



## **DISIPADOR DE ENERGIA CON ACERO LIVIANO EN MUROS DE ALBAÑILERIA**

Msc. Ing. Aerls DE LA ROSA TORO ROJAS (1), Dr. Ing. Carlos Alberto ZAVALA TOLEDO (1)

### **RESUMEN**

En la década pasada se ha visto un crecimiento acelerado en el desarrollo y aplicaciones estructurales de dispositivos de disipación de energía, los que se habían concentrado en amortiguadores de acero y amortiguadores pasivos de goma para poder mitigar el riesgo sísmico.

La finalidad de incluirlos en las estructuras, es mejorar su capacidad de disipación de energía ante sismos moderados y fuertes; la mayoría de estos dispositivos son sistemas caros para países en desarrollo Este estudio propone la combinación de dos materiales económicos como la albañilería y las planchas de acero liviano formadas en frío para generar un panel disipador de energía en muros de albañilería.

Este sistema podría ser una alternativa al diseño sísmico convencional en muros de albañilería, otorgándole mayor seguridad contra eventos sísmicos severos sin comprometer la economía.

Para el prototipo a ensayarse se consideró un espécimen de 2400 mm de altura por 2500 mm de longitud con un espesor de muro de 125 mm, en la parte central se deja una abertura de 2200 mm de altura por 500 mm de ancho sobre la que se coloca el panel de acero liviano donde se espera la disipación de energía. El ensayo de carga cíclico es realizado controlando el desplazamiento sobre la línea del sistema del actuador para dos niveles de deformación: grietas no visibles en la albañilería y grietas visibles en la albañilería.

La investigación muestra como un simple panel de acero liviano mejora el comportamiento cíclico del muro de albañilería, logrando mayor capacidad de disipación de energía;. El pandeo en el panel sucede antes que la fluencia ocurra y antes que aparezcan grietas visibles en el muro de albañilería; asimismo, se puede ver cómo usando métodos analíticos simples es posible predecir el comportamiento del muro. Se presenta la comparación entre los resultados del ensayo con dispositivo disipador (usando una plancha de acero liviano) y sin dispositivo disipador.

### **INTRODUCCION**

Los muros de albañilería son el sistema de construcción más usado en el país, especialmente en viviendas debido a que trabajan como elementos estructurales y arquitectónicos, siendo además un material térmico y resistente al fuego por excelencia; sin embargo, la desventaja es que tienen un pobre comportamiento



## **INSTITUTO DE DESARROLLO E INVESTIGACION "CONSTRUIR"**



sísmico debido a desventaja es que tienen un pobre comportamiento sísmico debido a que están conformados por unidades de ladrillo que son frágiles y pesadas con resistencia a la tracción casi nula, mostrando una ductilidad muy baja cuando se los somete a una excitación sísmica; por otra parte, su gran rigidez hace que la respuesta sísmica sea grande. Cabe agregar que la falta de un diseño adecuado y una nula o deficiente dirección técnica especialmente en zonas urbano-marginales, los hace todavía más vulnerables ante los sismos; no obstante, con un apropiado refuerzo en los muros y el uso de marcos de concreto reforzado que confinen la albañilería se puede obtener una respuesta dúctil.

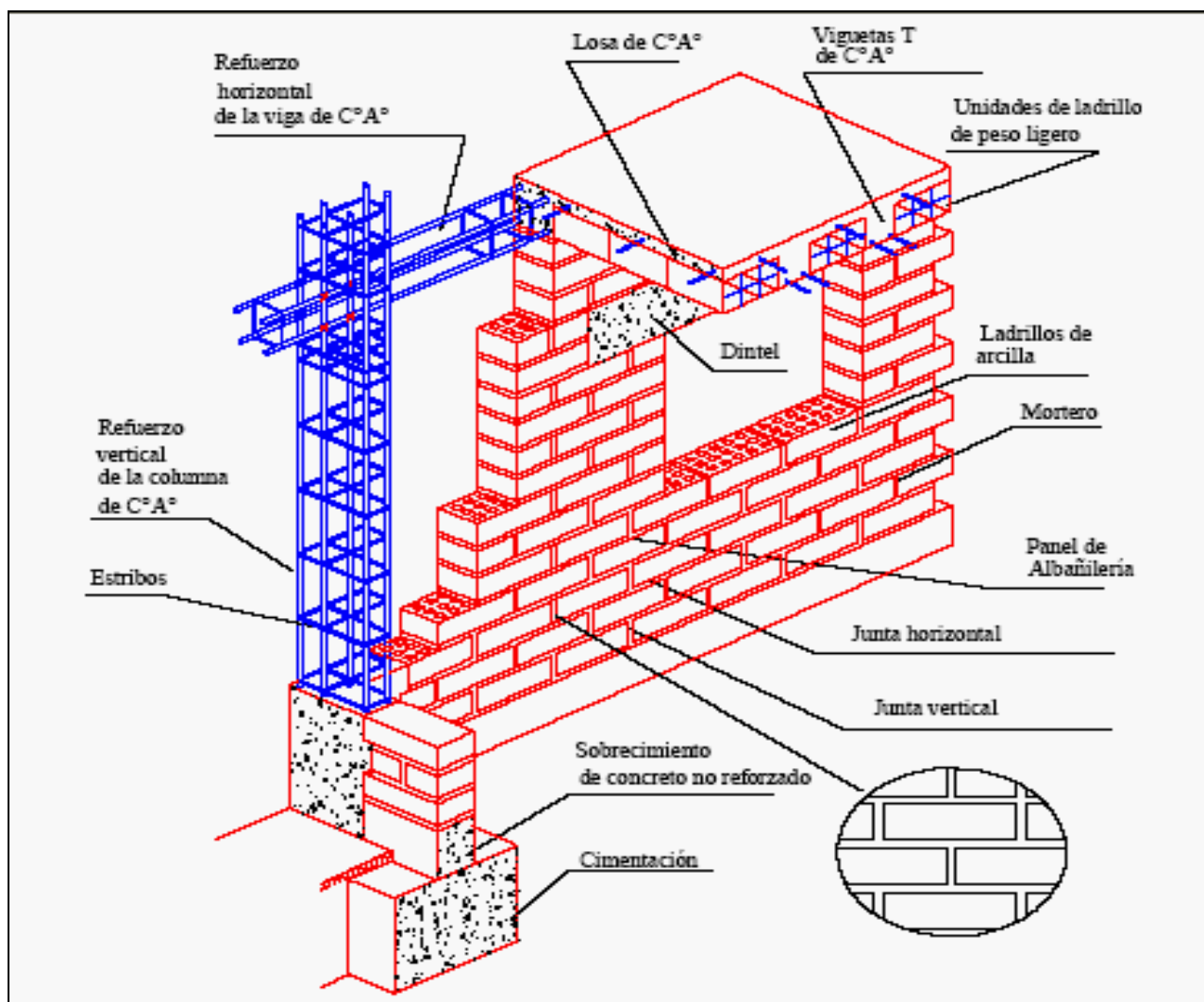
El uso de albañilería en el Perú se inicia desde tiempos muy antiguos, pero es sólo recientemente que su construcción y diseño tiene principios ingenieriles.

En los estudios realizados sobre albañilería, se ha visto que ésta ofrece un pobre comportamiento sísmico, mejorando cuando se le incorporan elementos de confinamiento de concreto armado; por lo que la intención del presente trabajo de investigación es suministrar a la albañilería confinada un elemento que sea capaz de poder disipar la energía de entrada por efecto sísmico, incrementando con ello su capacidad de deformación inelástica y así mejorar su comportamiento sísmico.

El fin principal de todo diseño es proporcionar una estructura segura y duradera, que incorpore la máxima economía posible, para ello debe ser capaz de soportar no sólo las cargas permanentes debidas a sus elementos estructurales y las sobrecargas propias de su uso, sino también las cargas eventuales como los sismos. La actual Norma Peruana de Diseño Sismorresistente nos exige un buen comportamiento de la edificación ante eventos sísmicos, para ello debe existir una combinación óptima de propiedades tales como: resistencia, rigidez, absorción de energía y fundamentalmente capacidad de deformación dúctil. Con la incorporación de paneles de acero como elementos disipadores de energía en los muros de albañilería, se espera que su comportamiento mejore sustancialmente convirtiendo a las edificaciones de albañilería en estructuras dúctiles

### **PANEL DE ACERO LIVIANO COMO UN DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGIA**

La disipación de energía a través de dispositivos especiales, viene del concepto energético en donde la energía de entrada por efecto sísmico debe ser igual a una energía elástica por deformación más una energía disipada por amortiguamiento o por histéresis. En consecuencia, si se logra incrementar la energía disipada mediante la inclusión de dispositivos especiales diseñados para este fin, se tendrá un sistema estructural eficiente, en donde la demanda resultará, menor que la capacidad; es así que en la actualidad existen diferentes sistemas pasivos y/o activos, conocidos como disipadores de energía y por ello lo que se pretende es que mediante una plancha delgada de acero dentro del muro de albañilería se logre disipar energía



## **SISTEMA DE CASAS TRADICIONALES DE ALBANILERIA EN EL PERU**

Se caracteriza por estar constituida por un muro de albañilería simple enmarcada por elementos de concreto armado (vigas y columnas), vaciadas una vez construida el muro. Usualmente se emplea una conexión dentada entre la albañilería y las columnas. La función principal del pórtico de concreto armado que rodea al muro es proporcionar ductilidad al sistema de manera de otorgarle capacidad de deformación inelástica. Adicionalmente el marco funciona como elemento de arriostre cuando la albañilería se sujeta a acciones perpendiculares a su plano.



## **INSTITUTO DE DESARROLLO E INVESTIGACION "CONSTRUIR"**



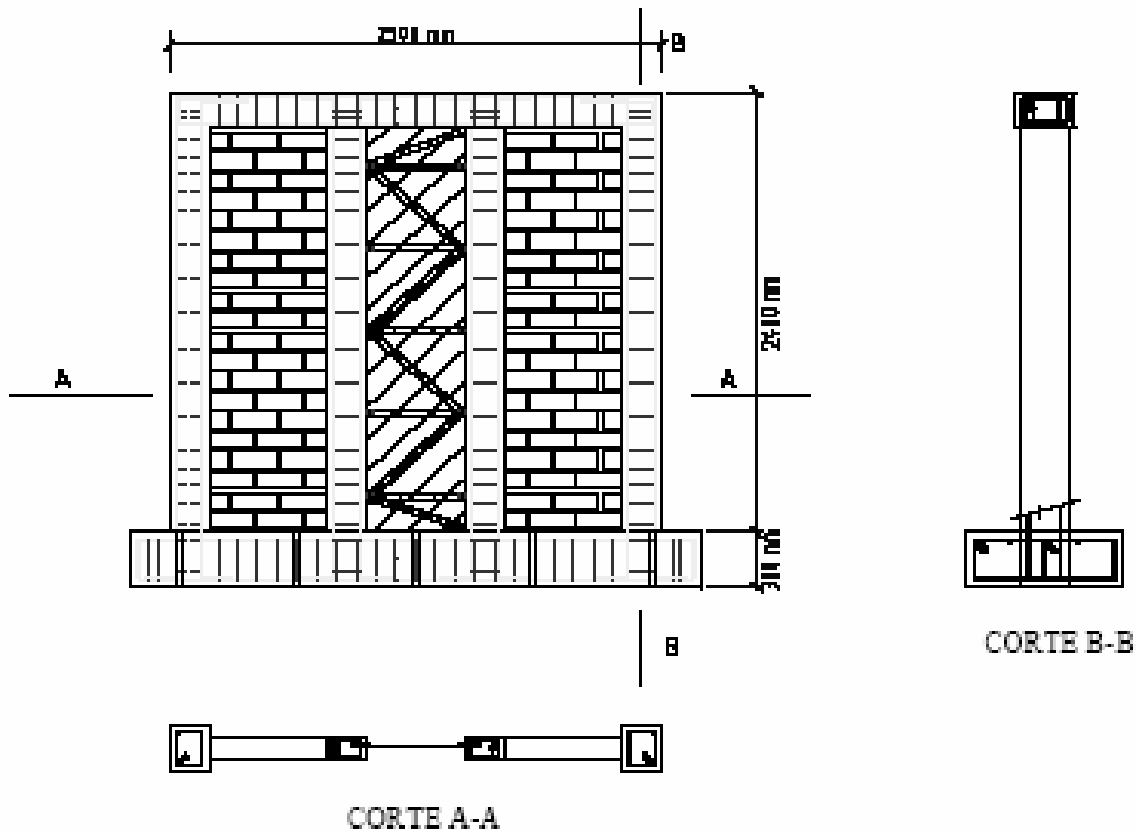
El comportamiento sísmico de edificaciones de albañilería, es llevado usualmente por un análisis estático, con la entrada sísmica coincidente con los ejes principales de inercia de la estructura. Para ello se asume que los pisos se comportan como diafragmas rígidos, conectados a los muros, sólo los muros que tienen la misma dirección que la entrada del sismo llevan las fuerzas sísmicas, y aquellas dirigidas ortogonalmente pueden despreciarse debido a su pequeña rigidez lateral.

Existen excepciones, que es el caso cuando los muros son esbeltos en cuyo caso la condición más desfavorable sería cuando la entrada sísmica es ortogonal al plano del muro, debido a las deflexiones grandes, que haría peligrar su estabilidad.

### **Prototipo del panel**

En la albañilería ya descrita, el principal componente resistente es el muro de ladrillo. Es conocido el comportamiento de la albañilería con aberturas. Si el panel de acero liviano es colocado para rellenar el hueco dejado en la albañilería, esta incrementará su resistencia y se esperará una disipación de energía para el conjunto. Debido a que la albañilería en sí es un material frágil, y el acero un material dúctil, esta plancha funcionará como un fusible, que hará que toda la estructura en sí tenga un comportamiento dúctil y para evitar que la plancha sufra un pandeo prematuro se colocaron un sistema de puntales de arriostre en la plancha, para ello se realizaron diversos modelos de manera de obtener la distribución ideal.

En la albañilería ya descrita, el principal componente resistente es el muro de ladrillo. Es conocido el comportamiento de la albañilería con aberturas. Si el panel de acero liviano es colocado para rellenar el hueco dejado en la albañilería, esta incrementará su resistencia y la albañilería en sí es un material frágil, y el acero un material dúctil, esta plancha funcionará como un fusible, que hará que toda la estructura en sí tenga un comportamiento dúctil y para evitar que la plancha sufra un pandeo prematuro se colocaron un sistema de puntales de arriostre en la plancha, para ello se realizaron diversos modelos de manera de obtener la distribución ideal.

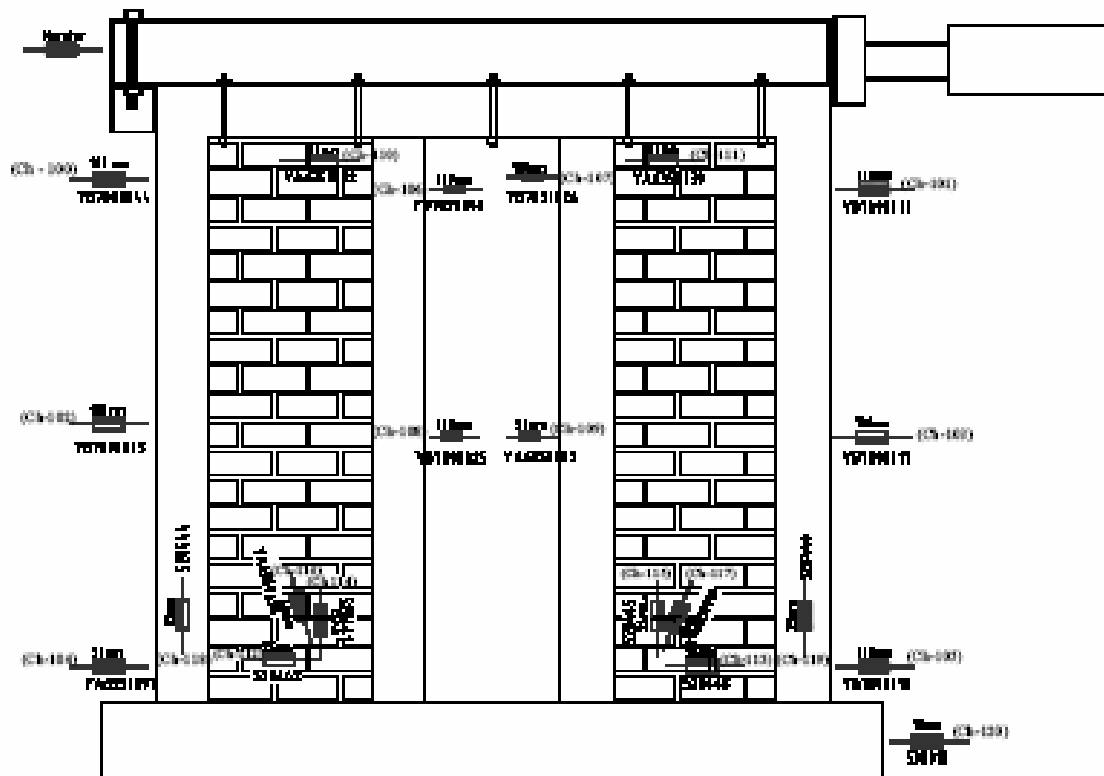


*Figura N°2. - Distribución de los puntales para arriostrar la plancha de acero liviano.*

Para el experimento se prepararon dos especímenes uno con panel y el otro sin panel. Los muros tuvieron 125 mm de espesor con 600 mm de ancho y 2200 mm de altura las que estuvieron confinadas por columnas de 125\*200mm en el lado interno y 200\*250mm en el lado externo y una viga collar de 200\*300mm. Las pilas de albañilería fueron sujetas a ensayos de compresión para estimar la resistencia, arrojando un valor promedio de 111 kg/cm<sup>2</sup>. El concreto usado en los elementos confinados tuvo una resistencia a compresión a los 28 días de 240 kg/cm<sup>2</sup>. El dispositivo disipador de energía tuvo 500 mm de longitud por 2200 mm de altura con un espesor de 0.6mm. fabricado usando un acero equivalente A36. El panel es arriostrado usando ángulos formados en frío de 40\*40\*0.5 mm usando la distribución presentada en la figura N° 2

**PRUEBA DE ENSAYO**

Se desarrollo un ensayo en el Laboratorio de Estructuras del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería usando un actuador controlado por una computadora. Para aplicar la carga se utilizó un actuador electrohidráulico Shimatzu capaz de producir desplazamientos +/-200mm Operando bajo un rango de cargas de +/- 25t. Para la adquisición de datos se utilizó un sistema con 20 transductores de desplazamiento para poder medir la respuesta de la estructura según se muestra en la figura N° 3



*Figura N° 3. - Ubicación de los transductores de desplazamiento en el muro.*

, las que fueron conectadas a un sistema universal de datos UCAM 5BT Kyowa, el mismo que cuenta con un conector GPIB que transfiere los datos a una computadora IBM donde se almacenan en cada paso las mediciones de los sensores. El ensayo se hizo bajo un control de desplazamiento realizado a ensayo cíclico, manejando el actuador a diferentes niveles de ángulos de distorsión de la estructura. La historia de los desplazamientos reprodujo ángulos de distorsión de 1/3200, 1/600, 1/800, 1/400, 1/200 y 1/120. No se usó fuerza axial de Confinamiento.

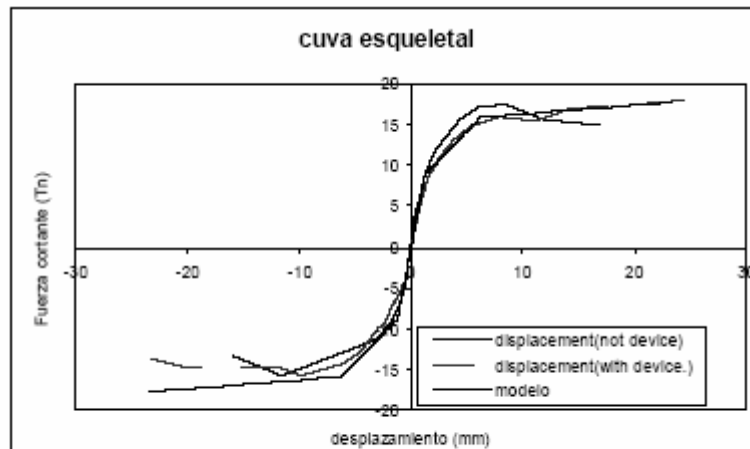


*Figura N° 4. - Comportamiento de los especímenes bajo cargas cíclicas*

En la figura 4 se muestra la respuesta del muro con y sin panel. Si se comparan ambas curvas es posible leer el incremento de la resistencia suministrada por el panel de acero liviano. En el espécimen sin panel, la máxima resistencia alcanzada se dio bajo un ángulo de distorsión de 1/272 dando una máxima fuerza cortante de 17.5t. Cabe mencionar que el experimento fue detenido para una distorsión máxima de 1/145 debido a las grandes grietas que se produjeron para este nivel.

Los resultados del espécimen con el panel disipador son presentados con líneas punteadas en la figura 4, se puede leer de estas curvas que éstas encierran una mayor área dentro del ciclo. Esto indica la tendencia del conjunto para disipar energía. La resistencia máxima en el muro fue alcanzada para un ángulo de distorsión de 1/94 con una fuerza de corte de 17.92t

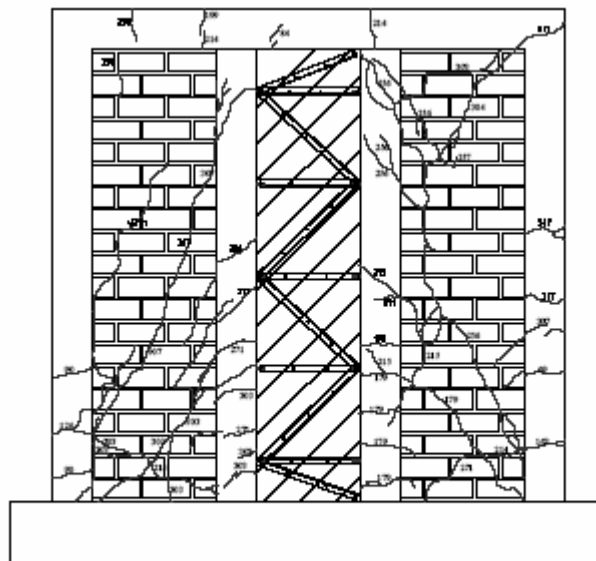
La curva esquelética es construida considerando los valores máximos de cada ciclo en los especímenes. La figura N° 5 representa la curva esquelética de los especímenes con y sin panel disipador.



*Figura N° 5. - valores máximos de los ciclos de histéresis de los modelos.*

Se puede apreciar que el espécimen con el dispositivo disipador tiene un comportamiento más dúctil en el rango inelástico. Además se puede observar que para una distorsión angular de 1/200 en el muro sin el mecanismo disipador de energía la resistencia empieza a decrecer; sin embargo, cuando el muro tiene el dispositivo disipador, su resistencia se mantiene e incluso va en aumento.

Durante el ensayo las grietas se propagaron principalmente en ambas direcciones diagonales, formándose algunas de ellas en las columnas y la viga. Grietas horizontales pasando a través de las juntas horizontales fueron observadas en los muros. Los modelos fueron severamente dañados cuando se excedieron los desplazamientos máximos permisibles.



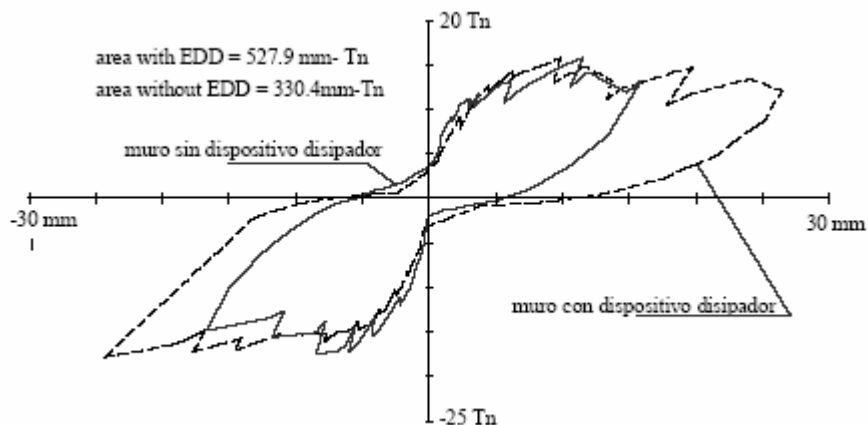
*Figura N° 6. - Patrón de comportamiento en el muro con panel disipador*



La figura No 6 presenta los patrones de grieta en el estado final, cuando las grietas del muro empiezan a abrirse en forma desproporcionada

## CONCLUSIONES

1. El ensayo ha mostrado, que es posible incrementar la resistencia del muro de albañilería cuando se coloca un panel disipador. Si bien es cierto que el incremento de la resistencia es mínimo, pero mejora su comportamiento cíclico.



2. El panel actúa como un dispositivo disipador de energía la que es confirmada según la figura 7 donde la energía es evaluada para los máximos ciclos en ambos especímenes. El muro sin panel tiene una disipación de energía de 330.4 T-mm, sin embargo cuando el panel ocupa el lugar de la abertura, la energía acumulada se incrementa a 527.9 T-mm lo que representa un incremento de 63% en la disipación de energía del muro.
3. El patrón de agrietamiento observado en los muros muestra inicialmente un comportamiento por flexión con grietas horizontales en la parte inferior de las columnas de confinamiento; a medida que se incrementan las distorsiones aparecen las grietas diagonales en el muro y empiezan a propagarse, observándose en el muro con disipador que su resistencia se mantiene aún para una distorsión mayor a 1/200.
4. Es posible determinar analíticamente la rigidez lateral del muro en la fase inicial (antes de que ocurra la primera grieta), siendo necesario en primer lugar transformar la sección real en una equivalente de un solo material; esto se realiza bajo la premisa de que en la fase inicial, existirá una fuerte adherencia entre los diversos materiales que conforman el muro.



## INSTITUTO DE DESARROLLO E INVESTIGACION "CONSTRUIR"



5. El experimento es el primer ensayo y abre la posibilidad de mejorar el comportamiento de materiales tradicionales como la albañilería usando paneles de acero liviano la que es fácil de construir y no representa un mayor costo para la reparación de estructuras existentes.
6. El código de resistencia sísmica publicada recientemente limita los desplazamientos relativos siendo más severo que muchos otros códigos; el límite ha sido fijado en 1/200; por eso hasta que el muro no alcance este valor máximo, el muro deberá considerarse como un muro sísmicamente resistente; en ambos especímenes podemos observar que el principio es satisfecho. Sin embargo en el ensayo sin panel la curva es decreciente para las cargas laterales, mientras que en el muro con el dispositivo disipador la curva muestra una tendencia de ductilidad, aún más el muro podría resistir más deformación con el panel, tal que la energía pueda ser disipada.