

EFFECTOS DEL PERALTE DE LAS VIGAS EN UN EDIFICIO DE ALBAÑILERIA CONFINADA DE CINCO PISOS

Por Ings. José Luis Bustíos y Angel San Bartolomé

Pontificia Universidad Católica del Perú

RESUMEN

La finalidad del este trabajo es comparar, estructuralmente y económicamente, las ventajas y desventajas de emplear dos alternativas en el peralte de las vigas que conectan los muros de un edificio de albañilería confinada de cinco pisos. En la primera alternativa ("vigas peraltadas"), se consideró un peralte igual al del dintel de los vanos (40 cm); y en la segunda ("vigas chatas"), el peralte de las vigas y dinteles fue igual al de la losa del techo (20 cm).

INTRODUCCION

Experimentalmente (Ref. 1, Fig. 7) se ha comprobado que al emplear vigas peraltadas que conectan los muros de albañilería confinada, se incrementa la rigidez lateral del sistema, lo que resulta beneficioso ya que estos muros se agrietan diagonalmente al alcanzar distorsiones angulares pequeñas (1/800); asimismo, al decrecer el momento flector en la base de los muros, su resistencia a fuerza cortante se incrementa y los problemas de flexocompresión en los talones de los muros se atenúan. Sin embargo, en las edificaciones de albañilería confinada, es conocida la tendencia de colocar vigas chatas entre los muros portantes, principalmente por facilidad constructiva y por la reducción en los costos de los encofrados. Por lo que el objetivo del reporte se centra en determinar las ventajas estructurales y económicas de ambos procedimientos, aplicados sobre el mismo edificio.

1. CARACTERISTICAS DE LA EDIFICACION

La planta típica del edificio analizado se muestra en la Fig. 1. Esta edificación está destinada a vivienda, con dos departamentos por piso de 104 m² cada uno, y se encuentra ubicada en Lima sobre un suelo de buena calidad ($\sigma_t = 4 \text{ kg/cm}^2$). La altura de piso a techo es 2.4 m.

2. HIPOTESIS ADOPTADAS PARA EL ANALISIS Y DISEÑO

- a. La estructuración se hizo en base muros de albañilería confinada en aparejo de cabeza ($t = 25 \text{ cm}$) para los tres primeros entrepisos, en tanto que en los dos últimos entrepisos se utilizó un aparejo de soga ($t = 15 \text{ cm}$), prescindiendo de placas o columnas aisladas de concreto armado. El techo de cada piso estuvo constituido por una losa aligerada unidireccional de 20 cm de espesor, con una sobrecarga de 200 kg/m².
- b. En el análisis sísmico se empleó el Método Estático del Reglamento (Ref. 2), considerando 3 grados de libertad por piso y suponiendo que los muros (deformables por flexión, corte y axial) estaban empotrados en su base. El factor de reducción de las fuerzas sísmicas (R_d) se adoptó como 2.5. En la evaluación del momento de inercia de los muros, se empleó el criterio de la sección transformada (transformando el concreto de las columnas en área equivalente de albañilería) y se agregó el 25% de la longitud del muro transversal.
- c. El diseño de los muros confinados se realizó mediante la Norma vigente de Albañilería (Ref. 3).

El ladrillo empleado fue King Kong industrial de arcilla, con mortero 1:4, lo que proporciona una resistencia a la compresión de las pilas de albañilería $f_m = 65 \text{ kg/cm}^2$ (Ref. 4). Por lo que, según las Refs. 3 y 4, el módulo de elasticidad de la albañilería resulta $E_a = 500 f_m$, con un módulo de corte $G_a = 0.4 E_a$. El concreto tuvo por resistencia $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

3. EFECTOS DEL PERALTE DE LAS VIGAS EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

3.1 Desplazamientos Laterales. Los desplazamientos absolutos y relativos de los niveles fueron:

NIVEL	DESPLAZAMIENTOS TOTALES (mm)				DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS (mm)			
	Edificio con Vigas Peraltadas		Edificio con Vigas Chatas		Edificio con Vigas Peraltadas		Edificio con Vigas Chatas	
	XX	YY	XX	YY	XX	YY	XX	YY
5	4.99	2.48	6.81	3.29	1.00	0.46	1.50	0.71
4	3.99	2.02	5.31	2.58	1.13	0.56	1.62	0.78
3	2.86	1.46	3.69	1.80	1.17	0.60	1.58	0.78
2	1.69	0.86	2.11	1.02	1.01	0.49	1.32	0.61
1	0.68	0.37	0.79	0.41	0.68	0.37	0.79	0.41

De estos resultados (Fig. 2) se desprende lo siguiente:

- La dirección XX (con menos densidad de muros y con muros más esbeltos que la YY) fue más flexible que la YY. Es en la dirección XX donde los efectos del peralte de las vigas se hacen notar en mayor grado, incrementando la rigidez lateral desde 17% en el primer piso hasta en 50% en el último piso.
- Las deformaciones por corte puro del primer piso fueron calculadas en forma aproximada mediante la expresión $\delta_c = H h / ((\sum t L) G_a)$; donde H = cortante basal en el edificio, t = espesor del muro y L = longitud del muro. Los resultados fueron: 0.41 mm en XX y 0.26 mm en YY (independientes del peralte); para el caso "vigas peraltadas" estas deformaciones representan el 60% y 70% (en XX y YY, respectivamente) de los desplazamientos totales del primer nivel, y el 52% y 63% para la otra alternativa. Se puede concluir que para ambos casos, y en las dos direcciones, las deformaciones por corte predominan sobre las de flexión.

3.2 Fuerza Cortante en los Muros. En la Fig. 3 se observa que:

- En los muros largos, el cortante fue ligeramente mayor para el caso "vigas chatas" que para el caso "vigas peraltadas". Esta diferencia se presentó en los 5 entrepisos; así por ejemplo, en los entrepisos 1 y 2 la variación fue de 1% a 4%, respectivamente.
- En los muros esbeltos, la influencia del peralte de las vigas sobre la absorción de fuerza cortante en los muros fue mayor; así tenemos que el cortante en los primeros entrepisos resultó hasta 28% mayor para el edificio con vigas peraltadas. Es decir, las vigas peraltadas rigidizaron especialmente a los muros esbeltos.

3.3 Momentos Flectores en los Muros. De la Fig. 4 se puede extraer los siguientes comentarios:

- Los momentos basales para los muros del caso "vigas peraltadas" resultaron entre 26% a 44% menores a los obtenidos con la otra alternativa, esta diferencia se presentó en todos los muros (largos y esbeltos) y se apreció también (en menor escala) en los niveles 2 y 3.
- En algunos muros de los niveles superiores, los momentos resultaron mayores para el edificio con vigas peraltadas; sin embargo, en estos niveles, los momentos son pequeños y cualquier diferencia pierde importancia al no afectar el diseño de los muros.

3.4 Fuerza Axial Sísmica en los Muros. La fuerza axial sísmica en los muros resultó mayor para el edificio con vigas peraltadas, superando en algunos casos el 100% de los axiales obtenidos en el edificio con vigas chatas. Esta diferencia resultó importante en los muros con poca carga vertical, en donde las vigas peraltadas produjeron fuerzas axiales elevadas, pero menores a los valores producidos por las cargas gravitacionales.

4. EFECTOS DEL PERALTE DE LAS VIGAS EN EL DISEÑO

4.1 Muros Confinados. Debe recalcar que los muros confinados fueron diseñados empleando la Norma vigente E-070 (Ref. 3), basada en criterios elásticos (esfuerzos admisibles) y en donde no se contempla la reducción de resistencia al esfuerzo cortante por efectos del momento flector (Ref. 4). Los resultados obtenidos fueron:

- a. **Diseño por Compresión Axial.** En ambas alternativas, no existieron problemas por carga axial; la única diferencia obedece al mayor peso del edificio con vigas peraltadas, la cual fue del orden de 1.5%.
- b. **Diseño por Corte.** Tal como se explicó en 3.2, las fuerzas cortantes en los muros resultaron muy parecidas para las dos alternativas de peralte, cumpliendo todos los muros con tener un esfuerzo cortante menor al admisible. De esta manera, la sección transversal y el refuerzo longitudinal de las columnas, así como el refuerzo de la solera, fueron muy similares para ambas alternativas. Cabe indicar que las diferencias en el refuerzo vertical requerido por corte en las columnas, trascendió desde el tercer piso hacia arriba sobre el obtenido por flexión; sin embargo, en la mayoría de los casos, el refuerzo colocado fue igual al mínimo. Por otro lado, en los muros largos se requirieron más estribos para el edificio con vigas chatas y en los muros esbeltos se colocó más estribos para el edificio con vigas peraltadas; esto produjo, finalmente, que el caso "vigas chatas" resulte ser ligeramente más económico en esta partida.
- c. **Diseño por Flexocompresión.** La influencia del peralte de las vigas, en el diseño por flexocompresión, trascendió principalmente en los dos primeros pisos, en los que el refuerzo por flexión en las columnas superó al requerido por corte. En estos pisos, el refuerzo vertical por flexión resultó mayor para el modelo con vigas chatas.

4.2 Vigas Las vigas tuvieron poca longitud, por lo que los esfuerzos producidos por la carga vertical fueron pequeños; asimismo, los esfuerzos sísmicos no fueron significativos para ambas alternativas de peralte. Cabe indicar que las vigas peraltadas estuvieron sujetas a mayores momentos flectores y fuerzas cortantes producidas por el sismo; sin embargo, su mayor capacidad resistente a flexión y corte, hizo que se obtuvieran menor refuerzo longitudinal y menores estribos, respectivamente, que en el caso "vigas chatas", pero debido a la mayor longitud de los estribos, la alternativa "vigas peraltadas" resultó más cara.

4.3 Cimentaciones. Para las dos alternativas se utilizaron cimientos corridos de concreto ciclópeo (60 cm de peralte), algunos de los cuales se conectaron mediante vigas de cimentación, resultando cimientos de 45 a 55 cm de ancho para el edificio con vigas peraltadas y de 55 a 85 cm de ancho para el caso "vigas chatas". La mayor ventaja del edificio con vigas peraltadas estriba en el diseño de las cimentaciones, debido a la gran diferencia presentada en los momentos basales entre ambos casos. De esta manera, se logró reducir en un 20% los volúmenes de concreto requeridos en la cimentación para la alternativa "vigas peraltadas" en relación al caso "vigas chatas".

5. COMPARACION ECONOMICA

Los costos unitarios se obtuvieron de la revista "1/2 de construcción" (Agosto-Setiembre del año

1993); la tasa de cambio promedio a la fecha fue: US\$ 1.00 = S/. 2.08. Según los costos de determinadas partidas, los dos modelos presentaron ventajas y desventajas en el aspecto económico; así, mientras que en el edificio de muros conectados con vigas peraltadas disminuyeron los costos relacionados a la cimentación, en la alternativa "vigas chatas" disminuyeron los costos de encofrados y volúmenes de concreto de las otras partidas. Finalmente, el caso "vigas chatas" resultó 2.6% más económico. A continuación se muestran las partidas y los costos respectivos:

PARTIDA	Edificio con Vigas Peraltadas (S/.)	Edificio con Vigas Chatas (S/.)	Diferencia (S/.)
Cimentación	6,455.89	7,690.45	-1,234.56
Muros	62,049.77	62,049.77	0.00
Columnas	34,851.18	34,011.18	840.00
Vigas	27,666.95	22,354.23	5,312.72
Aligerados	38,877.67	38,877.67	0.00
Losas macizas	4,650.79	4,650.79	0.00
Escaleras	11,785.12	11,785.12	0.00
Cisterna	2,267.25	2,267.25	0.00
Falso piso	1,739.47	1,739.47	0.00
COSTO TOTAL (*) S/.	190,344.09	185,425.93	4,918.16 (2.6%)

(*) El costo total está referido únicamente al "casco revestido" de cada edificio, sin tener en cuenta los costos por acabados, instalaciones eléctricas y sanitarias, gastos generales ni utilidades, con lo que la diferencia obtenida a favor del modelo con vigas chatas sería menos importante.

6. CONCLUSIONES

- a. El edificio analizado se caracteriza por presentar una dirección (XX) con menor densidad de muros (0.042 m^2 de muros / m^2 de área en planta) que la otra dirección (0.06 m^2 de muros / m^2 de área en planta); asimismo, en XX los muros son más esbeltos ($L = 1.6 @ 3.3 \text{ m}$) que en YY ($L = 2.45 @ 4.95 \text{ m}$). Por otro lado, el peralte de las vigas empleado en la alternativa "vigas peraltadas" fue relativamente pequeño (40 cm) en comparación contra el caso "vigas chatas" (20 cm). Por estas razones, la influencia de dicho peralte se dejaron sentir, estructuralmente, en mayor proporción en la dirección XX, y en mayor grado sobre los muros esbeltos.
- b. Los talones de los muros confinados constituyen una de las zonas de mayor debilidad en estos sistemas. Por lo tanto, es necesario disminuir los momentos basales a fin de que decrezcan los esfuerzos por flexocompresión en los extremos del muro. En este caso, estos esfuerzos disminuyeron hasta en 30% al emplear la alternativa "vigas peraltadas" (Fig. 6)
- c. El primer entepiso de los edificios de albañilería se caracteriza por ser el más crítico ante las acciones gravitacionales y sísmicas; por lo tanto, es necesario incrementar su rigidez lateral a fin de retardar la falla por fuerza cortante, la que se produce para desplazamientos pequeños, del orden de 2 mm (Ref. 4). En este caso, la rigidez lateral del primer piso se incrementó hasta en 17% cuando se usó la solución "vigas peraltadas".
- d. Por lo indicado en el párrafo anterior, es necesario incrementar la resistencia a fuerza cortante en los muros del primer piso. De no adicionarse placas de concreto armado, esto se logra disminuyendo los efectos de esbeltez (Ref. 4), expresados a través de la relación $M/V L$; donde M = momento flector (ton-m), V = fuerza cortante (ton) y L = longitud del muro (m). En este caso se obtuvo un mejor resultado para la alternativa "vigas peraltadas", tanto para los muros esbeltos en XX ($L(4X) = 2.05 \text{ m}$) como en los muros largos en YY ($L(6Y) = 4.95 \text{ m}$), en donde

el coeficiente de reducción de resistencia a fuerza cortante por efectos de esbeltez ($\alpha = VL / M$) fue del orden de 0.7, en tanto que para el caso "vigas chatas" este coeficiente fue del orden de 0.5 (40% menor). Cabe indicar que la resistencia a fuerza cortante (VR) se calcula mediante la expresión (Ref. 4):

$$VR = 0.5 v'm \alpha t L + 0.23 P$$

donde:

$v'm$ = resistencia a compresión diagonal de muretes de albañilería

α = coeficiente de reducción de resistencia por efectos de esbeltez ($0.33 \leq \alpha = VL/M \leq 1$)

t = espesor del muro

P = carga axial

Caso "Vigas Peraltadas"						Caso "Vigas Chatas"					
Muro Esbelto 4X			Muro Largo 6Y			Muro Esbelto 4X			Muro Largo 6Y		
M	V	α	M	V	α	M	V	α	M	V	α
16.7	6.2	0.76	130.8	18.6	0.70	24.0	5.5	0.47	172.6	18.7	0.54

- e. Cuánto mayor sea la rotación por flexión del muro, éste puede punzonar a la losa del techo; por lo tanto, es recomendable disminuir esas rotaciones mediante el empleo de vigas peraltadas. En este proyecto, el uso de vigas peraltadas hizo que disminuyeran las rotaciones en el eje de los muros largos hasta en 60% en relación al caso "vigas chatas", y hasta en 120% cuando los muros eran esbeltos (Fig. 5)
- f. En este trabajo se ha podido comprobar una mínima diferencia económica (2.6% en casco revestido) a favor de la alternativa "vigas chatas", pero esta diferencia se ve disminuida si se agregan los costos por acabados (los vanos de puertas y ventanas tienen mayor altura en la alternativa "vigas chatas"), instalaciones eléctricas y sanitarias, gastos generales y utilidades. Sin embargo, el mejor comportamiento estructural se logró para el caso "vigas peraltadas".

Finalmente, debe indicarse que de emplearse la alternativa "vigas peraltadas", el concreto debe vaciarse de una sóla vez en conjunto con el aligerado. Muchas veces se emplean técnicas en donde primero se vacía la parte inferior del peralte de la viga, hasta alcanzar la base del aligerado, para luego vaciar la parte superior de la viga en conjunto con el aligerado; esta operación genera una junta de construcción en las vigas por donde el aligerado puede deslizarse ante las fuerzas sísmicas.

Como línea futura de investigación, se plantea estudiar el mismo edificio, diseñándolo esta vez bajo condiciones de rotura (Ref. 4), contemplando la reducción de resistencia a fuerza cortante por efectos del momento flector en los muros.

REFERENCIAS

1. Efectos del peralte del dintel sobre el comportamiento sísmico de un pórtico mixto de albañilería confinada de dos pisos. Por Enzo Martijena y Angel San Bartolomé. IX Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Ica 1992.
2. Normas de Diseño Sismo-resistente, OIN-1977 (RNC-77)
3. Normas Técnicas de Edificación. Norma E-070 Albañilería. ININVI, 1982.
4. Albañilería Confinada. Libro 4. Colección del Ingeniero Civil. Por Angel San Bartolomé. Capítulo de Ingeniería Civil. CIP, 1992.

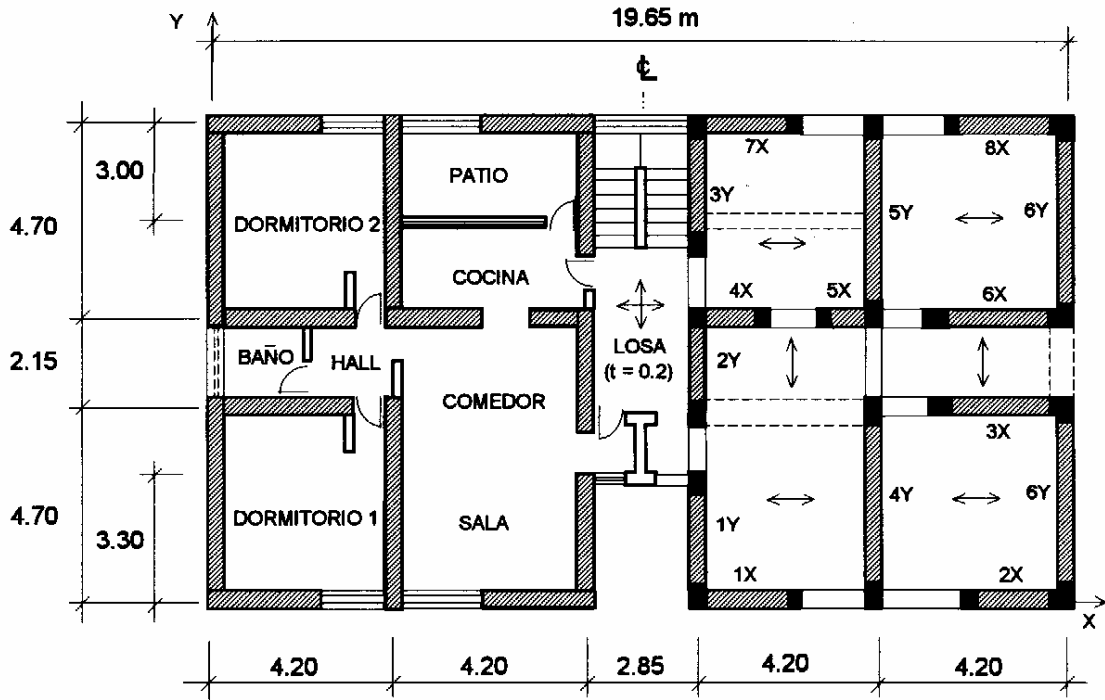


Fig. 1. PLANTA TIPICA DEL EDIFICIO. ESQUEMA ARQUITECTONICO Y ESTRUCTURAL

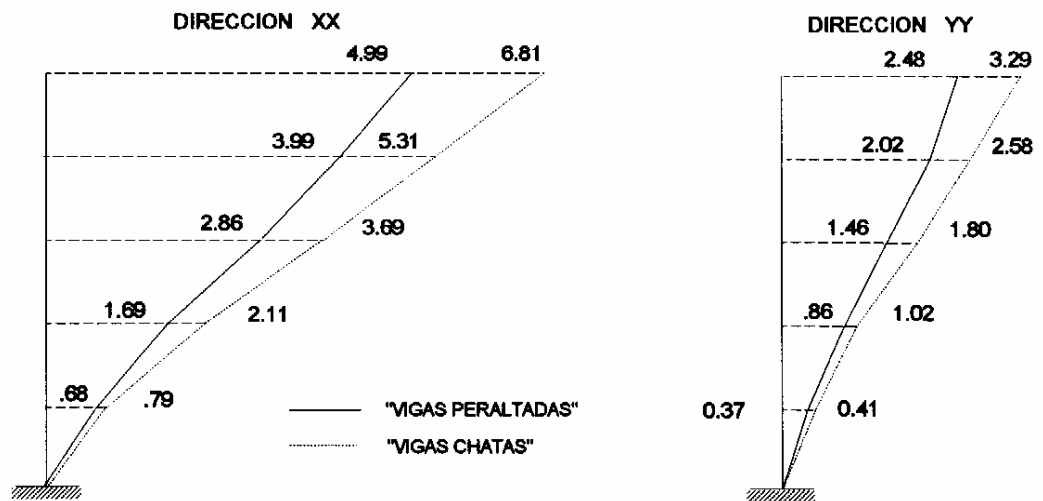


Fig. 2. DESPLAZAMIENTOS LATERALES (mm)

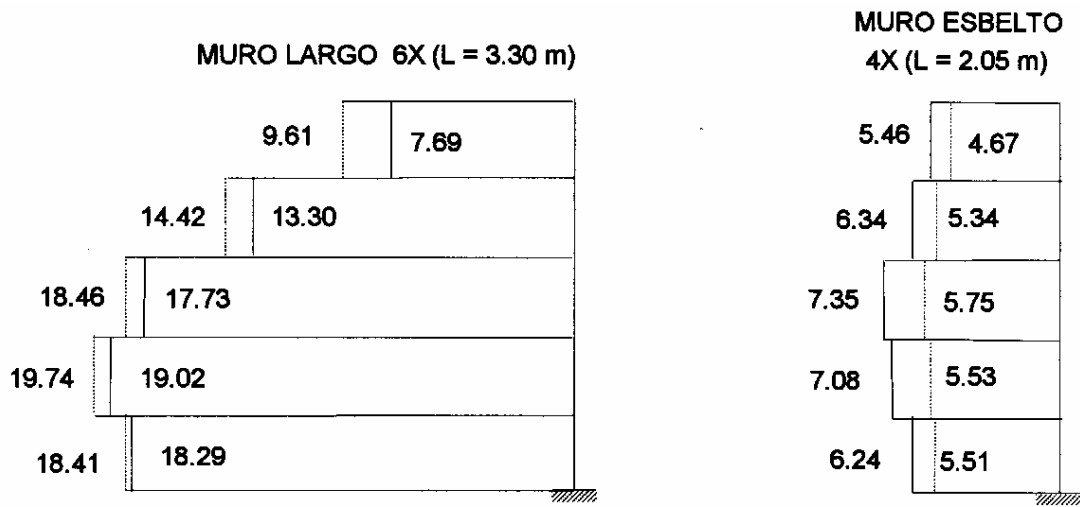


Fig. 3. FUERZA CORTANTE (Ton)

— "VIGAS PERALTADAS"
 "VIGAS CHATAS"

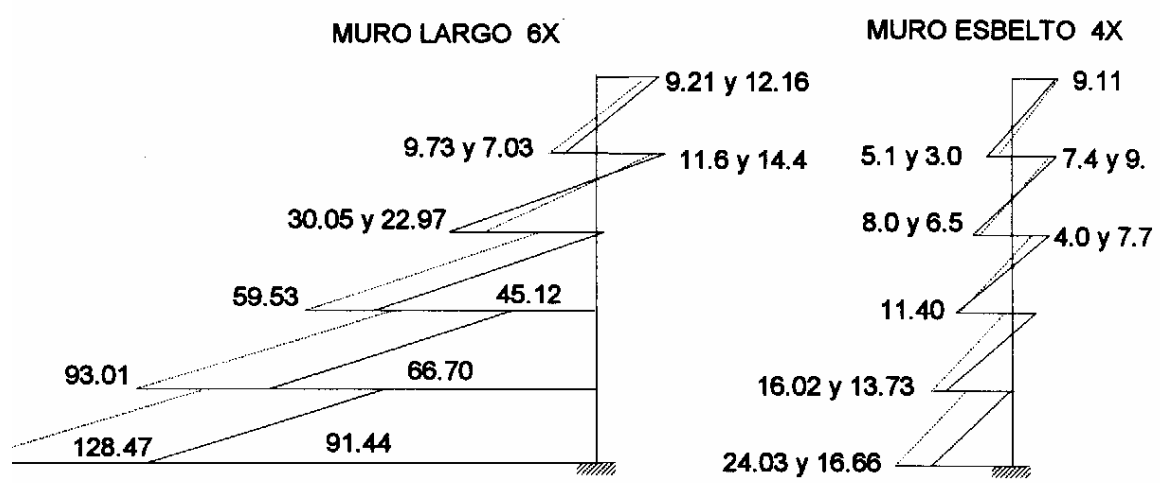


Fig. 4. MOMENTO FLECTOR (Ton-m)

— "VIGAS PERALTADAS"
 "VIGAS CHATAS"

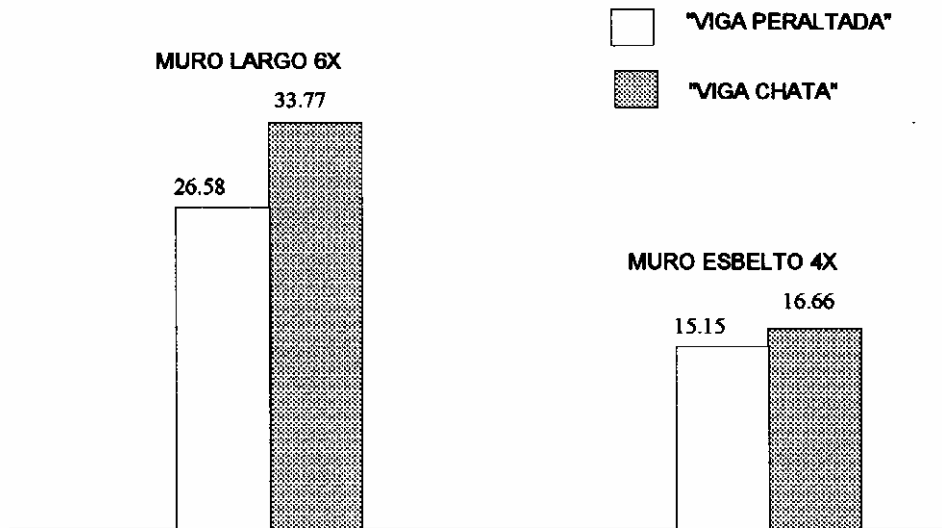
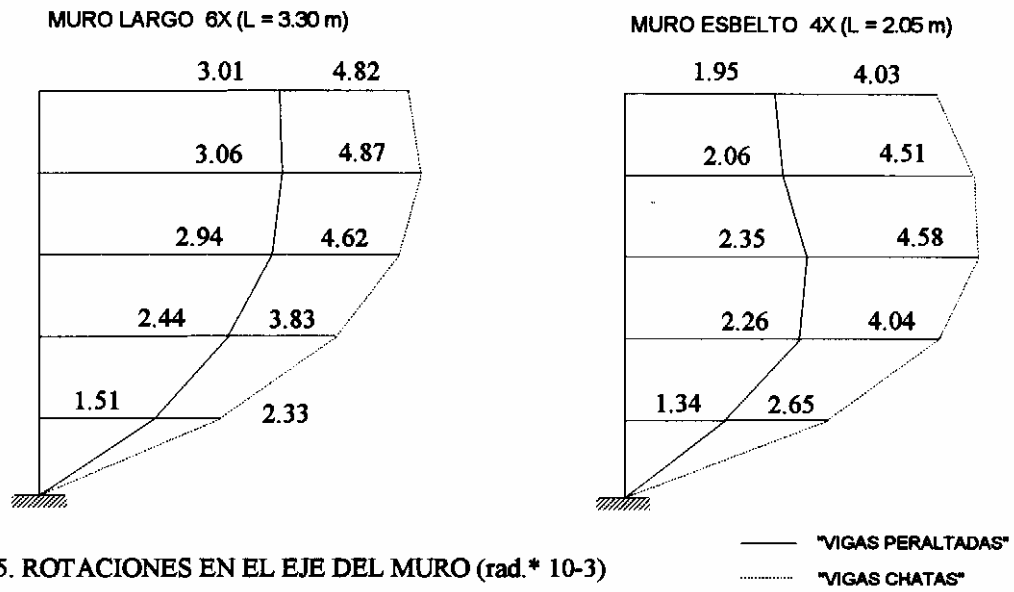


Fig. 6. ESFUERZO DE FLEXOCOMPRESION (kg/cm²)

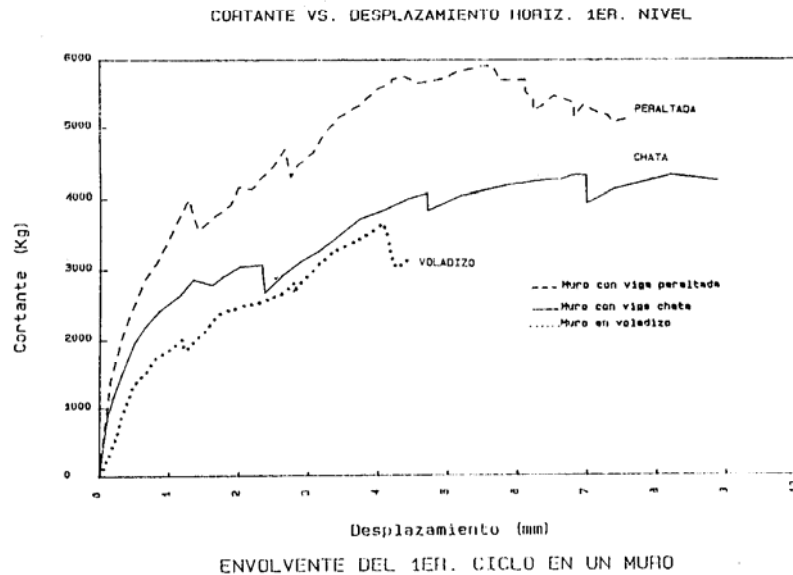
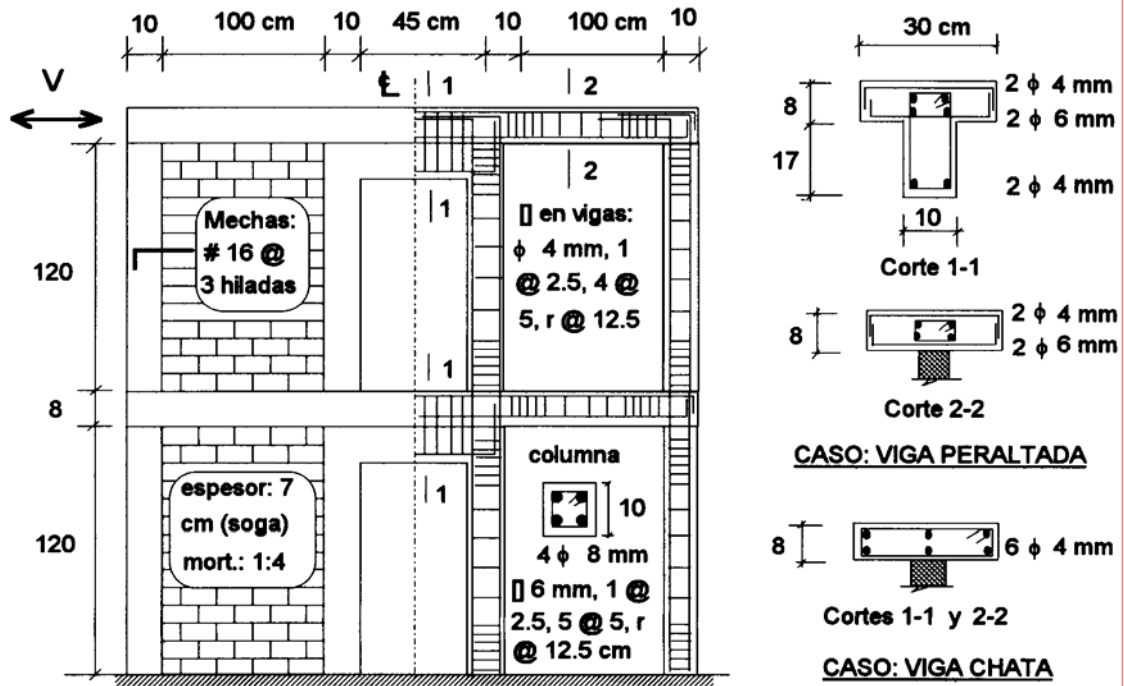


Fig. 7. FIGURAS DE LA REFERENCIA 1.

FIGURAS ADICIONALES AL ARTÍCULO

Correcto. Vigas vaciadas en simultáneo con el techo.



Incorrecto. Solera vaciada en 2 etapas.



Punzonamiento en el techo, causado por el giro excesivo del muro.

