

COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LOS PANELES DRYWALL

Por: Ángel San Bartolomé, Ricardo Del Aguila, Ramzy Kahhat, Daniel Lostaunau

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

Con el financiamiento parcial de la empresa All Interior Supply, se realizaron ensayos de simulación sísmica en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica con el objeto de analizar el comportamiento de la tabiquería drywall y su interacción con el pórtico de concreto armado que lo enmarca. Los ensayos se dividieron en tres grupos:

- Ensayo Cíclico Coplanar al tabique.
- Ensayo Sísmico Coplanar al tabique.
- Ensayo Sísmico Ortogonal al plano del tabique.

1. INTRODUCCIÓN

Debido al uso masivo que se le viene dando a la tabiquería drywall en la construcción de centros comerciales, hospitales y edificios para oficinas, y a que faltan estudios que muestren el comportamiento del sistema cuando ocurra un sismo, es que en la presente investigación se trató de analizar los efectos que producen las cargas sísmicas paralelas y perpendiculares al plano de la tabiquería drywall.

Para el ensayo cíclico coplanar se utilizó un pórtico de concreto armado a escala 1:2, el cual fue sometido a cargas cíclicas con desplazamiento lateral controlado. En el ensayo sísmico coplanar se utilizó un módulo de dos pisos de concreto armado a escala 1:2, el cual fue sometido en la mesa vibradora a cargas sísmicas paralelas a la dirección de los tabiques. Para el ensayo sísmico ortogonal al plano del tabique se utilizó un pórtico de concreto armado a escala natural, este ensayo se efectuó en mesa vibradora y se investigó principalmente la capacidad de las conexiones para soportar dichos sismos.

2. MONTAJE DEL TABIQUE

Para el montaje del tabique drywall se llevaron a cabo los siguientes pasos:

2.1 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

Replanteo y Trazo. Esto permite determinar el número de placas de yeso a usar, así como los diferentes tipos de cortes a realizar en las placas, parantes y rieles. Se utilizan para esta labor, herramientas tradicionales de construcción tales como: nivel de mano, hilo marcador, escuadra, lápiz, escalera, etc.

Instalación de Rieles y Parantes (Foto 1). Los rieles (perfiles metálicos horizontales) se instalan en las bases de vigas y en las losas, fijándolas con clavos de $\frac{3}{4}$ " de longitud, lanzados con una pistola de fulminantes; los espaciamientos entre clavos se normalizaron a 30 cm, la razón fue estandarizar los elementos de fijación con el fin de obtener conclusiones futuras. Los parantes (perfiles metálicos verticales) se ensamblan con los

rieles cada 16" y se fijan entre sí con tornillos de 7/16" de longitud. Los parantes que van en las columnas se conectan a ellas por medio de clavos de 3/4", espaciados cada 80 cm. Las herramientas que se usan son: niveles, atornilladora y escuadra.

Foto 1. Montaje de Rieles y Parantes



2.2 MONTAJE DE PLACAS

Corte de la Placa. El corte se hace apoyando la placa sobre una superficie plana, y con la ayuda de una cuchilla se corta el papel. Luego se presiona ligeramente la placa, produciendo la fractura de la misma (Foto 2). Las aristas cortadas se suavizan con una lija.

Emplacado. Es importante que la placa se encuentre a unos 10 a 15 mm por encima del suelo, para evitar problemas de humedad. Las placas se fijan a la estructura metálica con tornillos de 1", 1 1/4" o 1 5/8" @ 16" en el sentido horizontal y 30 cm en el vertical. El tornillo debe quedar rehundido, sin torcerse ni romper el papel; de ocurrir problemas, se retira el tornillo y se coloca otro a pocos centímetros, nunca en el mismo orificio. Las herramientas usadas son un atornillador y una wincha.

Foto 2. Cortado de la Placa de Yeso.



2.3 TERMINACIONES

Sellado de Juntas y Masillado. Con una capa fina de masilla se cubren las juntas y las cabezas de los tornillos. Se aplica la masilla en las juntas, para luego pegar una cinta de papel (Foto 3), dejando secar hasta el día siguiente. Luego, con una espátula de 30 cm, se coloca otra capa de masilla. Las herramientas utilizadas son las siguientes: masilla, porta masillas y espátulas.

Foto 3. Terminaciones.



3. ENSAYO CÍCLICO COPLANAR

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Se realizaron dos ensayos cíclicos: pórtico sin drywall (Foto 4) y con drywall (Foto 5). Se utilizó un pórtico de concreto armado de dos pisos a escala 1:2 con uniones articuladas en la zona columna–cimentación. En el primer ensayo no se instaló la tabiquería, mientras que en el segundo sí, pero sólo en el primer piso. El ensayo consistió en aplicar desplazamientos en forma cíclica mediante un actuador dinámico colocado a la altura de la viga del primer nivel. Los desplazamientos se midieron mediante LVDT (Fig. 1).



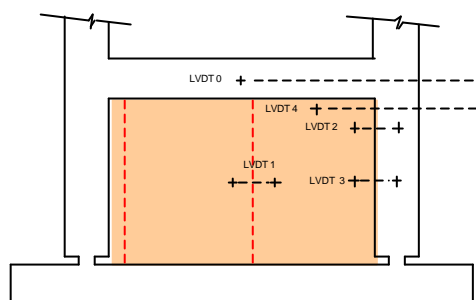
Foto 4. Ensayo Estático sin Drywall.



Foto 5. Ensayo Estático con Drywall.

En el ensayo sin drywall se realizó la fase 0 compuesta por desplazamientos laterales máximos de 2 mm, mientras que en el ensayo con drywall se realizaron cuatro fases (1, 2, 3 y 4) con desplazamientos de 2, 10, 15 y 20 mm, respectivamente.

Fig. 1: Distribución de los LVDT (con Drywall)



3.2 RESULTADOS

En la Tabla 1 aparecen los valores máximos de las cargas y desplazamientos registrados en cada fase, mientras que la rigidez lateral aparece en la Tabla 2.

Tabla 1. Cargas y Desplazamientos Máximos en cada Fase

Fase	Desplazamiento Máximo de cada LVDT (mm)					Fuerza (ton)
	D0	D1	D2	D3	D4	
0	2.010	--	--	--	--	1.930
1	2.079	0.086	0.307	0.401	1.591	3.075
2	10.137	0.203	4.246	0.868	5.322	8.624
3	15.216	0.227	6.273	1.186	7.684	11.938
4	20.188	0.243	8.488	1.339	10.119	13.416

Nota: La fase 0 corresponde al pórtico sin drywall

Tabla 2. Rigideces Laterales (ton/mm)

	Pórtico sin drywall (fase 0)	Pórtico con drywall (fase 1)	Tabique drywall
Rigidez	0.96	1.48	0.52

Comparando la rigidez del tabique drywall con la del pórtico (Tabla 2), se observa que la rigidez del pórtico aumenta en 54%. Este aumento es significativo, pero principalmente se debe a que el pórtico presenta poca rigidez debido a que: 1) estaba articulado en su base; 2) fue construido a escala 1:2; y, 3) había sido ensayado previamente (pórtico fisurado). Por otro lado, para desplazamientos mayores, el tabique falla en las esquinas y deja de interactuar con el pórtico, con lo cual, puede afirmarse que para sismos severos se puede desprestigiar la acción del tabique. En el caso de sismos moderados, donde los desplazamientos son menores, puede esperarse un aumento en la rigidez del sistema, aunque no en la magnitud tan grande como ocasionara un tabique de albañilería.

Principales Fallas. La forma como fallan las placas es por trituración localizada en las esquinas superiores del tabique (Foto 6) debido a su acción como puntal diagonal actuante contra el pórtico. Otra zona donde se produce la trituración de la placa, aunque en menor grado, es en las uniones entre las placas y los parantes, creándose un huelgo entre el tornillo de conexión y la placa. Todo el proceso de trituración se inicia en la fase 2 (10 mm) y se vuelve crítico en la fase 3 (15 mm). Una vez que se produce la trituración en las esquinas de las placas, se pierde la interacción pórtico-tabique.

**Foto 6.** Detalles de la falla por trituración en las placas en las esquinas del tabique.

En la zona de conexión riel-pórtico se produce una falla por cizalla del perno (Foto 7) y del riel (Foto 8), debido al desplazamiento relativo que existió entre el tabique y el pórtico (ver la diferencia de desplazamientos D0 y D4 en la Tabla 1).

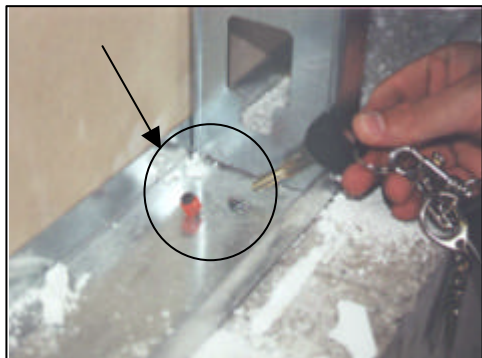


Foto 7. Falla del perno por cizalla.

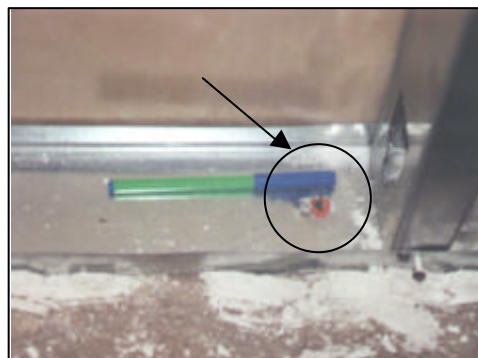


Foto 8. Cizalla del riel.

4. ENSAYO SÍSMICO COPLANAR.

Esta parte de la investigación comprende el desarrollo de dos etapas: ensayo sísmico coplanar sin drywall; y, ensayo sísmico coplanar con drywall.

En ambas etapas se aplicó el sismo producido el 31 de mayo de 1970, comprimido en el tiempo por razones de escala (1:2) del módulo aporticado, variando el desplazamiento (Dm) y la aceleración (Am) de la mesa vibradora, para de este modo tratar de representar sismos moderados y severos. Cabe mencionar que la aceleración aplicada (Am) equivale a la mitad de la aceleración de un sismo real, por razones de escala del módulo aporticado.

Primera Etapa. Fase 0 sin Drywall: Dm = 20 mm y Am = 0.4 g (sismo moderado).

Al culminar esta etapa, se procedió a instalar los paneles drywall en los ejes paralelos al movimiento del simulador en el primer y segundo piso (Foto 9) para luego dar paso a la segunda etapa en la cual se transmitió a la mesa vibradora las siguientes señales:

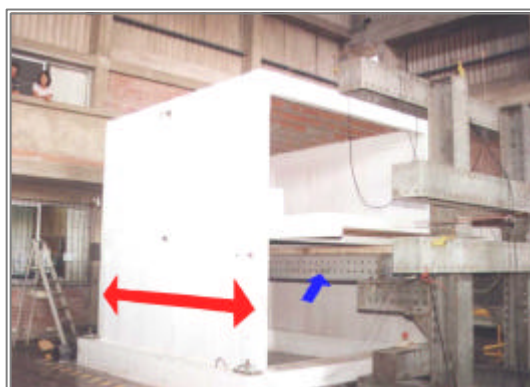
Fase 1 con Drywall: Dm = 20 mm, Am = 0.4 g. Equivale a un sismo moderado.

Fase 2 con Drywall: Dm = 40 mm, Am = 0.75 g. Equivale a un sismo severo.

Fase 3 con Drywall: Dm = 55 mm, Am = 1.00 g. Equivale a un sismo muy severo.

Fase 4: Dm = 55 mm, Am = 1.00 g. Las placas de yeso exteriores fueron removidas.

Foto 9. Vista del Módulo con Drywall.



En la Tabla 3 se muestra las fuerzas cortantes (Q) y los desplazamientos laterales máximos (D) alcanzados en las diferentes fases en los dos pisos, mientras que en la Fig.3 se comparan el comportamiento ante el sismo moderado del módulo con drywall (fase 1) y sin drywall (fase 0).

Tabla 3. Fuerzas Cortantes y Desplazamientos Máximos para las Diferentes Fases

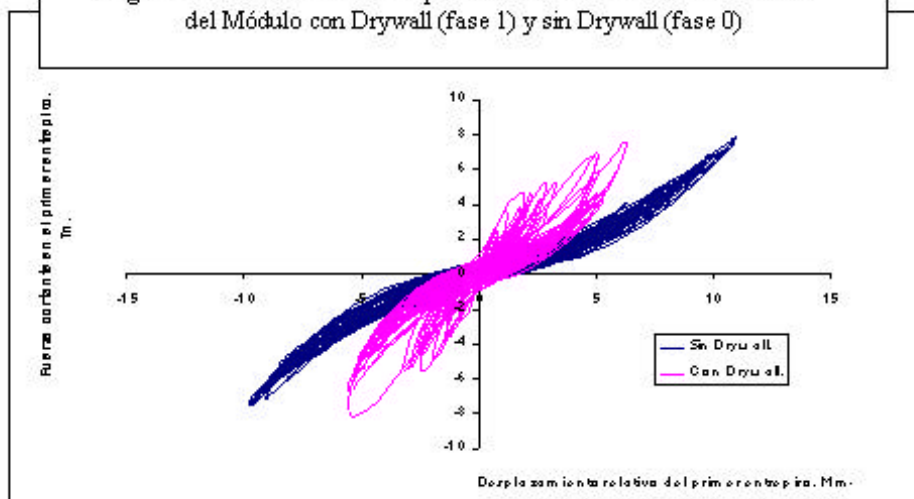
Fase	D1 (mm)	D2 (mm)	Q1 (ton)	Q2 (ton)
0 sin drywall	10.92	20.95	7.85	4.66
1 con drywall	6.31	9.64	8.12	4.03
2 con drywall	20.13	34.58	17.27	10.92
3 con drywall	29.06	50.93	18.45	11.27

Las fallas observadas, en su mayoría, eran por aplastamiento del drywall en las esquinas (Foto 10), iniciándose en la fase 1 y volviéndose críticas en la fase 2, en la cual, el efecto de puntal diagonal que ofrece el drywall desaparece. Véase en la Tabla 3 que sí se multiplican los valores D y Q de la fase 0 por la relación A_m (fase 2 o 3) / A_m (fase 0), los resultados son parecidos al caso sistema con drywall, por lo que se reafirma que ante los sismos severos puede desprejarse la interacción drywall-pórtico. Además, después de retirar las placas del primer piso, pudo notarse el pandeo de los parantes intermedios.

Foto 10. Aplastamiento de la placa de yeso en la esquina superior del primer piso.



Fig. 2: Fuerza Cortante vs. Desplazamiento Relativo en el Primer Piso del Módulo con Drywall (fase 1) y sin Drywall (fase 0)



5. ENSAYO SÍSMICO ORTOGONAL AL PLANO DEL TABIQUE

En esta etapa se trató de analizar el comportamiento de la tabiquería drywall ante cargas sísmicas perpendiculares a su plano (Foto 11), dándose énfasis a la capacidad resistente de sus conexiones. Para tal efecto, se decidió realizar los siguientes ensayos: ensayo sísmico del pórtico sin drywall; y, ensayo sísmico del pórtico con drywall. Para ambos casos se utilizó el sismo del 31 de mayo de 1970 sin escalar su duración, debido a que esta vez el espécimen fue construido a escala natural.

5.1 ENSAYOS SÍSMICOS

Descripción de los Ensayos. La fase 0 ($A_m = 0.3g$) corresponde a un sismo moderado actuante en la dirección ortogonal al pórtico sin drywall. Terminada esta fase, se instaló el drywall en el pórtico y el sistema se sometió a cinco fases con aceleraciones máximas de la mesa vibradora: $A_m = 0.3g, 0.4g, 0.6g, 0.9g$ y $1.12g$. Antes de iniciar cada fase, se realizaron ensayos de vibración libre aplicando una onda compuesta por cuatro pulsos rectangulares, el objetivo fue determinar el período de vibrar (T).

Foto 11. Pórtico con drywall.



Comportamiento. Terminado los ensayos, se pudo observar que para cargas sísmicas perpendiculares al plano, con aceleraciones de hasta $0.9g$, los paneles, parantes, rieles y elemento de fijación de la tabiquería, no sufrieron daños significativos que alteren la capacidad resistente del sistema; lo cual convierte a la tabiquería drywall en un sistema resistente a las acciones sísmicas ortogonales.

Valores Máximos Registrados. En la Tabla 4 se muestra la carga sísmica ortogonal (w) actuante sobre el drywall, además, se observa que las aceleraciones en el centro de la tabiquería son cinco a seis veces más grandes que las proporcionadas en la base.

Tabla 4. Aceleraciones, Desplazamientos y Cargas Máximas para las Diferentes Fases

Fase	Aceleración máxima en la base	Aceleración y Desp. Máximo en el centro del Drywall	W drywall (kg/m^2)
1	0.302 g	1.562g, 6.3mm	38.485
2	0.409 g	2.290g, 8.6mm	53.882
3	0.604 g	3.577g, 12.5 mm	77.048
4	0.898 g	5.000g, 17.8 mm	129.608
5	1.118 g	6.968g, 22.9 mm	203.581

En la Tabla 4 se observa que la capacidad resistente del tabique drywall, a cargas sísmicas perpendiculares a su plano, supera al valor especificado por la Norma E030 (Ref.2), que para este caso se indica que la tabiquería deberá diseñarse para resistir una fuerza sísmica asociada a un porcentaje de su peso (el peso fue 37.8 kg/m^2). Adicionalmente, se observa que en la zona central del tabique, los desplazamientos relativos son considerables, por lo que se podrían dañar las instalaciones sanitarias, eléctricas o electromecánicas en caso existieran en su interior, asimismo, podrían caerse los objetos colgados del tabique.

Para determinar el Módulo de Elasticidad “E” para vibraciones ortogonales al plano del tabique, se usó la fórmula proporcionada en la Ref.1, en la cual se proporciona el período de vibrar “T” de una losa simplemente apoyada, en función de E, las dimensiones de la losa, la densidad de masa y el módulo de Poisson. Conociéndose “T” y adoptando un módulo de Poisson igual a 0.30, se calculó en forma indirecta “ $E = 7400 \text{ ton/m}^2$ ”.

5.2 ENSAYO ESTÁTICO

Como en el ensayo dinámico no se logró el colapso del tabique, fue necesario realizar otro tipo de ensayo, con el objetivo de encontrar la capacidad resistente de la tabiquería. El ensayo consistió en colocar en posición horizontal al pórtico, de modo tal que sobre él actuaban cargas perpendiculares a su plano, proporcionadas por su propio peso y la adición paulatina de bolsas de arena (Foto 12).



Foto 12. Vista del Pórtico, luego de terminado el ensayo estático.

Al final del ensayo se pudo evidenciar una falla frágil. El mecanismo de falla fue el siguiente: ambos rieles y un parante conectado a una de las columnas, fallaron en sus elementos de conexión contra el pórtico. El parante de la columna opuesta no se desprendió, pero fallaron los conectores de las placas de yeso. La combinación de estas fallas produjo el colapso de la tabiquería. No se puede decir cual de las dos fallas se originó primero debido a lo repentino de la falla.

Con la carga máxima registrada (156.5 kg/m^2) instantes antes del colapso del tabique y adoptando un factor de seguridad de 3, se puede establecer que para efectos de diseño ante cargas perpendiculares al plano de la tabiquería, cada elemento de fijación perfil-pórtico tiene una capacidad de carga admisible de 12 kg.

5.3. ENSAYOS DE FLEXIÓN EN TUBERÍAS

La razón de realizar este ensayo fue la necesidad de verificar si los desplazamientos medidos en la zona central del tabique drywall durante el ensayo dinámico (Tabla 4), eran soportados por las tuberías PVC. De esta manera, se realizaron dos ensayos de flexión

(Foto 13): el primer espécimen correspondió a un tubo PVC de 4", utilizado en las instalaciones de desagüe, el segundo espécimen fue un tubo PVC de 1/2", utilizado en las instalaciones de agua. Ambos espécimenes fueron sometidos a los siguientes desplazamientos en su centro: 6.3 mm, 8.60 mm, 12.5 mm, 17.80 mm y 22.90 mm.

Foto 13. Vistas de ensayos de flexión en una tubería PVC de desagüe.



Luego de los ensayos se puede decir:

- Para un desplazamiento de 8 mm en el centro del tubo de desagüe, se puede producir deformaciones en sus bordes extremos que hagan fallar la hermeticidad de sus uniones.
- La tubería de agua, se comportó bien para cualquier deformación que la tabiquería pueda transmitirle. Por lo tanto no representan problemas a la hora de considerar los desplazamientos inducidos por el sismo.

6. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

□ *Peso y flexibilidad del tabique drywall.*

El tabique drywall utilizado en este proyecto tuvo un peso igual a 38 kg/m^2 , 5 veces menor que un tabique de albañilería hecho con ladrillos pandereta, y además su gran flexibilidad permitió que se reacomode a las deformaciones del pórtico. Estas son ventajas sísmicas sobre los tabiques tradicionales de albañilería, porque a menor peso disminuyen las fuerzas sísmicas y a mayor flexibilidad disminuye la interacción tabique-pórtico. Sin embargo, debe mencionarse que si bien algunas veces los tabiques de albañilería han perjudicado sísmicamente a la estructura por los problemas que origina su alta rigidez: piso blando, torsión en planta, columnas cortas, etc. (ver la Ref.3), otras veces han actuado favorablemente al incrementar la resistencia de los pórticos.

□ *En sismos severos la rigidez lateral de un pórtico de concreto armado no se ve modificada por la presencia del tabique drywall contenido en el plano del pórtico.*

Lo señalado se cumple cuando el pórtico es sometido a sismos severos, ya que el tabique deja de interactuar con el pórtico debido a que se produce la falla por trituración en las esquinas de las placas de yeso (zona de unión viga-columna), perdiéndose el efecto de puntal diagonal que ofrece el tabique. Sin embargo, para sismos moderados existe un aumento en la rigidez del pórtico por efecto del drywall, que no llega a ser significativo en comparación con el incremento que proporcionan los tabiques de albañilería.

En el caso de los experimentos realizados en esta investigación, el aporte de rigidez lateral proporcionada por el tabique drywall fue sustancial en comparación con la rigidez de los

pórticos, pero eso se debió a que los pórticos fueron construidos a escala $\frac{1}{2}$ y habían sido ensayados previamente mostrando fisuras, mientras que el tabique presentaba secciones transversales reales en los perfiles y placas de yeso.

□ ***El tabique drywall soporta desplazamientos mayores a los exigidos por la Norma.***

El tabique luego de haber sido sometido a distorsiones angulares que estuvieron por encima de los límites máximos impuestos por la Norma sísmica, Ref.2, falló por trituración en las esquinas de las planchas de yeso, pandeo de algunos parantes, y por cizalla en la zona de conexión riel-pórtico. Sin embargo el tabique conservó su estabilidad. Inclusive, en el caso de las zonas donde se produjo fallas por cizalla, este anclaje ya no trabaja en la dirección paralela al plano del pórtico pero sí en la dirección perpendicular.

□ ***Acciones sísmicas ortogonales al plano del drywall.***

Este sistema y sus conexiones son capaces de soportar cargas dinámicas perpendiculares al plano, superiores a las correspondientes a un sismo de diseño severo en suelo blando (aceleraciones sísmicas de hasta 0.9g). Sin embargo, ante la acción de sismos moderados, la tabiquería drywall desarrolla desplazamientos relativos considerables en su zona central, que pueden traer problemas en los extremos de las instalaciones de desagües, pudiendo fallar la hermeticidad de sus uniones, así como la caída de objetos que cuelgan del tabique, por lo que en estos casos se recomienda arriostrar en mejor forma la estructura metálica.

□ ***Línea Futura de Investigación.***

A pesar de que no existía sobrecarga en las vigas y que las secciones transversales de los parantes eran a escala natural, mientras que la altura del entrepiso era a escala 1:2, los parantes intermedios fallaron por pandeo. Sin embargo, se desconoce para que nivel de sismo (leve, moderado o severo) se produjo esta falla, ya que durante los experimentos los perfiles metálicos estaban ocultos por las planchas. Por lo que es necesario realizar ensayos en pórticos a escala natural, dejando al descubierto la estructura metálica, estos ensayos permitirían también determinar para que nivel de sismos se produce la falla por cizalla en la zona de conexión riel-pórtico y conocer cuánta rigidez aporta la estructura metálica.

Para determinar la rigidez lateral elástica que aporta el tabique drywall, es necesario ensayar un espécimen a escala natural, cuya zona aporricada se encuentre sin fisuras, de esta manera podría obtenerse para efectos de modelaje estructural, las características de un puntal diagonal equivalente que reemplace al tabique (Ref.3).

Debido a las fallas producidas en las conexiones placa-estructura metálica y estructura metálica-pórtico ante las acciones sísmicas coplanares y perpendiculares al plano del tabique, actuando independientemente, es necesario ensayar ambas acciones en simultáneo, actuando sobre un espécimen a escala natural.

7. REFERENCIAS

- 1) Vibration Problems in Engineering. Timoshenko, Young and Weaver.
- 2) Norma Técnica de Edificación E-030. Diseño Sismorresistente.
- 3) Análisis de Edificios. A. San Bartolomé. Fondo Editorial PUCP, 1999.