

## ***INTERACCION TABIQUE - PORTICO***

Por: Vinicio Urdaneta y Angel San Bartolomé  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

### ***RESUMEN***

Empleando un módulo tridimensional de concreto armado, de un piso y una crujía en cada pórtico, en este trabajo se pretende estudiar la influencia de los tabiques de albañilería y de fibrablock sobre el comportamiento sísmico de la estructura, para lo cual se efectuaron ensayos estáticos y dinámicos en la mesa vibradora de la Universidad Católica.

### ***1.- INTRODUCCION***

Existen elementos no estructurales cuya presencia afecta el comportamiento sísmico de los edificios, tal es el caso de los tabiques no aislados de los pórticos que, a diferencia de los muros de albañilería confinados, son construidos luego de haberse desencofrado las columnas y vigas del pórtico, sin embargo, no se aíslan del pórtico sino simplemente se adhieren a él utilizando generalmente mortero. La interacción entre el tabique no aislado y el pórtico puede modificar significativamente la rigidez de la edificación y, en caso no se contemple la influencia de dichos tabiques, se pueden generar problemas estructurales importantes como: torsión en el edificio o “piso blando”; esto último se origina por fallas en las columnas del primer piso, libre de tabiques, debido a un aumento en la rigidez de los pisos superiores por la presencia de tabiques. Alternativamente, se puede evitar que los tabiques no aislados influyan significativamente en la rigidez de la edificación, empleando tabiques de algún material que tenga poca rigidez, como por ejemplo la madera o el fibrablock.

En este trabajo se propone un modelo teórico que permita representar la interacción tabique-pórtico en las edificaciones aporticadas de concreto armado, para tabiques de albañilería y de fibrablock, no aislados del pórtico. Para tal fin, se sometió a un módulo tridimensional aporticado de un piso a una serie de ensayos estáticos y dinámicos. Inicialmente se ensayó el módulo con pórticos libre de tabiques (foto 2). Luego se repitió el ensayo estático y dinámico (utilizando la misma señal sísmica) colocando primero tabiques de fibrablock (foto 3) y luego reemplazando los tabiques de fibrablock por tabiques de albañilería (foto 4). De esta manera se logró cuantificar la influencia del tipo de tabique sobre la rigidez lateral, el período y el amortiguamiento del módulo.

Se utilizó el programa “Edificio” (Ref. 1) para formular hipótesis teóricas que permitan representar el comportamiento de los tabiques. Tradicionalmente, la técnica de modelaje de los tabiques de albañilería consiste en representar al tabique como un puntal, que une los nudos diagonalmente opuestos del pórtico. Este modelaje se debe a que, al flectarse la viga y columna del pórtico, el tabique se despegas del pórtico manteniendo contacto sólo con los vértices diagonalmente opuestos. El valor asumido para representar el ancho del puntal es  $w=D/4$ , para la albañilería (Ref. 2), donde  $D$  es igual a la longitud de la diagonal del tabique ( $w$  es desconocido para el fibrablock). En la presente investigación se intentó verificar tal planteamiento.

## 2.- MATERIALES EMPLEADOS

**2.1. Pórtico de Concreto Armado.** En lo que se refiere al concreto y al acero, las propiedades de los materiales utilizados para la construcción del módulo tridimensional se indican en la Ref. 3, donde originalmente el módulo tenía dos pisos (foto 1). Por razones de capacidad portante de la mesa vibradora, el segundo piso fue eliminado. Como este módulo había sido ensayado previamente hubo que repararlo.

**2.2. Reparación del Pórtico.** El pórtico utilizado tuvo que ser reparado inicialmente ya que poseía pequeñas grietas. La reparación del pórtico se realizó utilizando Sikadur 52, el cual es una resina de muy baja viscosidad que penetra fácilmente por fisuras muy pequeñas. El modo de aplicación, indicado por el fabricante, es inyectándolo con la ayuda de un inyector simple que permite que el producto penetre a la fisura por presión. El procedimiento seguido para reparar fue inyectar la resina de este compuesto en las grietas, previamente selladas utilizando Sikadur 31, el cual es una pasta adhesiva utilizada para sellar superficialmente fisuras de concreto. Su función principal fue la de sellar herméticamente el perímetro de las fisuras, de tal manera de impedir que escape la resina epóxica cuando ésta se inyecta. Este procedimiento permite asegurar que la resina ha llenado todo el vacío que produjo la fisura. La presentación de este producto consiste en dos componentes epóxicos que se endurecen al entrar en contacto entre sí.

**2.3. Fibrablock** Las planchas de fibrablock, de dimensiones 2.00m x 0.50m x 2" y peso igual a 24 kg por plancha, provinieron de la fábrica Fibracemento. Para encontrar el módulo de elasticidad y el módulo de corte del fibrablock se llevaron a cabo ensayos de corte y de compresión, análogos a los aplicados en albañilería. Las dimensiones utilizadas para la probeta fueron  $L_1 = L_2 = 20\text{cm}$  con una relación  $L_1/t = 4/1$  (fig.1). Adicionalmente se colocaron 2 LVDTs (1 en cada cara) por cada muestra, lo que permitió hallar el módulo de elasticidad  $E = 50,250 \text{ ton/m}^2$ . El ensayo de compresión diagonal se llevó a cabo empleando probetas cuadradas de fibrablock de lado  $L = 50\text{cm}$  y espesor  $t = 5\text{cm}$  y se aplicó una carga paralela a la diagonal, colocando dos LVDTs perpendiculares entre si con el objeto de determinar el módulo de corte  $G = 19,700 \text{ ton/m}^2$  y  $E/G = 2.55$ .

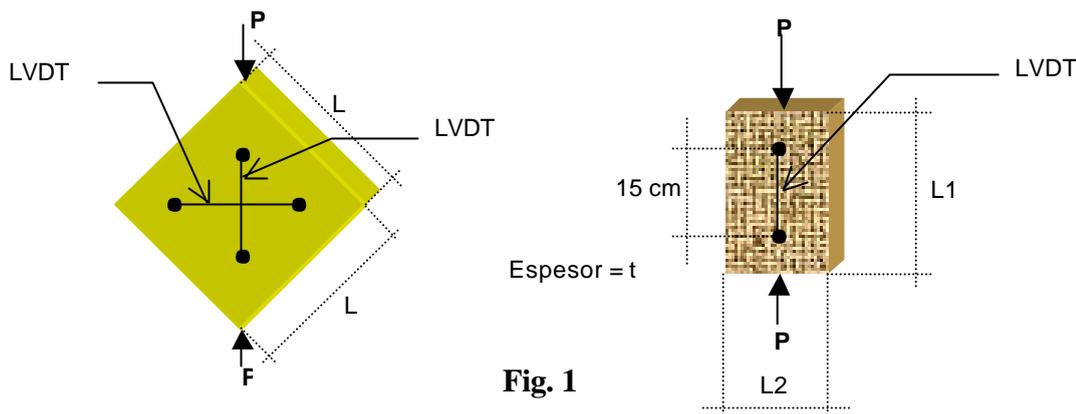


Fig. 1

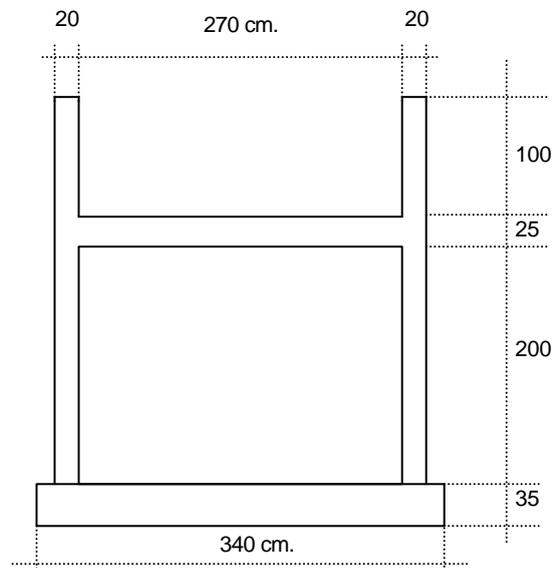
Ensayo de compresión diagonal

Ensayo de compresión axial

**2.4. Albañilería** Para encontrar el módulo de elasticidad se prepararon pilas y muretes de albañilería utilizando ladrillos panderetas (9.5 x 11.5 x 23.5 cm, procedentes de la fábrica Huachipa) asentados en aparejo de canto con juntas de 1 cm. La proporción volumétrica cemento : arena gruesa del mortero fue 1:4. Las pilas y muretes se sometieron al ensayo de compresión axial y compresión diagonal respectivamente. Se encontró un módulo de elasticidad  $E = 437,000 \text{ ton/m}^2$  y  $E/G = 3.0$ .

### 3.- PROCESO CONSTRUCTIVO

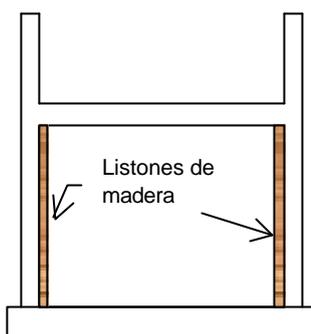
**Fig. 2: Módulo con Paños Libres**



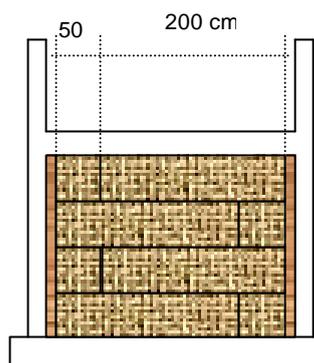
Luego de ensayar el Módulo con Paños Libres (fig. 2 y foto 2) se le añadieron dos tabiques de fibrablock en dos pórticos paralelos (foto 3). Se respetó el proceso de construcción de tabiques compuestos de planchas de fibrablock propuesto por el fabricante (fig. 3), el cual consistió en:

- 1) empernar los listones de madera (4 pulgadas de espesor) a las columnas del pórtico.
- 2) colocar los paneles de fibrablock, adheridos entre sí con mortero.
- 3) coser las juntas con alambre de construcción #16 por ambos lados del muro utilizando clavos de 4 pulgadas como anclaje de la costura.

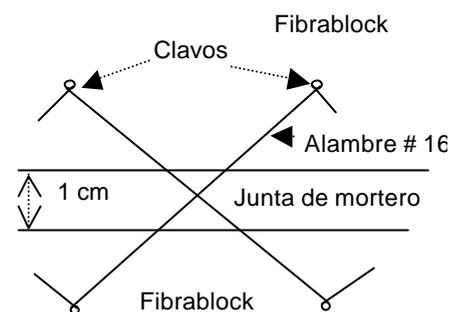
**Colocación de los listones**



**Colocación de planchas**



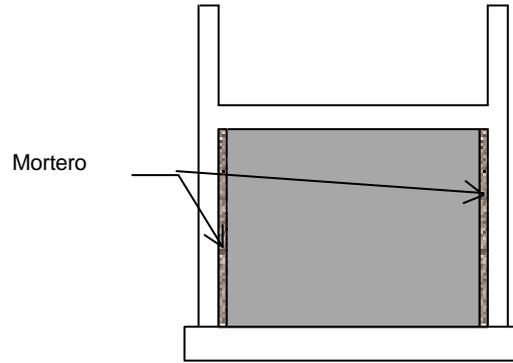
**Costura entre planchas**



**Fig. 3. Proceso de construcción del Módulo con Fibrablock**

Luego de realizar los ensayos sobre el módulo con fibrablock, se retiraron los tabiques y se colocaron tabiques de albañilería, compuesta por ladrillos pandereta en aparejo de canto (fig. 4 y foto 4). El sistema de construcción utilizado fue el tradicional. Los ladrillos se colocaron húmedos, superficialmente secos, para lo cual se regó con agua la pila de ladrillos, por veinte minutos, 24 horas antes de ser asentados. La colocación de los ladrillos se realizó en dos días, levantando un metro de muro por día. Luego de levantar el tabique se colocó mortero en la junta tabique – pórtico.

**Fig. 4. Módulo con tabique de albañilería.**



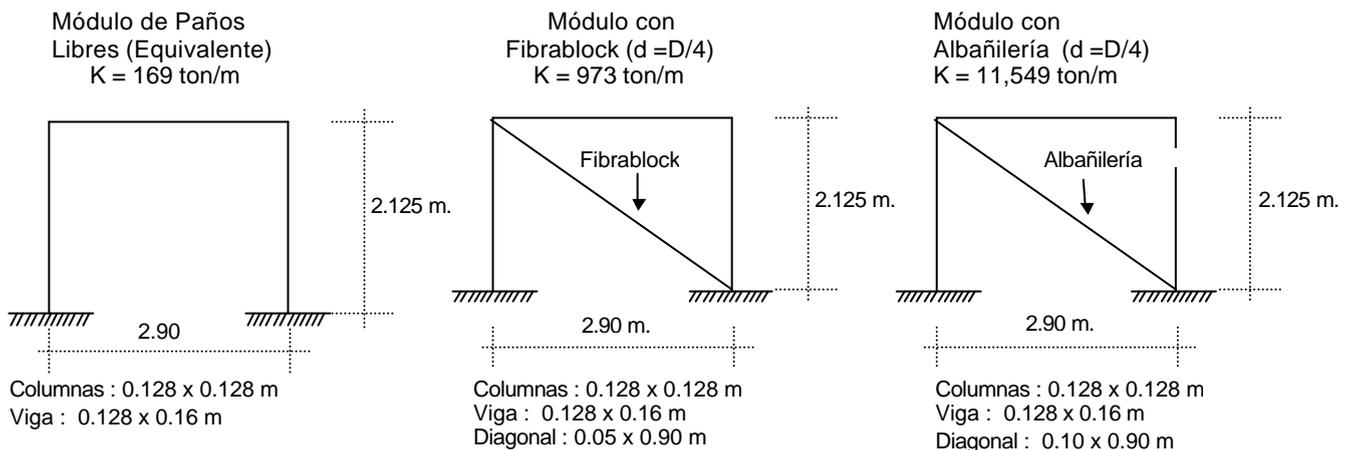
#### 4.- PREDICCIÓN DE LA RIGIDEZ LATERAL

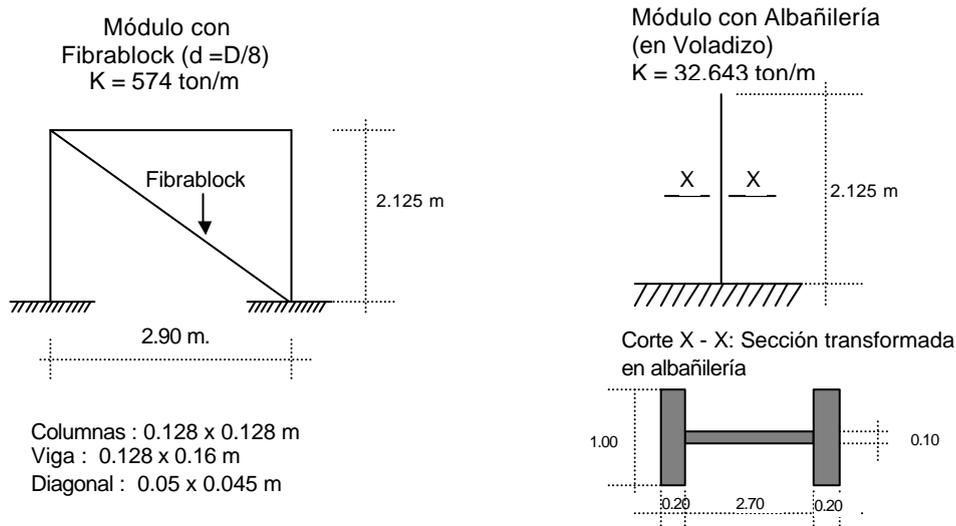
La predicción de la rigidez lateral se realizó utilizando el programa “Edificio”, el cual da soluciones estructurales de edificios sujetos a cargas sísmicas reglamentarias, admitiendo como hipótesis que la losa del techo es un diafragma rígido con tres grados de libertad por piso y que el edificio está compuesto por pórticos planos con tres grados de libertad por nudo. Adicionalmente, el programa contempla deformaciones por flexión, corte y axial en cada elemento estructural, sin embargo, en los puntales que simulaban a los tabiques sólo se considera la deformación axial.

Debido al daño que presentó inicialmente el pórtico de concreto armado resanado, se modeló utilizando secciones reducidas que produzcan la misma rigidez lateral encontrada experimentalmente en el ensayo estático. Se analizaron modelos para representar el comportamiento del Módulo con Fibrablock representando al tabique con un puntal diagonal con ancho  $w$  igual a  $D/4$  y luego  $D/8$ . Luego se analizó el modelo correspondiente al módulo con tabiques de albañilería considerando  $w = D/4$  y además, un comportamiento monolítico en voladizo (aplicando el criterio de la sección transformada). A continuación se muestran los valores para la rigidez lateral  $K$  teórica.

Módulo	K (ton/m)
Paños Libres (pórtico equivalente)	169
Paños con fibrablock (D/4)	973
Paños con fibrablock (D/8)	574
Paños con albañilería con puntal diagonal (D/4)	11,549
Paños con albañilería en comportamiento monolítico en voladizo	32,643

Los modelos matemáticos utilizado se muestran a continuación (fig. 5):



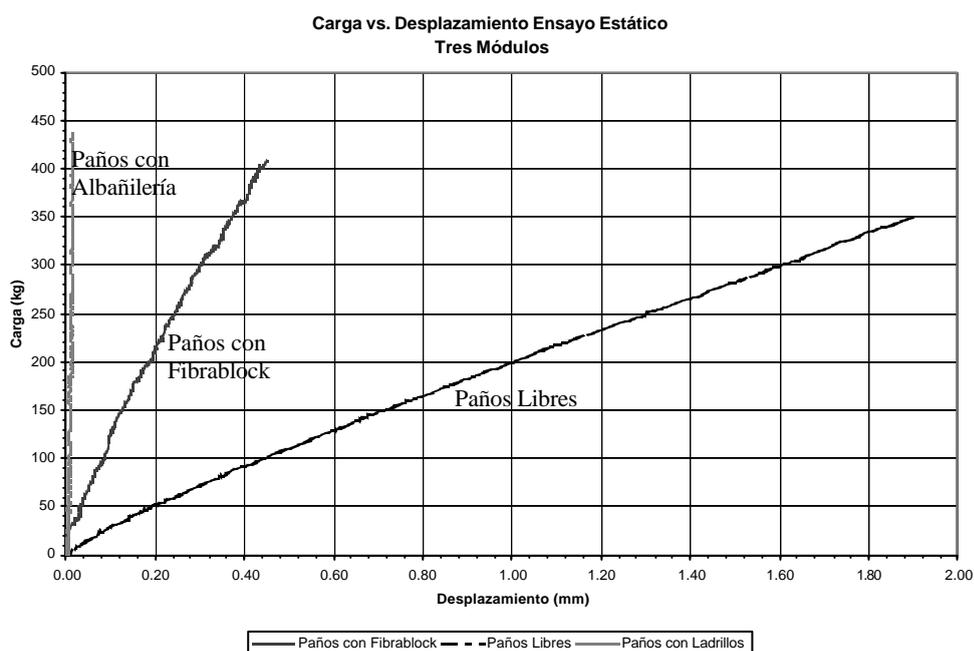


**Fig. 5. Modelos matemáticos utilizados**

## 5.- ENSAYOS

**5.1. Ensayo Estático.** La propiedad más importante que nos permitió obtener el ensayo estático es la rigidez lateral. Los valores encontrados en los ensayos en el Módulo de Paños Libres, en el Módulo con Fibrablock y en el Módulo con Albañilería fueron los siguientes (ver fig. 6):

Módulo	Rigidez lateral (ton/m)
Paños Libres	168
Con Fibrablock	830
Con Albañilería	35,000



**Fig. 6. Comportamiento de los módulos durante el ensayo estático**

Cabe mencionar que en el ensayo estático se aplicaron cargas muy pequeñas, por lo que esto prueba equivale a la actuación de un sismo leve sobre el módulo.

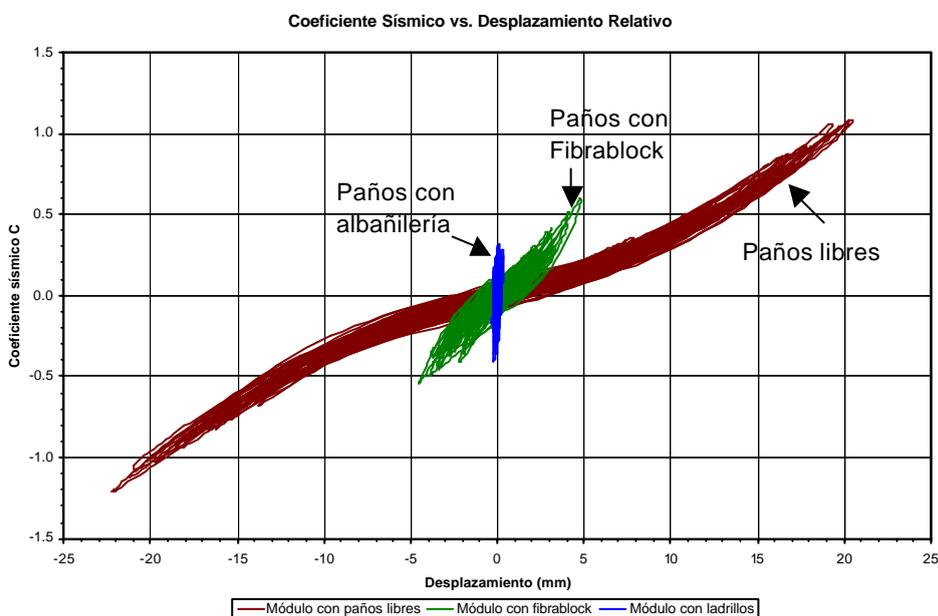
**5. 2. Ensayo de Vibración Libre** Los resultados de los ensayos de vibración libres encontrados en los módulos de Paños Libres, con Fibrablock y con Albañilería fueron los siguientes:

Módulo	Período (seg.)	Amortiguamiento (%)
Paños Libres	0.320	5
Con Fibrablock	0.150	14
Con Ladrillos (Fase 1)	0.040	-

**5.3. Ensayo Dinámico.** Los ensayos dinámicos (realizados en la mesa vibradora, aplicando el sismo del 31 de mayo de 1970 escalado a 0.3g, correspondiente a un sismo severo) efectuados en los módulos de Paños Libres, con Fibrablock y con Albañilería presentaron las siguientes fuerzas cortantes máximas y las siguientes rigideces laterales:

Módulo	Fuerza Cortante Máxima V (ton)	Rigidez lateral (ton/m)
Paños Libres	5.20	244
Con Fibrablock	2.88	588
Con Ladrillo (Fase 1)	2.30	10,000

Debido a que el peso (P) de las estructuras se altera con la colocación de los tabiques, para comparar el comportamiento histerético de los tres módulos se preparó la gráfica Coeficiente Sísmico (C= V/P) vs. Desplazamiento Relativo. A continuación se muestra dicha gráfica (fig. 7):



**Fig. 7. Gráfica para el cálculo del coeficiente sísmico C**

De la fig.7, se determinaron los valores máximos del coeficiente sísmico. Puede notarse cómo los tabiques disminuyen drásticamente el coeficiente sísmico conforme estos se hacen más rígidos.

<b>Módulo</b>	<b>Coefficiente Sísmico Máximo</b>
Paños Libres	1.210
Con Fibrablock	0.596
Con Albañilería	0.409

En la siguiente tabla se indica los desplazamientos máximos alcanzados en cada caso.

<b>Módulo</b>	<b>Desplazamiento relativo máximo (mm)</b>	<b>Porcentaje de desplazamiento respecto al de Paños Libres</b>
Paños Libres	22.2	100
Con Fibrablock	4.8	21.6
Con Albañilería	0.3	1.4

Podemos observar una gran reducción del desplazamiento relativo máximo conforme los tabiques incrementaron su rigidez. La colocación del fibrablock y de la albañilería hicieron que el módulo se desplace un 22% y 1% respecto al desplazamiento del Módulo con Paños Libres, respectivamente.

## **6.- CONCLUSIONES**

**6.1. Técnicas de Modelaje.** Para sismos severos (ensayo dinámico) se observó que el reemplazar el tabique de fibrablock por un puntal diagonal de ancho  $w = D/8$  dio como resultado una rigidez lateral teórica ( $K = 574$  ton/m) muy cercana a la rigidez lateral experimental ( $K = 588$  ton/m), con una diferencia del 2.4%. Pero ante cargas pequeñas (ensayo estático), se encontró una rigidez lateral experimental mayor ( $K = 830$  ton/m). Esto nos indica que, a pesar de que los esfuerzos aplicados en el fibrablock están por debajo de los esfuerzos admisibles, el fibrablock pierde rigidez lateral al despegarse de la viga durante el movimiento sísmico severo.

El modelaje del pórtico con tabiques de albañilería empleando un puntal con ancho efectivo  $D/4$ , también representó de manera muy acertada el comportamiento del módulo frente a los ensayos dinámicos aplicados (15% de diferencia) pero no frente al ensayo estático (67% de diferencia) ya que pudimos observar que para los desplazamientos pequeños aplicados en este ensayo, el tabique de albañilería se comportó no como un puntal diagonal sino como un muro adherido al pórtico y actuando en voladizo.

De esta manera se concluye que la técnica de modelaje, cuando existe el problema de interacción tabique – estructura, sea el tabique de albañilería o de fibrablock, depende de la intensidad del movimiento sísmico, según se muestra en el siguiente cuadro resumen.

<b>Sismo</b>	<b>Tabique</b>	<b>Modelaje</b>	<b>Rigidez K Teórica (ton/m)</b>	<b>Rigidez K Experimental (ton/m)</b>	<b>Diferencia (%)</b>
<b>Leve (ensayo estático)</b>	Fibrablock	Puntal ( $w = D/4$ )	973	839	17%
	Albañilería	Voladizo (sección transformada)	32,643	35,000	7%
<b>Severo (ensayo dinámico)</b>	Fibrablock	Puntal ( $w = D/8$ )	574	588	2%
	Albañilería	Puntal ( $w = D/4$ )	11,549	10,000	15%

**6.2. Influencia de los Tabiques en la Fuerza Cortante Basal.** Los resultados de los ensayos nos han demostrado que los tabiques ocasionan un cambio en los coeficientes sísmicos. En el caso particular del módulo tridimensional aporticado la fuerza cortante disminuyó significativamente conforme se incrementaba la rigidez del tabique. Esto se debió a que para la señal sísmica aplicada la fuerza cortante se amplifica para períodos cercanos a 0.30 seg, el cual fue muy similar al período del Módulo con Paños Libres (condición de resonancia). Podemos concluir entonces que los tabiques modifican el período de la estructura y también la fuerza cortante basal. La amplificación o reducción de la fuerza cortante basal depende del período que resulte al colocar los tabiques y de cómo la señal del sismo amplifique o disminuya dicha fuerza para tal período.

Los tabiques de alta rigidez lateral, como es el caso de los tabiques de albañilería, modifican el período de manera más drástica que los tabiques de baja rigidez, como es el caso de los tabiques de fibrablock. Se pudo notar que el período del módulo de Paños Libres ( $T = 0.32$  seg.) bajó 53% con la colocación de los tabiques de fibrablock ( $T = 0.15$  seg.) y 87.5% con la colocación de tabiques de ladrillo ( $T = 0.04$  seg.).

**6.3. Influencia de los Tabiques en el Desplazamiento Relativo.** En el módulo tridimensional aporticado se pudo observar que los tabiques modificaron considerablemente los desplazamientos relativos máximos. La presencia de tabiques de fibrablock disminuyó el desplazamiento relativo en un 78.4% y el tabique de albañilería lo hizo en un 98.6% respecto al caso de paños libres. Estas grandes disminuciones se deben también a la pequeña rigidez lateral (degradada) de los pórticos de concreto armado del espécimen reparado. Sin embargo, estas disminuciones no serán tan altas en una edificación nueva real ya que se espera que la rigidez del pórtico sea mayor.

## **7.- REFERENCIAS**

- 1.- Análisis de Edificios**, Angel San Bartolomé, Fondo Editorial PUCP 1998.
- 2.- Construcciones de Albañilería**, Angel San Bartolomé, Fondo Editorial PUCP, 1998
- 3.- Ensayo sísmico de un espécimen tridimensional de concreto armado de 2 pisos**, Angel San Bartolomé, Luis Zegarra, Wilson Silva, X Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Lima 1994.

