

ESTUDIO POR ELEMENTOS FINITOS DE LA CONEXIÓN COPLANAR PLACA-ALBAÑILERÍA

Por: Ángel San Bartolomé
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

Algunos edificios presentan en su estructura muros de concreto armado unidos en el mismo plano a muros de albañilería, presentándose en ciertos casos grietas verticales en esa interfase. De este modo, en este artículo se trata de analizar mediante la técnica de elementos finitos si existe o no la necesidad de colocar una junta vertical en dicha unión, o de homogenizar el material.

1. INTRODUCCIÓN

En algunos casos se ha reportado la formación de grietas verticales en la unión muro de concreto armado (denominados de aquí en adelante “placas”) y el muro de albañilería, ambos contenidos en el mismo plano, Fig.1). Por lo que en este artículo se trata de explicar, utilizando la teoría de elementos finitos, las posibles causas por la que se forma esta grieta, para de este modo analizar si existe la necesidad de separar ambos materiales con una junta vertical, o utilizar un solo material en el muro.

Fig.1
Unión placa-
albañilería



Grieta vertical en la unión
placa-albañilería, cortesía del
Ing. Oscar Fernández Cruz.

2. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO UTILIZADO

Para el estudio se utilizó un modelo de 5 pisos (Fig.2), donde el muro de albañilería tenía la misma geometría que la placa: 15cm de espesor por 300cm de longitud y una altura de piso igual a 300cm. Las cargas verticales y laterales aplicadas en cada nivel fueron de la misma magnitud en cada muro; esto se hizo para atribuir la diferencia de deformaciones y esfuerzos entre 2 nudos equidistantes del eje central vertical (puntos “a” y “c” en la Fig.2), exclusivamente a la diferencia de materiales. Por ejemplo, para el caso de carga vertical, si los materiales fuesen los mismos, entonces por simetría los puntos “a” y “c” de la Fig.2, tendrían el mismo desplazamiento vertical: $D_a = D_c$.

2.1 Características de los Materiales

Los módulos de elasticidad (E) y de Poisson (ν), adoptados para el estudio fueron:

- Albañilería: $E_a = 50,000 \text{ kg/cm}^2$ $\nu_a = 0.25$
- Concreto: $E_c = 200,000 \text{ kg/cm}^2$ $\nu_c = 0.15$

2.2 Modelo de Elementos Finitos

Se utilizaron elementos tipo "Shell" de 30x30cm con 15cm de espesor, con lo cual se obtuvo 100 elementos por cada piso y por cada tipo de muro. En la Fig.2, los elementos de albañilería son de color naranja, mientras que los elementos de concreto son de color gris.

Adicionalmente se consideró que la base del muro estaba empotrada y que los nudos de cada nivel deberían desplazarse horizontalmente la misma cantidad, para así simular la hipótesis de diafragma rígido dada por las losas de techo.

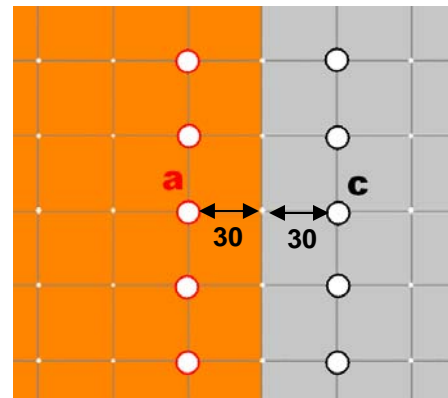
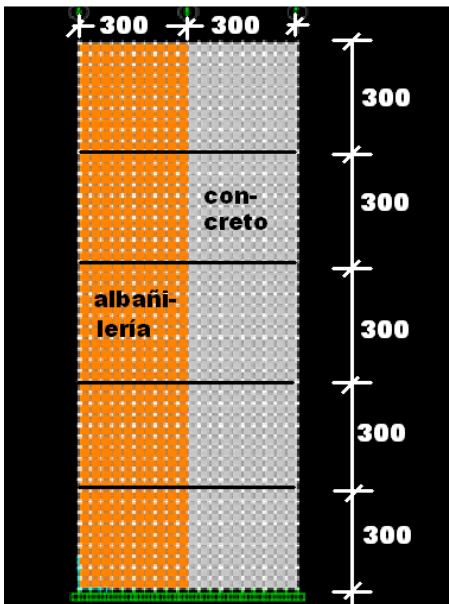


Fig.2

Modelo de elementos finitos y nudos "a" y "c" equidistantes del eje central vertical. Las dimensiones están en centímetros y el espesor es 15cm.

3. EFECTOS DE LA CARGA VERTICAL

3.1 Carga Aplicada

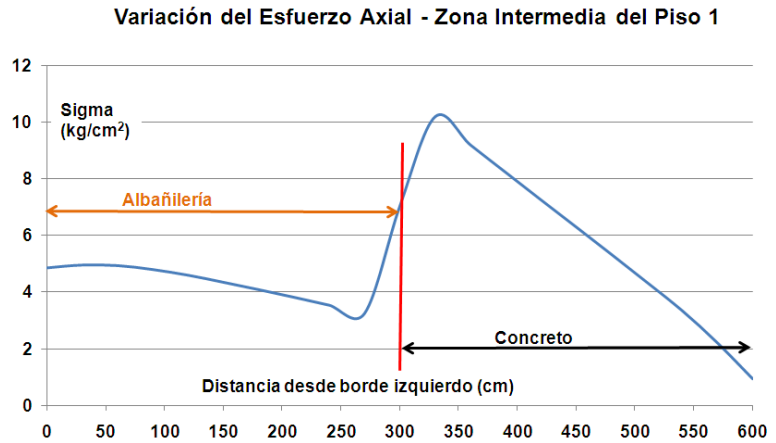
En cada nudo de cada nivel se aplicó una carga vertical de 450kg, que proporciona un esfuerzo axial promedio en cada piso: $\sigma = 21 \text{ nudos} \times 450 / (15 \times 600) = 1.05 \text{ kg/cm}^2$, y que acumulado en el primer piso resulta $\sigma = 5.25 \text{ kg/cm}^2$. Puesto que la distribución de cargas verticales fue simétrica (se excluyó al peso propio) y la geometría de la estructura es también simétrica, su respuesta dependerá exclusivamente de la diferencia de los materiales existentes: albañilería y concreto.

3.2 Esfuerzos Axiales

En la Fig.3 se muestra la variación de los esfuerzos axiales en una sección transversal intermedia del primer piso. Allí se nota que los esfuerzos axiales en la albañilería estuvieron por debajo del valor promedio (5.25 kg/cm^2), mientras que en el concreto el valor máximo fue casi el doble del esfuerzo

promedio. En la interfase albañilería-concreto, el esfuerzo axial en la albañilería se incrementó notoriamente, lo que es contraproducente para esa unión. Es interesante observar que en el borde derecho de la placa el esfuerzo axial de compresión se minimizó, debido a la flexión del sistema causada por la asimetría de los materiales (Fig.4).

Fig.3
Variación del esfuerzo axial en la sección transversal intermedia del primer piso.



3.3 Desplazamientos

Por simetría en las cargas verticales y en la forma de la estructura, si los materiales hubiesen sido los mismos, entonces la sección transversal se hubiese desplazado verticalmente la misma cantidad, asimismo, la expansión horizontal en los dos sentidos hubiese sido de la misma magnitud. Sin embargo, por la diferencia de materiales se produjo adicionalmente desplazamientos laterales (Fig.4), recargados hacia el lado del material más débil. En adición, los desplazamientos verticales entre 2 nudos equidistantes en 30cm de la interfase albañilería-columna (Fig.2), fueron diferentes (Fig.5), desplazándose la albañilería (D_a) en mayor proporción que el concreto (D_c); esto es nocivo para la unión albañilería-columna y podría conducir a la formación de la grieta vertical en esa unión.

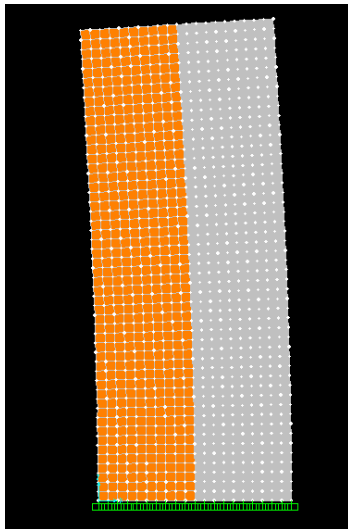


Fig.4
Configuración deformada por carga vertical.

Variación del Desplazamiento Vertical en el Piso 5

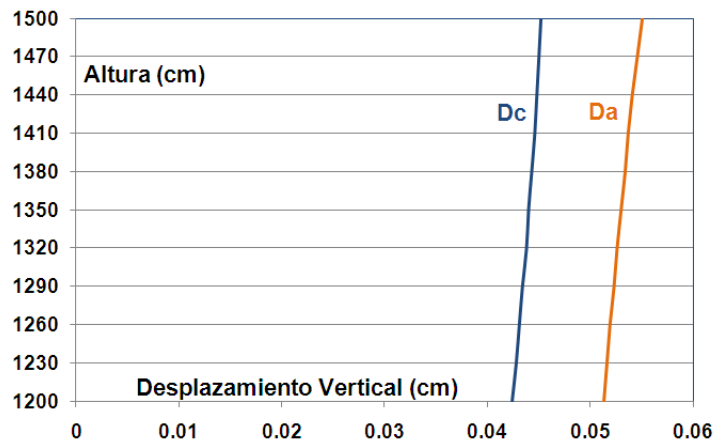


Fig.5
Variación del desplazamiento vertical en el piso 5, en dos nudos a 30cm del eje central ("a" y "c", Fig.2).

4. EFECTOS DE LA CARGA LATERAL

4.1 Carga Aplicada

Asumiéndose un esfuerzo cortante promedio en el primer piso igual a 10 kg/cm^2 , la fuerza cortante resultante en la base es: $V = 10 \times 15 \times 600 = 90000 \text{ kg}$. Esta fuerza se distribuyó a lo largo de la altura en forma triangular (Fig.6) y fue aplicada en los nudos centrales de cada nivel. La configuración deformada aparece en la Fig.6, debiéndose remarcar que los nudos de un nivel determinado, ubicados tanto en la albañilería como en el concreto, debían tener los mismos desplazamientos laterales (hipótesis de diafragma rígido).

4.2 Esfuerzo Cortante

En la Fig.7 se muestra la variación del esfuerzo cortante en una sección transversal intermedia del primer piso. Allí puede apreciarse que los esfuerzos cortantes en la placa son más altos que en la albañilería, lo cual es lógico porque el concreto al ser más rígido que la albañilería, absorbe una mayor proporción de la fuerza cortante aplicada. Por otro lado, si no hubiese existido placa, el esfuerzo cortante en el borde derecho de la albañilería sería nulo y máximo en su zona central, sin embargo, al existir placa, el esfuerzo cortante en el borde derecho de la albañilería se maximizó, lo cual es contraproducente para la unión placa-albañilería.

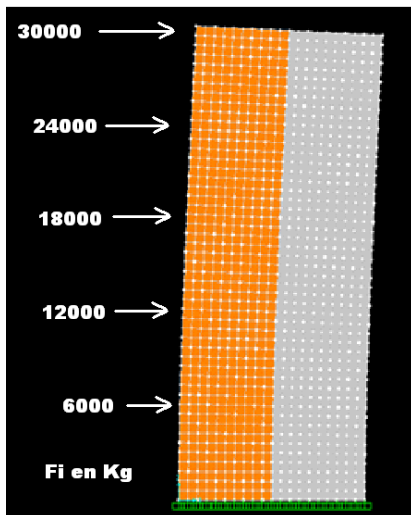


Fig.6

Configuración deformada por carga lateral.

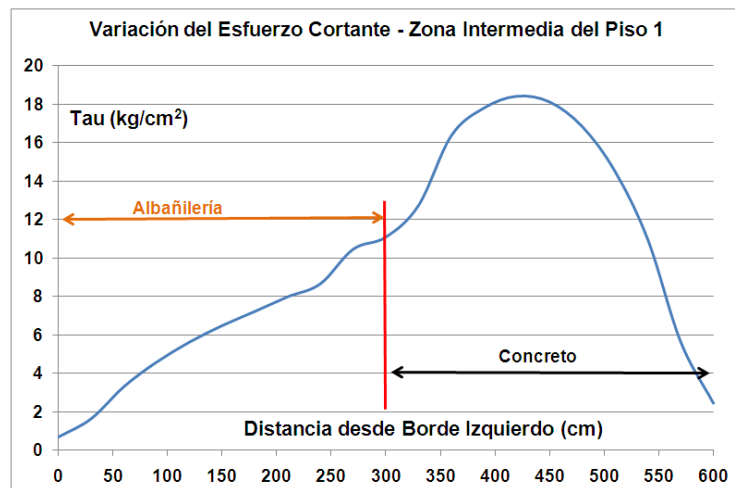


Fig.7

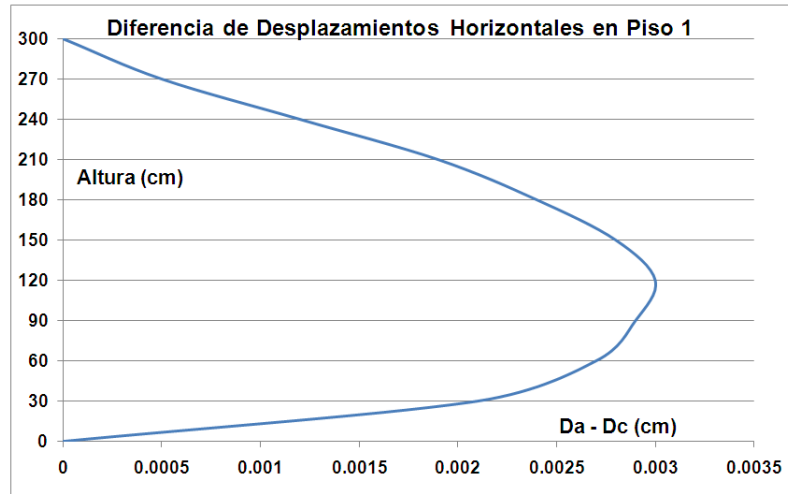
Variación del esfuerzo cortante en una sección transversal intermedia del primer piso.

4.3 Desplazamientos Horizontales

En este caso se ha preferido trabajar con la diferencia de desplazamientos ($D_a - D_c$) entre dos nudos equidistantes en 30cm del eje central del sistema (Fig.4), ya que son los desplazamientos horizontales diferenciales los que originan problemas en la unión albañilería-placa. Es también necesario indicar que el nudo "a" correspondiente a la albañilería, tuvo mayor desplazamiento absoluto que el nudo "c" correspondiente al concreto, dada la mayor flexibilidad de la albañilería.

En la Fig.8, correspondiente a la diferencia de desplazamientos horizontales ($D_a - D_c$) a lo largo de la altura del primer piso, se nota que $D_a - D_c$ es máximo en la mitad de la altura, lo que querría decir que ante cargas sísmicas podría formarse una grieta vertical en la unión albañilería-placa, que correría desde la zona central hacia los extremos. Nótese que en el primer nivel ($h = 300\text{cm}$) $D_a - D_c$ es nulo, ya que los nudos “a” y “c” están conectados por el diafragma rígido.

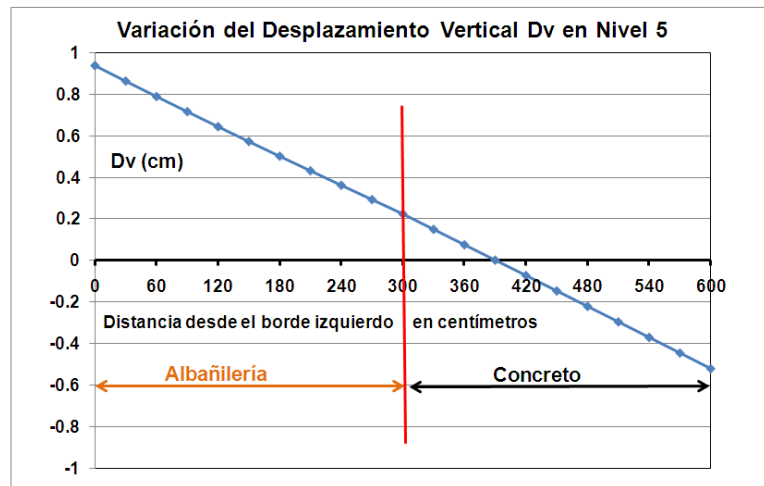
Fig.8
Variación de la diferencia de desplazamientos horizontales ($D_a - D_c$) a lo largo de la altura del primer piso.



4.4 Desplazamientos Verticales

En la Fig.9 se muestra la variación de los desplazamientos verticales (D_v) a lo largo de la sección transversal correspondiente al último nivel. Puede apreciarse que esta variación es prácticamente lineal, con lo cual, a pesar que el sistema presenta 2 materiales distintos, se cumple la hipótesis de Navier (la sección plana continúa plana después de haberse aplicado las cargas). También puede notarse que los desplazamientos verticales absolutos en la albañilería son mayores que en el concreto; si solo existiese un material, la distribución de desplazamientos verticales hubiese sido antisimétrica (con los mismos valores absolutos, pero con signos contrarios) y el desplazamiento vertical en el eje central sería nulo.

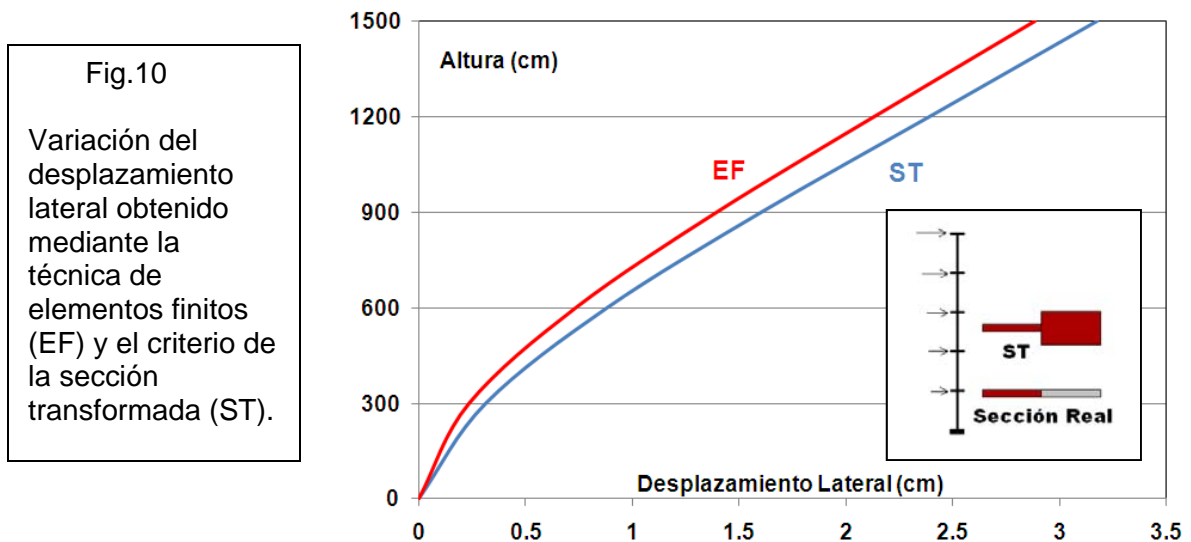
Fig.9
Variación del desplazamiento vertical en la sección del quinto nivel.



4.5. Criterio de la Sección Transformada (ST)

La placa se transformó en un elemento equivalente de albañilería, multiplicando su espesor (15cm) por la relación de módulos elásticos $E_c/E_a = 4$ (acápite 2.1), para luego hallar el área de la sección transformada ($A = 22500\text{cm}^2$), el área de corte ($A_c = 15 \times 600\text{cm}^2$) y el momento de inercia respecto al centroide ($I = 492750000\text{ cm}^4$).

Con esta información y utilizando las cargas laterales indicadas en la Fig.6, se analizó al sistema como si fuese una barra de albañilería en voladizo. Los desplazamientos laterales obtenidos fueron ligeramente mayores que los evaluados mediante la técnica de elementos finitos (EF en la Fig.10); esta ligera diferencia se debe a que la hipótesis de Navier es aplicable (acápite 4.4). Sin embargo, debido a que la distribución de esfuerzos axiales (Fig.3) y de esfuerzos cortantes (Fig.7), no guarda un patrón definido, no es posible determinar mediante el criterio de la sección transformada los porcentajes de carga vertical y de fuerza cortante, respectivamente, que absorbe cada material.



5. EFECTOS DE TEMPERATURA

Se supuso un incremento de temperatura $\Delta T = 10\text{ }^\circ\text{C}$ uniforme para toda la estructura y un coeficiente de dilatación térmica para el concreto $\alpha = 1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, mientras que para la albañilería se adoptó la mitad de este valor.

En la Fig.11 aparece la configuración deformada por el cambio de temperatura, mientras que en la Fig.12 se muestra la variación a lo largo de la altura del piso 5 de la diferencia de desplazamientos horizontales ($D_a - D_c$) entre 2 puntos equidistantes a 30cm del eje vertical central (Fig.2).

En la Fig.11 puede apreciarse que por la diferencia de materiales, se produjeron desplazamientos laterales, recargados hacia el lado de la albañilería, y desplazamientos verticales desiguales entre la albañilería y el concreto. Si sólo existiese un material, la estructura se hubiese expandido la misma cantidad en los dos sentidos de la dirección horizontal y los desplazamientos verticales hubieran sido únicos en cada nivel, por lo que resulta contraproducente el cambio de materiales.

En la Fig.12 se observa que la diferencia de desplazamientos horizontales entre los nudos “a” de la albañilería y “c” del concreto, se maximiza en la zona central del piso, por lo que de agrietarse verticalmente la unión albañilería-concreto, esta grieta correría desde la zona central hacia los extremos. Debe mencionarse que a la altura de los niveles 4 ($h = 1200\text{cm}$) y 5 ($h = 1500\text{cm}$), la diferencia de desplazamientos $D_a - D_c$ es nula, porque esos nudos se conectaron a diafragmas rígidos, asimismo, se destaca que el desplazamiento horizontal absoluto de la albañilería (D_a) fue mayor que el del concreto (D_c).

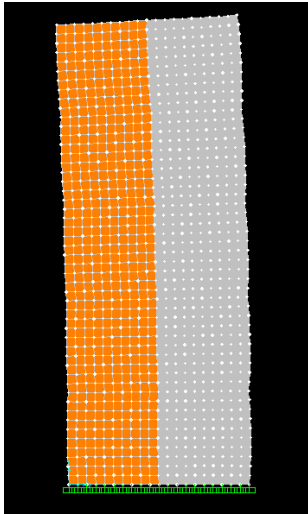


Fig.11
Configuración deformada por cambio de temperatura.

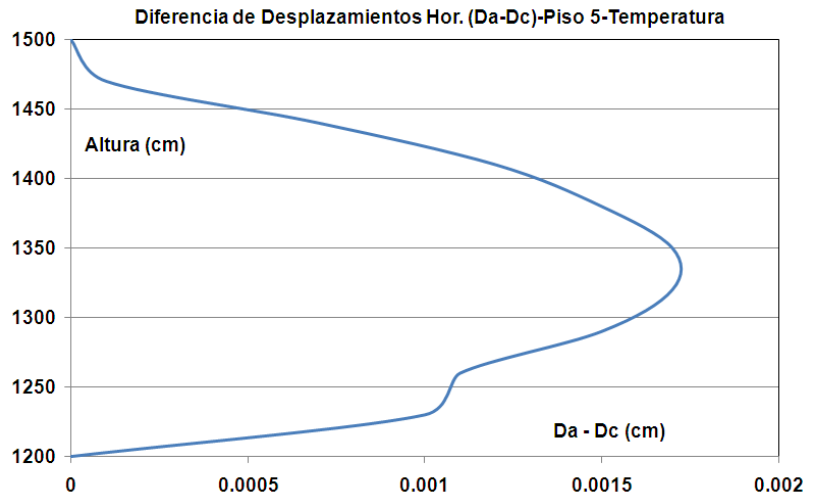
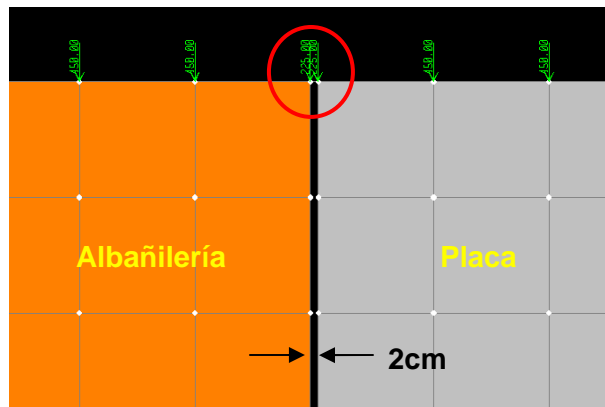


Fig.12
Variación de la diferencia de desplazamientos horizontales ($D_a - D_c$) a lo largo de la altura del Piso 5.

6. JUNTA VERTICAL EN LA UNIÓN ALBAÑILERÍA-PLACA

La placa se aisló de la albañilería con una junta vertical de 2cm de espesor (Fig.13), de forma tal que los nudos correspondientes a cada nivel tengan el mismo desplazamiento lateral (diafragma rígido dado por la losa de los techos) y haciendo que los nudos adyacentes al eje central vertical de cada nivel (marcados en el interior del círculo de la Fig.13), pertenecientes a los muros de concreto y de albañilería, tengan los mismos desplazamientos y giros (la junta no atraviesa a la losa),

Fig.13
Junta vertical en la unión albañilería-placa.



Para el caso en sólo existió carga vertical simétrica, la estructura continuó desplazándose lateralmente pese a la existencia de la junta (Fig.14) y los esfuerzos producidos por la flexión hizo que la distribución de esfuerzos axiales en el primer piso variasen muy poco en relación al caso donde no existió la junta vertical. Lo propio ocurrió cuando la estructura estuvo sujeta sólo al incremento de temperatura. De esta manera, resulta aconsejable unificar el material de ambos muros.

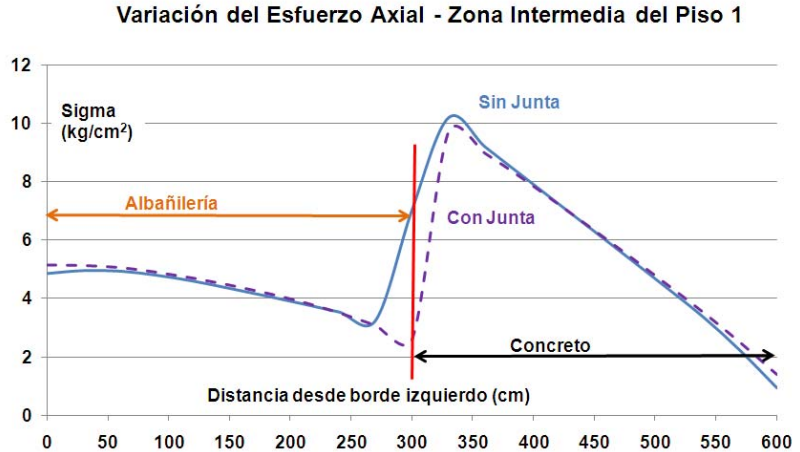
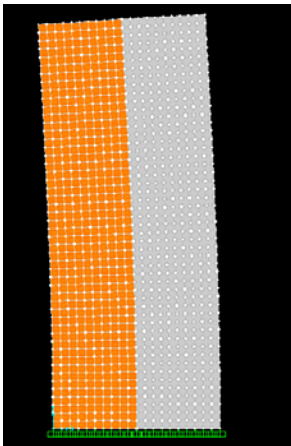


Fig.14

Junta vertical en la interfase albañilería-placa, estructura sujeta a carga vertical. Configuración deformada y variación del esfuerzo axial en el Piso 1.

Para el caso en que sólo existió carga sísmica, la junta vertical hizo que la estructura se flexibilice en un 9% y que la distribución de esfuerzos cortantes en el primer piso (Fig.15) sea semejante a la existente en secciones rectangulares, con valores mínimos en los extremos y máximos en la zona central de cada muro; sin embargo, el esfuerzo cortante en la interfase del primer nivel se incrementó en 145% respecto al caso en no existió la junta, esto resulta nocivo para la losa de techo.

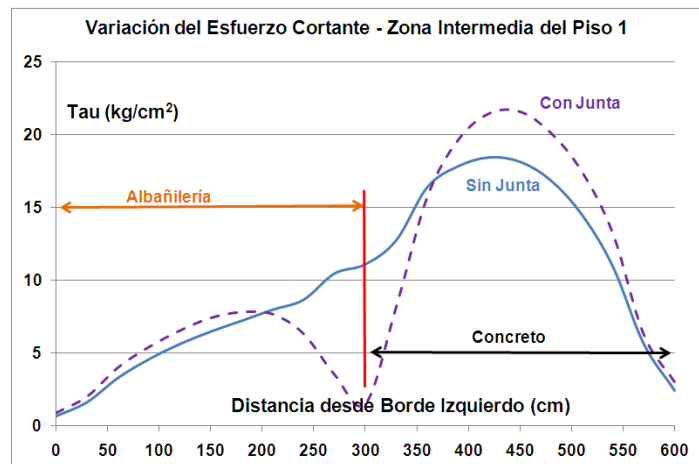
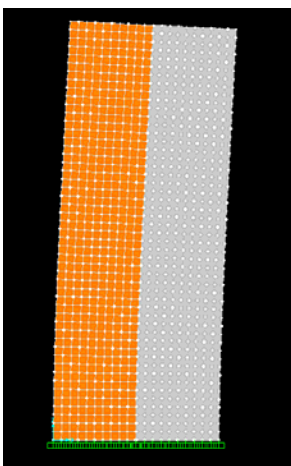


Fig.15

Junta vertical en la interfase albañilería-placa, estructura sujeta a carga sísmica. Configuración deformada y variación del esfuerzo cortante en el Piso 1.

7. CONCLUSIONES

- El estudio se encuentra limitado al caso de una estructura sencilla e isostática, donde las acciones aplicadas sirvieron sólo para analizar tendencias generales en la conexión albañilería-placa de concreto armado.
- El análisis ante acciones de gravedad, sísmica y de temperatura indicaron que no es adecuado conectar en el mismo plano un muro de albañilería con otro de concreto armado, porque podría formarse una grieta vertical en esa unión, hecho que ha ocurrido en algunas edificaciones reales. La presencia de esta grieta dejaría a la albañilería sin confinamiento ante acciones sísmicas coplanares y sin arriostre vertical ante acciones sísmicas perpendiculares al plano.
- La creación de una junta vertical en la interfase albañilería-placa crearía concentración de esfuerzos cortantes en esas zonas de las losas de techo (no atravesadas por la junta), por lo que la mejor solución es que el muro sea hecho de un solo material.
- El análisis no contempló la contracción de secado del concreto, fenómeno que es mínimo en la albañilería, pero importante en la placa. Este efecto también podría causar el agrietamiento vertical en la unión albañilería-placa.
- En la albañilería confinada las columnas de concreto armado presentan secciones transversales pequeñas, por lo que ellas se mimetizan a la albañilería, siguiendo su configuración deformada (Ref.1). En este tipo de albañilería es posible aplicar el criterio de la sección transformada (Ref.2) para determinar la rigidez lateral del muro. Para el modelo analizado, con un muro de concreto adyacente, también fue posible aplicar el criterio de la sección transformada para hallar los desplazamientos laterales, sin embargo, no se podría evaluar los porcentajes de carga vertical y horizontal que absorbe cada muro, porque la distribución de esfuerzos en la sección transversal no guardó un patrón definido.

8. REFERENCIAS

1. San Bartolomé A., Bernardo J. y Peña M. Efectos del peralte de las columnas en el comportamiento sísmico de los muros de albañilería confinada. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. X Jornadas. Santiago de Chile. Mayo del 2010. Este artículo también aparece en el capítulo “Albañilería Confinada” del blog <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria> .
2. San Bartolomé A., Quiun D. y Silva W. Libro: Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de Albañilería. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. ISBN: 978-9972-42-956-9. Lima, febrero del 2011.