Negativo	5003	6259
W5	Positivo	4633	6427
W5	Negativo	4328	6138
M4	Positivo	3480	5102
M4	Negativo	3672	4705
W6	Positivo	3623	4932
W7	Positivo	3513	7431
W7	Negativo	3619	7482
W8	Positivo	4131	10667
W8	Negativo	4287	10834

Tabla 10. Carga lateral y carga axial de los muros en volado a escala natural (flexo-cortante)

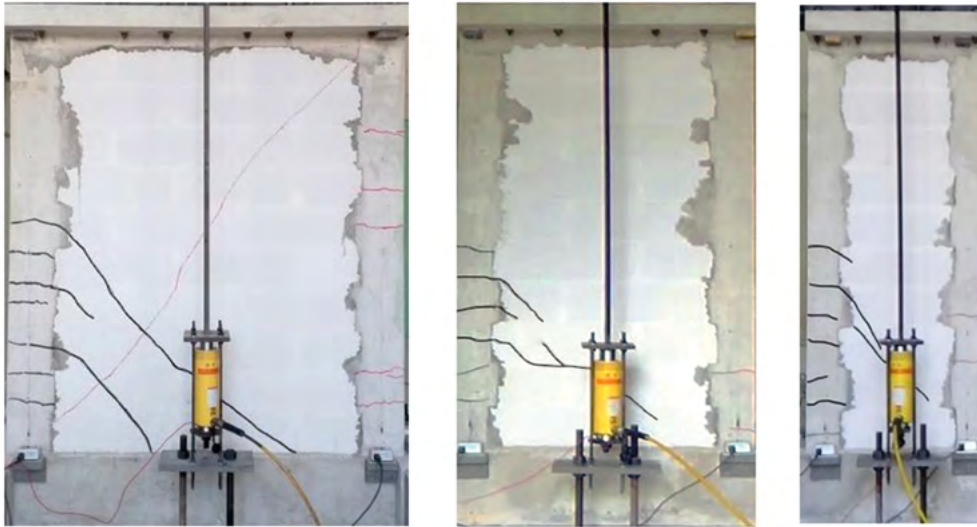


Figura 14. Muros donde se observan los primeros agrietamientos por flexo-cortante

En la **Figura 15** se presentan las cargas laterales normalizadas en función de la relación de aspecto (H/L) de los muros. Se consideró una relación lineal entre las cargas laterales normalizadas y la relación de aspecto. Se determinó la ecuación de la línea recta, la cual se presenta en la **Ecuación 7**. La resistencia a flexo-cortante (V_{fc}) de los muros se definió por dicha ecuación.

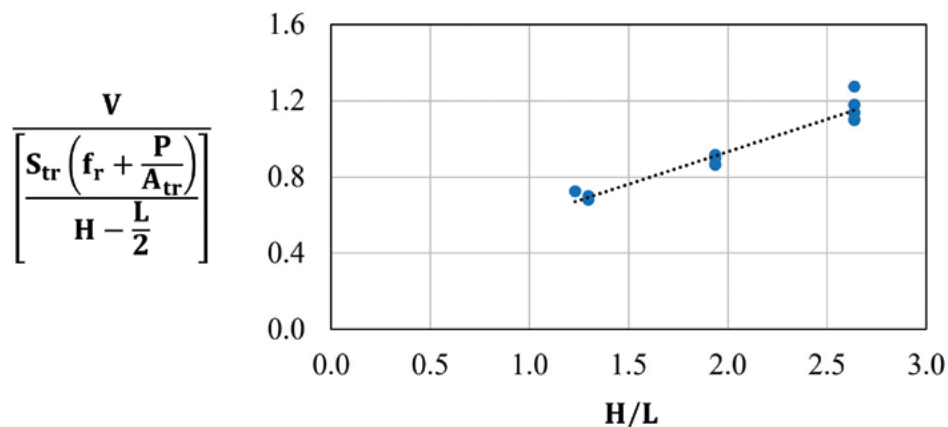


Figura 15. Resistencia a cortante normalizada en función de la relación de aspecto

$$V_{fc} = \left(0.25 + 0.34 \frac{H}{L} \right) \left[\frac{S_{tr} \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}} \right)}{H - \frac{L}{2}} \right] \quad (7)$$

Las resistencias a flexo-cortante experimentales (V) y analíticas (V_{fc}) de los muros confinados de CCA se presentan en la **Tabla 11**. Las resistencias a flexo-cortante analíticas se calcularon utilizando la **Ecuación 7**. En la **Tabla 11** se presenta también la relación entre las resistencias a flexo-cortante analíticas y experimentales de los muros ($\frac{V_{fc}}{V}$), el promedio de dicha relación y el coeficiente de

variación (CV) correspondiente. Se observa que la relación entre la resistencia a flexo-cortante analítica y experimental de los muros confinados de CCA varió entre 0.90 y 1.05, con un promedio de 1 (**Tabla 11**). El coeficiente de variación fue de 0.05. Lo anterior indica que la resistencia a flexo-cortante de dichos muros se predice bien con la **Ecuación 7**.

Muro	Ciclo	$\frac{H}{L}$	P (kg)	V (kg)	V_{fc} (kg)	$\frac{V_{fc}}{V}$
W2	Positivo	1.23	9653	10461	9633	0.92
M2	Positivo	1.30	9358	8836	8971	1.02
M2	Negativo	1.30	9260	9069	8946	0.99
M3	Positivo	1.94	6233	5178	5235	1.01
M3	Negativo	1.94	6259	5003	5240	1.05
W5	Positivo	1.94	6427	4633	4597	0.99
W5	Negativo	1.94	6138	4328	4542	1.05
M4	Positivo	2.64	5102	3480	3632	1.04
M4	Negativo	2.64	4705	3672	3571	0.97
W6	Positivo	2.64	4932	3623	3262	0.90
W7	Positivo	2.64	7431	3513	3650	1.04
W7	Negativo	2.64	7482	3619	3658	1.01
W8	Positivo	2.64	10667	4131	4151	1.00
W8	Negativo	2.64	10834	4287	4177	0.97
Promedio						1.00
CV						0.05

Tabla 11. Resistencia a flexo-cortante experimental y analítica de los muros confinados de CCA

03.

EJEMPLOS DE DISEÑO

Ejemplo 1. Muro confinado de CCA en volado

Se presenta un ejemplo de diseño para determinar la resistencia media a cortante y flexo-cortante en el plano de un muro en volado. Se consideró un muro confinado de CCA con altura (H), longitud (L) y espesor (t) (**Figura 16**). Se consideraron bloques de CCA clase 4. En la **Tabla 12** se presentan las propiedades geométricas del muro. En la **Tabla 13** se presentan las propiedades mecánicas del CCA y del concreto de los castillos del muro. En dicha tabla, f_{CCA} , f_{tCCA} y E_{CCA} son la resistencia a compresión, la resistencia a tensión por compresión y el módulo de elasticidad del CCA, respectivamente. f_c , f_r y E_c son la resistencia a compresión, la resistencia a tensión por flexión y el módulo de elasticidad del concreto

de los castillos, respectivamente. Se consideró un esfuerzo axial de compresión (σ) en el muro de 2.17 kg/cm^2 . Dicho esfuerzo corresponde a un muro de un edificio de CCA de un nivel. Se determinó el área de la sección transversal transformada de CCA a concreto (A_{tr}) y el módulo de sección transversal transformado de CCA a concreto (S_{tr}) del muro. En las transformaciones anteriores se despreció la contribución del acero de refuerzo longitudinal. La carga axial (P) del muro se determinó utilizando σ , L y t . En la **Tabla 14** se presentan los valores obtenidos para A_{tr} , S_{tr} y P . Para este caso, la relación claro de cortante entre longitud (M/VL) es igual a la relación de aspecto (H/L) del muro.

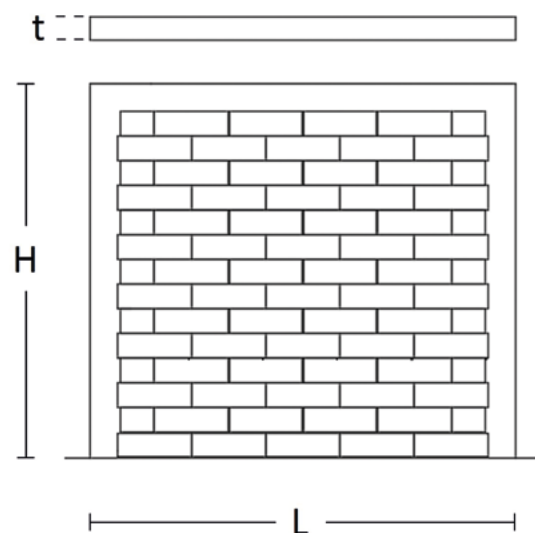


Figura 16. Dimensiones del muro en volado

H (cm)	L (cm)	t (cm)	$\frac{H}{L}$
300	350	15	0.86

Tabla 12. Propiedades geométricas del muro en volado

f_{CCA} (kg/cm ²)	f_{tCCA} (kg/cm ²)	E_{CCA} (kg/cm ²)	f_c (kg/cm ²)	f_r (kg/cm ²)	E_c^* (kg/cm ²)
48	4.17	20190	255	37.10	179425

*Rosado (2014)

Tabla 13. Propiedades mecánicas del CCA y del concreto de los castillos

A_{tr} (cm ²)	S_{tr} (cm ³)	P (kg)
990.13	98530	11393

Tabla 14. Valores obtenidos para A_{tr} , S_{tr} y P (ejemplo 1)

a. Determinación de la resistencia a cortante utilizando la Ecuación 1 en función de la relación de aspecto (H/L)

Se determinó el valor de λ de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 2 y 3**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{(11393 \text{ kg})}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.045 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de λ es igual a 1.

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c1} = \left[0.72 - 0.12 \frac{H}{L} \right] f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P \lambda}{f_{tCCA} L t}}$$

$$V_{c1} = [0.72 - 0.12 (0.86)] (4.17 \text{ kg/cm}^2) (350 \text{ cm}) (15 \text{ cm}) \sqrt{1 + \frac{(11393 \text{ kg})(1)}{(4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})}}$$

$$V_{c1} = 16659 \text{ kg}$$

b. Determinación de la resistencia a cortante utilizando la Ecuación 4 en función de la relación claro de cortante entre longitud (M/VL)

Se determinó el valor de α de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 5 y 6**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{11393 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.045 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de α es igual a:

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{P}{f_{CCA} L t}$$

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{11393 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 1.20$$

Se determinó la resistencia a cortante del muro (para este caso, la relación M/VL es igual a la relación H/L):

$$V_{c2} = a \left[0.74 - 0.11 \frac{M}{VL} \right] f_{tCCA} L t$$

$$V_{c2} = (1.20)[0.74 - 0.11 (0.86)](4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})$$

$$V_{c2} = 16999 \text{ kg}$$

c. Determinación de la resistencia a flexo-cortante

$$V_{fc} = \left(0.25 + 0.34 \frac{H}{L} \right) \left[\frac{S_{tr} \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}} \right)}{H - \frac{L}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = [0.25 + 0.34 (0.86)] \left[\frac{(98530 \text{ cm}^3) \left(37.10 \text{ kg/cm}^2 + \frac{11393 \text{ kg}}{990.13 \text{ cm}^2} \right)}{300 \text{ cm} - \frac{350 \text{ cm}}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = 20744 \text{ kg}$$

Ejemplo 2. Muro confinado de CCA acoplado de un nivel

Se presenta un ejemplo de diseño para determinar la resistencia media a cortante y flexo-cortante en el plano de un muro acoplado de un nivel. Se consideró un muro acoplado formado por dos muros confinados de CCA individuales y una trabe de acoplamiento de concreto reforzado. Se consideraron muros individuales con altura (H), longitud (L) y espesor (t). Se consideraron bloques de CCA clase 4. Se consideró una trabe de acoplamiento con altura (H_T), longitud (L_T) y espesor (t_T) (**Figura 17**). Para los muros individuales se consideraron las mismas propiedades geométricas (**Tabla 12**) y las mismas propiedades mecánicas del CCA y del concreto de los castillos (**Tabla 13**) que para el muro del **Ejemplo 1**. En la **Tabla 15** se presentan las propiedades geométricas de las trabes de acoplamiento. En la **Tabla 16** se presentan

las propiedades mecánicas del concreto de las trabes de acoplamiento. En dicha tabla, f_{cT} y E_{cT} son la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad del concreto, respectivamente. Se consideró un esfuerzo axial de compresión (σ) en los muros de 2.17 kg/cm^2 . Dicho esfuerzo corresponde a un muro de un edificio de CCA de un nivel. Se determinó el área de la sección transversal transformada de CCA a concreto (A_{tr}) y el módulo de sección transversal transformado de CCA a concreto (S_{tr}) de los muros. En las transformaciones anteriores se despreció la contribución del acero de refuerzo longitudinal. La carga axial gravitacional (P_g) de los muros se determinó utilizando σ , L y t . En la **Tabla 17** se presentan los valores obtenidos para A_{tr} , S_{tr} y P_g .

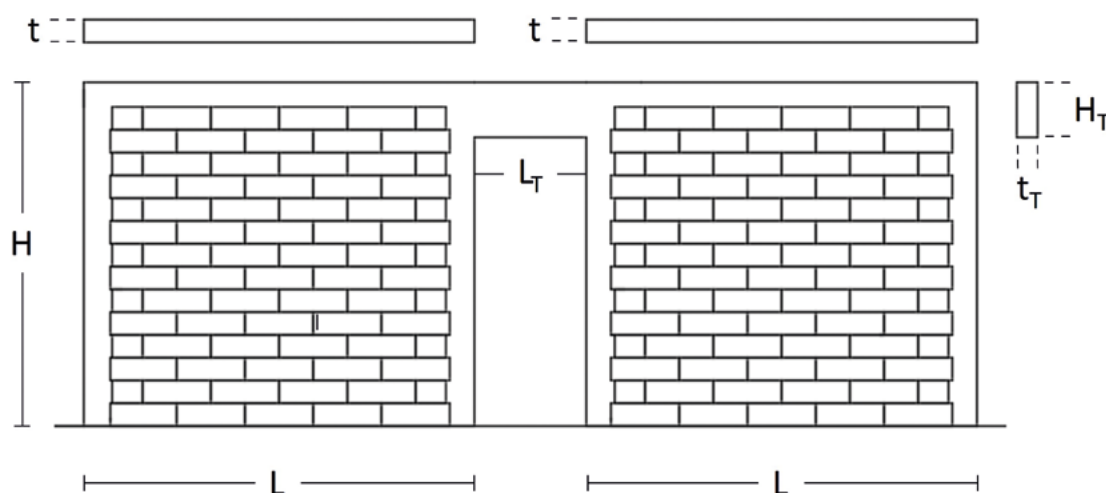


Figura 17. Dimensiones del muro acoplado de un nivel

H_T (cm)	L_T (cm)	t_T (cm)
50	100	15

Tabla 15. Propiedades geométricas de la trabe de acoplamiento

f_{cT} (kg/cm ²)	E_{cT}^* (kg/cm ²)
255	179425

*Rosado (2014)

Tabla 16. Propiedades mecánicas del concreto de la trabe de acoplamiento

A (cm ²)	S (cm ³)	P (kg)
990.13	98530	11393

Tabla 17. Valores obtenidos para A_{tr} , S_{tr} y P_g (ejemplo 2)

La relación M/VL y la fuerza axial (P) de los muros individuales se determinaron mediante un análisis estructural elástico lineal del muro acoplado. En dicho análisis se consideraron las propiedades de las secciones transversales gruesas de los muros y de la trabe de acoplamiento. Para los muros se consideraron las propiedades mecánicas del CCA. Para la trabe de acoplamiento se consideraron las propiedades mecánicas del concreto. La rigidez de los muros individuales (K_m) se calibró con el factor β_m , el cual modifica la inercia y el área de cortante de los muros. La rigidez de la trabe de acoplamiento (K_T) se calibró con el factor β_T , el cual modifica la inercia y el área de cortante de la trabe. Los factores anteriores se determinaron con base en el trabajo de Varela *et al.* (2025). Para los muros, el factor β_m fue de 1.20. Para la trabe de acoplamiento, el factor β_T fue de 1.0. El muro acoplado se idealizó como un marco bidimensional. Se utilizó la analogía de la columna ancha. Se consideraron apoyos empotrados en la base de los muros. Se consideró una carga lateral concentrada en la parte superior del muro acoplado (V_T) de 6000 kg (Figura 18). En la Tabla 18 se presentan los valores obtenidos para M/VL y P .

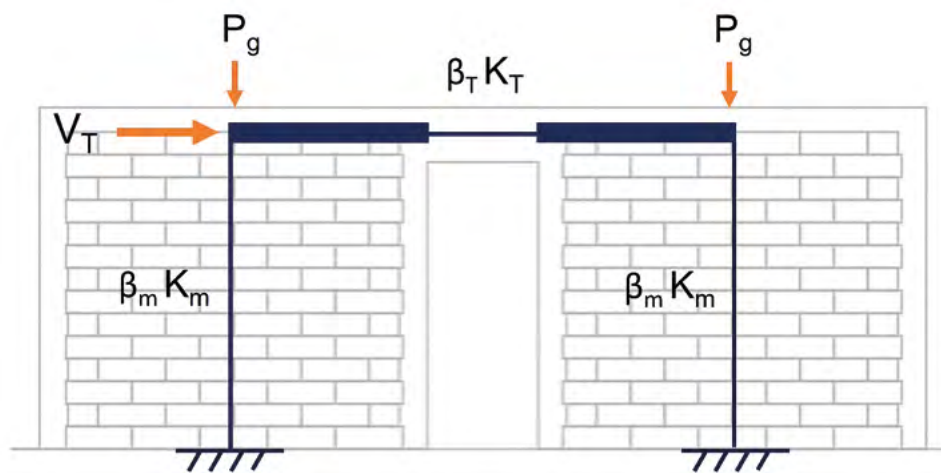


Figura 18. Modelado del muro acoplado de un nivel

Muro Individual	M/VL	P (kg)
Izquierdo	0.56	9990
Derecho	0.55	12795

Tabla 18. Valores obtenidos para M/VL y P (ejemplo 2)

a. Determinación de la resistencia a cortante utilizando la Ecuación 1 en función de la relación de aspecto (H/L)

MURO IZQUIERDO

Se determinó el valor de λ de acuerdo con las condiciones de las Ecuaciones 2 y 3:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{9990 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.040 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de λ es igual a 1.

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c1} = \left[0.72 - 0.12 \frac{H}{L} \right] f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P\lambda}{f_{tCCA} L t}}$$

$$V_{c1} = [0.72 - 0.12 (0.86)] (4.17 \text{ kg/cm}^2) (350 \text{ cm}) (15 \text{ cm}) \sqrt{1 + \frac{(9990 \text{ kg})(1)}{(4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})}}$$

$$V_{c1} = 16305 \text{ kg}$$

MURO DERECHO

Se determinó el valor de λ de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 2 y 3**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{12795 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.051 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de λ es igual a 1.

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c1} = \left[0.72 - 0.12 \frac{H}{L} \right] f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P\lambda}{f_{tCCA} L t}}$$

$$V_{c1} = [0.72 - 0.12 (0.86)] (4.17 \text{ kg/cm}^2) (350 \text{ cm}) (15 \text{ cm}) \sqrt{1 + \frac{(12795 \text{ kg})(1)}{(4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})}}$$

$$V_{c1} = 17007 \text{ kg}$$

b. Determinación de la resistencia a cortante utilizando la Ecuación 4 en función de la relación claro de cortante entre longitud (M/VL)

MURO IZQUIERDO

Se determinó el valor de α de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 5 y 6**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{9990 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.040 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de α es igual a:

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{P}{f_{CCA} L t}$$

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{9990 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 1.18$$

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c2} = a \left[0.74 - 0.11 \frac{M}{VL} \right] f_{tCCA} L t$$

$$V_{c2} = (1.18)[0.74 - 0.11 (0.56)](4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})$$

$$V_{c2} = 17480 \text{ kg}$$

MURO DERECHO

Se determinó el valor de α de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 5 y 6**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{12795 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.051 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de α es igual a:

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{P}{f_{CCA} L t}$$

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{12795 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 1.23$$

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c2} = a \left[0.74 - 0.11 \frac{M}{VL} \right] f_{tCCA} L t$$

$$V_{c2} = (1.23)[0.74 - 0.11 (0.55)](4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})$$

$$V_{c2} = 18261 \text{ kg}$$

c. Determinación de la resistencia a flexo-cortante

MURO IZQUIERDO

$$V_{fc} = \left(0.25 + 0.34 \frac{H}{L}\right) \left[\frac{S_{tr} \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}}\right)}{H - \frac{L}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = [0.25 + 0.34 (0.86)] \left[\frac{(98530 \text{ cm}^3) \left(37.10 \text{ kg/cm}^2 + \frac{9990 \text{ kg}}{990.13 \text{ cm}^2}\right)}{300 \text{ cm} - \frac{350 \text{ cm}}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = 20139 \text{ kg}$$

MURO DERECHO

$$V_{fc} = \left(0.25 + 0.34 \frac{H}{L}\right) \left[\frac{S_{tr} \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}}\right)}{H - \frac{L}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = [0.25 + 0.34 (0.86)] \left[\frac{(98530 \text{ cm}^3) \left(37.10 \text{ kg/cm}^2 + \frac{12795 \text{ kg}}{990.13 \text{ cm}^2}\right)}{300 \text{ cm} - \frac{350 \text{ cm}}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = 21349 \text{ kg}$$

Ejemplo 3. Muro confinado de CCA acoplado de dos niveles

Se presenta un ejemplo de diseño para determinar la resistencia media a cortante y flexo-cortante en el plano de un muro acoplado de dos niveles. Se consideró un muro acoplado formado por cuatro muros confinados de CCA individuales y dos traveses de acoplamiento de concreto reforzado. Se consideraron muros individuales con altura (H), longitud (L) y espesor (t). Se consideraron bloques de CCA clase 4. Se consideraron traveses de acoplamiento con altura (H_T), longitud (L_T) y espesor (t_T) (Figura 19). Para los muros individuales se consideraron las mismas propiedades geométricas (Tabla 12) y las mismas propiedades mecánicas del CCA y del concreto de los castillos (Tabla 13) que para el muro del Ejemplo 1. Para las traveses de acoplamiento se consideraron las mismas propiedades geométricas (Tabla 15) y las mismas

propiedades mecánicas del concreto (Tabla 16) que para la trabe del Ejemplo 2. Se consideraron esfuerzos axiales de compresión en los muros del nivel inferior (σ_1) y del nivel superior (σ_2) de 2.29 kg/cm² y 2.17 kg/cm², respectivamente. Dichos esfuerzos corresponden a muros de un edificio de CCA de dos niveles. Se determinó el área de la sección transversal transformada de CCA a concreto (A_{tr}) y el módulo de sección transversal transformado de CCA a concreto (S_{tr}) de los muros. En las transformaciones anteriores se despreció la contribución del acero de refuerzo longitudinal. Las cargas axiales gravitacionales de los muros del nivel inferior (P_{g1}) y del nivel superior (P_{g2}) se determinaron utilizando σ_1 , σ_2 , L y t . En la Tabla 19 se presentan los valores obtenidos para A_{tr} , S_{tr} y P_{g1} y P_{g2} .

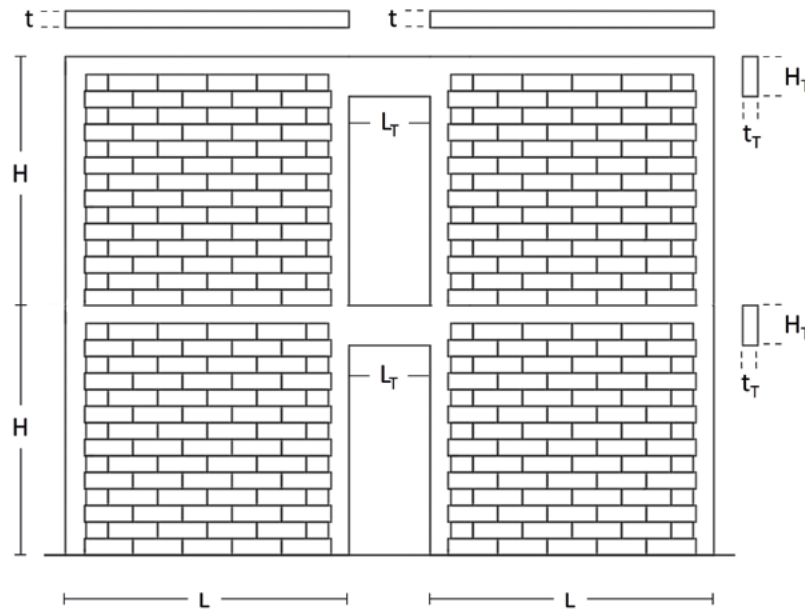


Figura 19. Dimensiones del muro acoplado de dos niveles

A_{tr} (cm ²)	S_{tr} (cm ³)	P_{g1} (kg)	P_{g2} (kg)
990.13	98530	12023	11393

Tabla 19. Valores obtenidos para A_{tr} , S_{tr} y P_{g1} y P_{g2} (ejemplo 3)

La relación M/VL y la fuerza axial (P) de los muros individuales se determinaron mediante un análisis estructural elástico lineal del muro acoplado. En dicho análisis se consideraron las propiedades de las secciones transversales gruesas de los muros y de las trabes de acoplamiento. Para los muros se consideraron las propiedades mecánicas del CCA. Para las trabes de acoplamiento se consideraron las propiedades mecánicas del concreto. La rigidez de los muros individuales (K_m) se calibró con el factor β_m , el cual modifica la inercia y el área de cortante de los muros. La rigidez de las trabes de acoplamiento (K_T) se calibró con el factor β_T , el cual modifica la inercia y el área de cortante de las

trabes. Los factores anteriores se determinaron con base en el trabajo de Varela *et al.* (2025). Para los muros, el factor β_m fue de 1.20. Para las trabes de acoplamiento, el factor β_T fue de 1.0. El muro acoplado se idealizó como un marco bidimensional. Se utilizó la analogía de la columna ancha. Se consideraron apoyos empotrados en la base de los muros. Se consideraron cargas laterales concentradas en la parte superior de los muros del primer nivel (V_{T1}) y del segundo nivel (V_{T2}) de 4300 kg y 8200 kg, respectivamente (**Figura 20**). En la **Tabla 20** se presentan los valores obtenidos para M/VL y P .

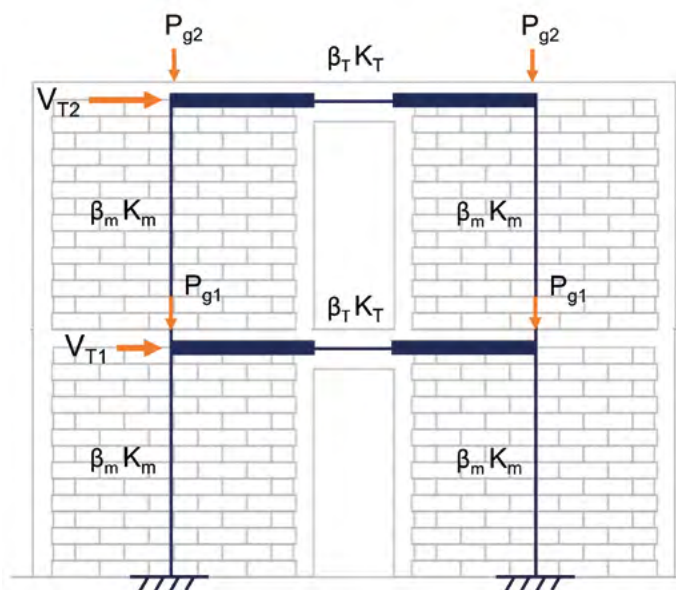


Figura 20. Modelado del muro acoplado de un nivel

Muro Individual	M/VL	P (kg)
Inferior izquierdo	0.68	16246
Inferior derecho	0.68	30584
Superior izquierdo	0.44	8762
Superior derecho	0.44	14023

Tabla 20. Valores obtenidos para M/VL y P (ejemplo 3)

a. Determinación de la resistencia a cortante utilizando la Ecuación 1 en función de la relación de aspecto (H/L)

MURO INFERIOR IZQUIERDO

Se determinó el valor de λ de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 2 y 3**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{16246 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.064 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de λ es igual a 1.

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c1} = \left[0.72 - 0.12 \frac{H}{L} \right] f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P \lambda}{f_{tCCA} L t}}$$

$$V_{c1} = [0.72 - 0.12 (0.86)] (4.17 \text{ kg/cm}^2) (350 \text{ cm}) (15 \text{ cm}) \sqrt{1 + \frac{(16246 \text{ kg})(1)}{(4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})}}$$

$$V_{c1} = 17833 \text{ kg}$$

MURO INFERIOR DERECHO

Se determinó el valor de λ de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 2 y 3**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{30584 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.121 > 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue mayor que 0.1, por lo tanto, el valor de λ es igual a:

$$\lambda = 3 - 20 \frac{P}{f_{CCA} L t}$$

$$\lambda = 3 - 20 \frac{30584 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.57$$

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c1} = \left[0.72 - 0.12 \frac{H}{L} \right] f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P \lambda}{f_{tCCA} L t}}$$

$$V_{c1} = [0.72 - 0.12 (0.86)] (4.17 \text{ kg/cm}^2) (350 \text{ cm}) (15 \text{ cm}) \sqrt{1 + \frac{(30584 \text{ kg})(0.57)}{(4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})}}$$

$$V_{c1} = 18127 \text{ kg}$$

MURO SUPERIOR IZQUIERDO

Se determinó el valor de λ de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 2 y 3**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{8762 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.035 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de λ es igual a 1.

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c1} = \left[0.72 - 0.12 \frac{H}{L} \right] f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P\lambda}{f_{tCCA} L t}}$$

$$V_{c1} = [0.72 - 0.12 (0.86)] (4.17 \text{ kg/cm}^2) (350 \text{ cm}) (15 \text{ cm}) \sqrt{1 + \frac{(8762 \text{ kg})(1)}{(4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})}}$$

$$V_{c1} = 15987 \text{ kg}$$

MURO SUPERIOR DERECHO

Se determinó el valor de λ de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 2 y 3**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{14023 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.056 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de λ es igual a 1.

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c1} = \left[0.72 - 0.12 \frac{H}{L} \right] f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P\lambda}{f_{tCCA} L t}}$$

$$V_{c1} = [0.72 - 0.12 (0.86)] (4.17 \text{ kg/cm}^2) (350 \text{ cm}) (15 \text{ cm}) \sqrt{1 + \frac{(14023 \text{ kg})(1)}{(4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})}}$$

$$V_{c1} = 17305 \text{ kg}$$

b. Determinación de la resistencia a cortante utilizando la Ecuación 4 en función de la relación claro de cortante entre longitud (M/VL)

MURO INFERIOR IZQUIERDO

Se determinó el valor de α de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 5 y 6**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{16246 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.064 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de α es igual a:

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{P}{f_{CCA} L t}$$

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{16246 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 1.29$$

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c2} = a \left[0.74 - 0.11 \frac{M}{VL} \right] f_{tCCA} L t$$

$$V_{c2} = (1.29)[0.74 - 0.11 (0.68)](4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})$$

$$V_{c2} = 18756 \text{ kg}$$

MURO INFERIOR DERECHO

Se determinó el valor de α de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 5 y 6**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{30584 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.121 > 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue mayor que 0.1, por lo tanto, el valor de α es igual a:

$$\alpha = 1.57 - 1.31 \frac{P}{f_{CCA} L t}$$

$$\alpha = 1.57 - 1.31 \frac{30584 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 1.41$$

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c2} = a \left[0.74 - 0.11 \frac{M}{VL} \right] f_{tCCA} L t$$

$$V_{c2} = (1.41)[0.74 - 0.11 (0.68)](4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})$$

$$V_{c2} = 20548 \text{ kg}$$

MURO SUPERIOR IZQUIERDO

Se determinó el valor de α de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 5 y 6**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{8762 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.035 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de α es igual a:

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{P}{f_{CCA} L t}$$

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{8762 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 1.16$$

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c2} = a \left[0.74 - 0.11 \frac{M}{VL} \right] f_{tCCA} L t$$

$$V_{c2} = (1.16)[0.74 - 0.11 (0.44)](4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})$$

$$V_{c2} = 17486 \text{ kg}$$

MURO SUPERIOR DERECHO

Se determinó el valor de α de acuerdo con las condiciones de las **Ecuaciones 5 y 6**:

$$\frac{P}{f_{CCA} L t} = \frac{14023 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 0.056 < 0.1$$

Se observó que la carga axial de compresión normalizada del muro fue menor que 0.1, por lo tanto, el valor de α es igual a:

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{P}{f_{CCA} L t}$$

$$\alpha = 1 + 4.48 \frac{14023 \text{ kg}}{(48 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})} = 1.25$$

Se determinó la resistencia a cortante del muro:

$$V_{c2} = a \left[0.74 - 0.11 \frac{M}{VL} \right] f_{tCCA} L t$$

$$V_{c2} = (1.25)[0.74 - 0.11 (0.44)](4.17 \text{ kg/cm}^2)(350 \text{ cm})(15 \text{ cm})$$

$$V_{c2} = 18902 \text{ kg}$$

c. Determinación de la resistencia a flexo-cortante

MURO INFERIOR IZQUIERDO

$$V_{fc} = \left(0.25 + 0.34 \frac{H}{L} \right) \left[\frac{S_{tr} \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}} \right)}{H - \frac{L}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = [0.25 + 0.34 (0.86)] \left[\frac{(98530 \text{ cm}^3) \left(37.10 \text{ kg/cm}^2 + \frac{16246 \text{ kg}}{990.13 \text{ cm}^2} \right)}{300 \text{ cm} - \frac{350 \text{ cm}}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = 22836 \text{ kg}$$

MURO INFERIOR DERECHO

$$V_{fc} = \left(0.25 + 0.34 \frac{H}{L} \right) \left[\frac{S_{tr} \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}} \right)}{H - \frac{L}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = [0.25 + 0.34 (0.86)] \left[\frac{(98530 \text{ cm}^3) \left(37.10 \text{ kg/cm}^2 + \frac{30584 \text{ kg}}{990.13 \text{ cm}^2} \right)}{300 \text{ cm} - \frac{350 \text{ cm}}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = 29016 \text{ kg}$$

MURO SUPERIOR IZQUIERDO

$$V_{fc} = \left(0.25 + 0.34 \frac{H}{L} \right) \left[\frac{S_{tr} \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}} \right)}{H - \frac{L}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = [0.25 + 0.34 (0.86)] \left[\frac{(98530 \text{ cm}^3) \left(37.10 \text{ kg/cm}^2 + \frac{8762 \text{ kg}}{990.13 \text{ cm}^2} \right)}{300 \text{ cm} - \frac{350 \text{ cm}}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = 19610 \text{ kg}$$

MURO SUPERIOR DERECHO

$$V_{fc} = \left(0.25 + 0.34 \frac{H}{L} \right) \left[\frac{S_{tr} \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}} \right)}{H - \frac{L}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = [0.25 + 0.34 (0.86)] \left[\frac{(98530 \text{ cm}^3) \left(37.10 \text{ kg/cm}^2 + \frac{14023 \text{ kg}}{990.13 \text{ cm}^2} \right)}{300 \text{ cm} - \frac{350 \text{ cm}}{2}} \right]$$

$$V_{fc} = 21878 \text{ kg}$$

04.

REFERENCIAS

- ASTM International. (2017). ASTM C1693-11. *“Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC)”*. West Conshohocken, PA, EUA.
- Varela-Rivera J., Fernández-Baqueiro L., Alcocer-Canche R., Ricalde-Jiménez J., & Chim-May R. (2018). *“Shear and Flexural Behavior of Autoclaved Aerated Concrete Confined Masonry Walls”*. ACI Structural Journal, v.115, N°5.
- Alonzo-Peba F. (2021). *Resistencia a cortante de muros confinados de CCA de 20 cm de espesor*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Varela-Rivera J., Fernández-Baqueiro L., & Moreno-Herrera J. (2023). *“Shear and Flexural Behavior of Autoclaved Aerated Concrete Confined Masonry Walls”*. ACI Structural Journal, v.120, N°3.
- Alcocer-González A. (2024). *Efecto de la humedad en las propiedades mecánicas del concreto celular de autoclave*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Varela-Rivera J., Cacep-Rodríguez J., Fernández-Baqueiro L., & Moreno-Herrera J. (2025). *“Shear Strength of Coupled Autoclaved Aerated Concrete Confined Masonry Walls”*. ASCE Journal of Structural Engineering, v.151, N°3.
- Varela-Rivera J., Cacep-Rodríguez J., Fernández-Baqueiro L., & Moreno-Herrera J. (2024). *“Shear behavior of autoclaved aerated concrete confined masonry walls with different scales”*. Revista ALCONPAT, v.14, N°2.
- ASTM International. (2020). ASTM C1006/C1006M-20A. *“Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Masonry Units”*. West Conshohocken, PA, EUA.
- ASTM International. (2022). ASTM C78/C78M-22. *“Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)”*. West Conshohocken, PA, EUA.
- Pérez-Buenfil D. (2019). *Análisis de las propiedades mecánicas del concreto celular de autoclave*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- ASTM International. (2024). ASTM C1660-24. *“Standard Specification for Thin-bed Mortar for Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Masonry”*. West Conshohocken, PA, EUA.

- The Masonry Society. (2022). TMS 402/602-22. *“Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures (Formerly also designated as ACI 530 and ASCE 5)”*. Longmont, CO, EUA.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Norma Técnica Complementaria para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. Ciudad de México.
- Rosado-Gruintal A. (2014). *Desempeño elástico y plástico del concreto fabricado con agregados reciclados de origen calizo y residuos de demolición*. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.

NOTAS

Síguenos:

-  Aircrete México
-  Aircrete MX
-  Aircrete México
-  Aircrete México
-  Aircrete México

Teléfono
7437911900
5511813533

E-mail
info@aircrete.com.mx

Dirección
San Isidro 44, Reforma Soc, Miguel Hidalgo,
11650 Ciudad de México, CDMX

www.aircrete.com.mx