

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

COMPORTAMIENTO SÍSMICO FUERA DEL PLANO DE
TABIQUES HECHOS CON PLACA P-7

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

Diana Carolina Sulca Soto

ASESOR: Ing. Ángel San Bartolomé

Lima, Febrero de 2014

RESUMEN

Actualmente, en la construcción de los edificios de vivienda en Lima se utiliza en gran cantidad tabiquería construida con la placa P-7, el cual es un bloque sílico calcáreo de 7cm de espesor, 50cm de longitud y 25cm de altura. Estos bloques se asientan usando mortero y sus alveolos se rellenan con grout, para de este modo formar el tabique, cuyo refuerzo vertical y horizontal (varillas de 6 mm de diámetro) es especificado por el fabricante de la Placa P-7 (sistema no reglamentado).

En adición, el refuerzo vertical consta de dos partes. Cada pórtico se ancla químicamente en perforaciones hechas en las vigas y se rellenan con epóxico y se traslapan las partes en la zona central del tabique. Por otro lado, en obra se usan dos tipos de aparejo: traslapado en medio bloque entre hiladas (amarre de sogá tradicional) y aparejo con juntas verticales continuas (pilares).

Este sistema aún no ha sido sometido a terremotos severos, por lo que no se tiene conocimiento de su comportamiento ante sollicitaciones sísmicas perpendiculares a su plano. De esta manera, el presente trabajo tiene como objetivo principal analizar experimentalmente el comportamiento sísmico perpendicular al plano de un tabique de placa P-7 asentadas en aparejo en sogá y en pilares, así como también estudiar la efectividad del anclaje químico y el traslape de las barras verticales.

Para desarrollar esta investigación se utilizó un pórtico de concreto armado en el que se construyeron en simultáneo dos tabiques de placa P-7, ambos con las mismas dimensiones, pero con diferentes tipos de aparejo propuestos.

Con el propósito de conocer el comportamiento sísmico, el espécimen se ensayó en la mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras (LEDI), ante sismos de diferente intensidad, los resultados obtenidos se procesaron mostrándose en forma gráfica para cada una de las fases de ensayo. Puesto que ambos subsistieron a todas las fases del ensayo sísmico, para determinar su forma de falla, estos fueron sometidos a un ensayo estático, consistente en una prueba de carga vertical perpendicular a su plano, girando al conjunto 90° en su plano.

Entre las principales conclusiones de ambos ensayos se tiene:

- El anclaje químico en los extremos de las barras verticales funcionó adecuadamente, la falla se concentró en la zona de traslape (región central del tabique).
- Al haberse empleado distinta cuantía de refuerzo vertical, no se pudo establecer qué tipo de aparejo era mejor.
- Ante sismos severos, la región central de ambos tabiques tuvieron grandes desplazamientos laterales, por lo que para evitar el pánico de los habitantes y evitar daño de los conductos internos alojados en el tabique, se sugiere fijar una deriva máxima de 0.01 para la zona central.



*A Dios, a mis padres, Pilar y Román,
Con todo mi amor,
A mi hermana, Diana Catherine,
Por ser un gran ejemplo.
Diana Carolina*

INDICE

CAPÍTULO 1:	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Objetivos.....	2
1.2.	Metodología General.....	3
1.3.	Antecedentes.....	4
1.4.	Revisión Bibliográfica.....	6
CAPÍTULO 2:	CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPÉCIMENENES.....	9
2.1.	Características Geométricas.....	9
2.2.	Peso de la Estructura.....	12
2.3.	Predicción del comportamiento sísmico de los tabiques.....	12
CAPÍTULO 3:	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	19
3.1.	Placa P-7.....	19
3.2.	Acero de refuerzo.....	20
3.3.	Pegamento epóxico Sikadur 31.....	21
3.4.	Mortero.....	22
3.5.	Concreto (grout).....	23
CAPÍTULO 4:	CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS TABIQUES P-7.....	25
4.1.	Mano de obra.....	25
4.2.	Herramientas.....	25
4.3.	Proceso constructivo de los tabiques.....	26
4.4.	Análisis de Costos	35

CAPÍTULO 5:	ENSAYO DE SIMULACIÓN SISMICA.....	38
5.1	Descripción del Ensayo.....	38
5.2	Arriostramiento del Pórtico.....	39
5.3	Instrumentación.....	40
5.4	Comportamiento cualitativo de los tabiques.....	42
CAPÍTULO 6:	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
6.1	Determinación del período y amortiguamiento.....	45
6.2	Cálculo de la carga perpendicular al plano.....	47
6.3	Gráficas w-d.....	51
CAPÍTULO 7:	ENSAYO ESTÁTICO.....	54
7.1.	Resultados del Ensayo.....	54
7.2.	Forma de Falla.....	57
CAPÍTULO 8:	CONCLUSIONES.....	59
CAPÍTULO 9:	BIBLIOGRAFIA.....	61

1. INTRODUCCIÓN

En los edificios aporricados limeños, se utiliza en gran cantidad tabiquería construida con las placas P-7, conformadas por bloques sílico-calcáreo de 7cm de espesor. Estas placas se construyen ya sea en aparejo de sogá con traslape de media unidad y otras veces con juntas verticales continuas (Fig.1.1).

El refuerzo del tabique lo especifica el fabricante de las placas P-7 (no está reglamentado) y consiste en varillas verticales de 6mm espaciadas cada 50cm, ancladas en sus extremos con resina epóxica en perforaciones hechas en las vigas superior e inferior.

El sistema descrito aún no ha sido sometido a terremotos, por lo que se desconoce su comportamiento sísmico, el cual se verá en esta tesis trabajando con sismos simulados en mesa vibradora.



Fig.1.1 Tabique P-7 asentado en forma de pilares (izq.) y en forma traslapada (der.).

1.1. OBJETIVOS

Los objetivos principales del presente proyecto son los siguientes:

- Verificar el comportamiento sísmico de este sistema de tabiques ya que actualmente se vienen usando en la mayoría de las construcciones limeñas.
- Analizar el comportamiento de un tabique de placa P-7 asentado en forma de pilares para una simulación sísmica perpendicular a su plano.
- Analizar el comportamiento de un muro de placa P-7 asentado en hileras traslapadas en media unidad (aparejo tradicional) para una simulación sísmica perpendicular a su plano.

Los objetivos secundarios del presente proyecto son los siguientes:

- Comprobar experimentalmente la efectividad del anclaje químico con epóxico utilizado en la construcción de la placa P-7 ante solicitaciones sísmicas perpendiculares a su plano (antes se usaba perno expansivo al cual se soldaba el refuerzo vertical).
- En base a los resultados de comportamiento a carga perpendicular sísmica, analizar cuál de los 2 tipos de muro ensayado de placa P-7 es más eficiente, constructivamente y económicamente.

1.2. METODOLOGÍA GENERAL

1. Se construirán dos tabiques (M1 y M2, Fig.1.2) similares a escala natural, de tal modo que reflejen las dos técnicas de asentado (M1: traslapada entre hiladas consecutivas, y, M2: sin traslaparlas, es decir, en pilares o con juntas verticales continuas).
2. Posteriormente, se someterán en simultáneo a los 2 especímenes a la acción de sismos leves, moderados y severos, perpendiculares al plano del tabique (Fig.1.2), que serán ensayados en la mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras de la PUCP. La instrumentación (1 LVDT y 4 acelerómetros para cada tabique) será similar para ambos especímenes y permitirá cuantificar la carga sísmica actuante.
3. En caso los especímenes no se dañen en el ensayo sísmico, se hará una prueba estática girando 90° al conjunto y aplicándole carga vertical.
4. Se procesará la información y se emitirá un informe, así como un borrador de artículo, mostrando en forma gráfica los resultados experimentales.



Fig.1.2 Dirección del sismo en los especímenes.

Los procesos seguidos para los ensayos se señalan a continuación:

- Construcción de los dos tabiques con Placa P-7 en pórtico existente.
- Selección de los sismos a utilizar (leve, moderado y severo).
- Ensayo de vibración libre, 4 fases.
- Ensayo Sísmico en la mesa vibradora, 3 fases.

Equipos utilizados para cada uno de los ensayos:

- Simulador Sísmico
- Dispositivo de arriostamiento del pórtico en base a perfiles metálicos.
- Marco de referencia para protección y medición (mecanos).
- Instrumentación de medición: Acelerómetros y LVDT

1.3. ANTECEDENTES

En el Perú existen numerosos edificios de concreto armado cuyos tabiques no portantes de albañilería son de placa P-7 (Fig.1.3), estas unidades se utilizan para construir muros divisorios de ambientes y están fijadas a la estructura mediante varillas que se introducen en perforaciones hechas en las vigas rellenas con epóxico, lo cual permite que los tabiques se integren a la estructura. En adición, estos tabiques se construyen asentando los bloques P-7 en forma traslapada entre hiladas consecutivas o sin traslaparlos (pilares).

La principal ventaja, de los muros construidos con la placa P-7, es la facilidad de poder ser empastados directamente, sin la necesidad de un tarrajeo previo. Solo es necesario solaquear el muro. De esta ventaja se desprenden la mayoría de sus beneficios, tales como: menor costo directo, mayor rapidez, eliminación de tarrajeos, menor peso, menor cantidad de actividades, menor cantidad de personal, una obra más limpia y seca, menor eliminación de material y menor acarreo en obra, asegurando menores costos indirectos.

Puesto que el uso de este tipo de tabiquería es reciente y nunca han estado sometidas a sismos severos, es necesario comprobar experimentalmente la efectividad de este sistema de anclaje y tipo de aparejo ante cargas sísmicas perpendiculares a su plano. Cabe señalar que el sismo de Pisco del 2007 se sintió levemente en Lima (aceleración 0.07g en suelo duro, Ref.1.4), pero, al tratarse de un sismo con epicentro lejano, produjo daños en la tabiquería de los edificios altos. En el caso de la tabiquería P-7, se formaron grietas verticales en la unión entre pilares (Fig.1.4), pero ello ocurrió en una época donde se apilaban en seco.



Fig.1.3. Placa P-7 en edificios de vivienda (actualidad)



Fig.1.4. Sismo de Pisco del 2007 (Ref.1.4), grietas verticales en pilares de placa P-7.

1.4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Comportamiento Sísmico de la Placa P-7 - Ensayo Sísmico Ortogonal al Plano (Ref. 1.1)

Hermoza Acosta, Gustavo

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

Copia disponible en Hemeroteca FACI. Lima 2006

El objetivo general de la investigación fue, analizar el comportamiento ante acciones sísmicas simuladas perpendiculares al plano de un tabique hecho con la placa P-7, cuyo refuerzo vertical fue soldado a pernos expansivos anclados en las vigas. Se utilizaron sismos leves, moderados y severos. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios. Adicionalmente, hubo que aplicar cargas estáticas para determinar la capacidad resistente del tabique en la dirección ortogonal a su plano.

Comportamiento sísmico de la placa P-7: Ensayo cíclico (Ref. 1.2)

Novoa Gordon, Giovanna

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

Copia disponible en Hemeroteca FACI. Lima 2006

En esta investigación, se sometió a ensayos de simulación sísmica un pórtico de concreto armado cuyo paño fue relleno con un tabique P-7. El refuerzo vertical del tabique fue soldado a pernos expansivos anclados en las vigas. Este sistema fue sujeto a la acción de cargas laterales cíclicas coplanares al tabique, hasta alcanzar la máxima deriva inelástica permitida por la norma sísmica E.030. Este ensayo permitió determinar además la influencia del tabique en la rigidez del pórtico.

Comportamiento sísmico de alféizares construidos con la Placa P-10 a cargas perpendiculares a su plano (Ref.1.3)

Icochea, Alonso y Fernández, Alejandro

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

Copia disponible en Hemeroteca FACI. Lima 2013

En este proyecto se ensayaron en simultáneo a carga sísmica a 4 alféizares hechos con la Placa P-10 (10cm de espesor), de 1.53m de largo por 0.9m de alto, con varillas de 8mm @ 50cm, ancladas químicamente a un anillo de concreto armado. Puesto que los 4 muretes soportaron elásticamente las 3 fases del ensayo sísmico, hubo que ensayarlos estáticamente hasta que falló el anclaje. Además, se hicieron ensayos de tracción directa en barras embutidas en perforaciones llenas de epóxico, observándose que fallaban por anclaje para una carga mayor a la de fluencia de las barras.

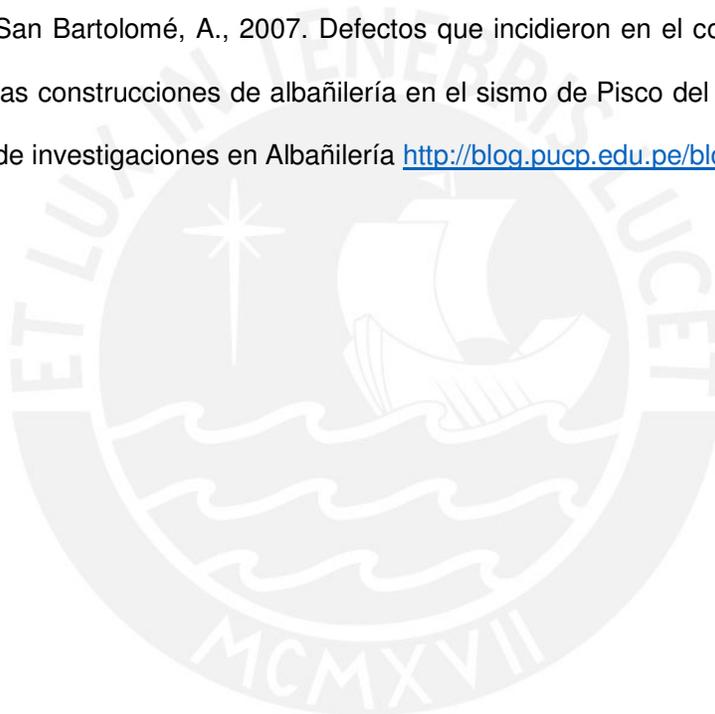
Resumen de la Recopilación Bibliográfica

En los trabajos experimentales de Hermoza y Novoa, hechos para el tabique P-7, no se aplicó el empaste de yeso, por lo que se desconoce si un sismo leve o moderado podría causar fisuras en el tabique, cosa que ocurrió en Lima en el terremoto de Pisco del 2007 (Fig.1.4). De esta manera, en el presente trabajo, una de las caras de los dos especímenes tendrá como recubrimiento un imprimante.

Cabe indicar que en la época en que se efectuaron los trabajos mencionados, el fabricante del sistema P-7 recomendaba conectar la varilla vertical continua soldándolo a un perno expansivo anclado en las vigas del pórtico, mientras que en la actualidad se usa un anclaje químico y el refuerzo vertical se traslapa en la zona central del tabique.

REFERENCIAS

- 1.1 Hermoza, G. Comportamiento Sísmico de la Placa P-7 -Ensayo Sísmico Ortogonal al Plano-. Tesis PUCP, 2006.
- 1.2 Novoa, G. Comportamiento sísmico de la placa P-7: Ensayo cíclico. Tesis PUCP, 2006.
- 1.3 Icochea, A. y Fernández, A. Comportamiento sísmico de alféizares contruidos con la Placa P-10 a cargas perpendiculares a su plano. Tesis PUCP, 2013
- 1.4 San Bartolomé, A., 2007. Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de albañilería en el sismo de Pisco del 15-08-2007. Blog de investigaciones en Albañilería <http://blog.pucp.edu.pe/blog/albanileria>



2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES

2.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Se empleó un pórtico de concreto (Figs. 2.1 y 2.2) con resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y acero de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, compuesto por dos columnas de $0.25 \times 0.25 \times 2.40 \text{ m}$ y una viga de $0.25 \times 0.25 \times 4.20 \text{ m}$. La viga de cimentación fue de $0.30 \times 0.30 \times 4.50 \text{ m}$. Todos los elementos fueron reforzados con $4 \text{ } \phi \frac{1}{2}''$ y estribos de $\frac{3}{8}''$, 1 a 5cm, 4 a 10cm y resto a 20cm.

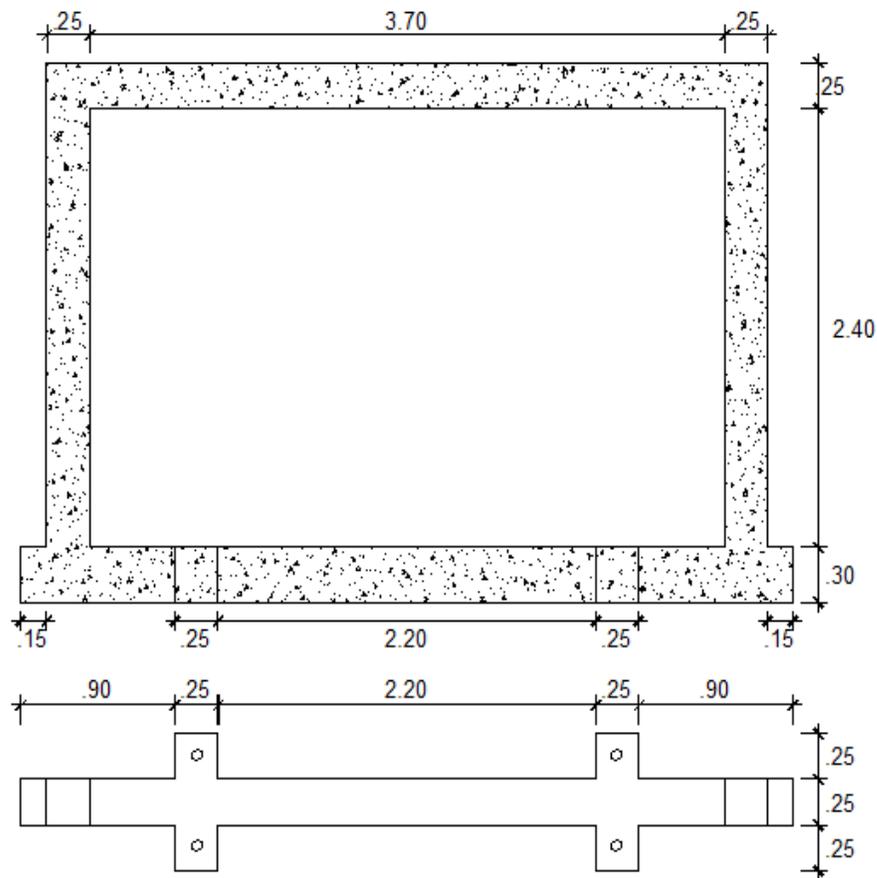


Fig.2.1. Dimensiones de Pórtico de Concreto Armado

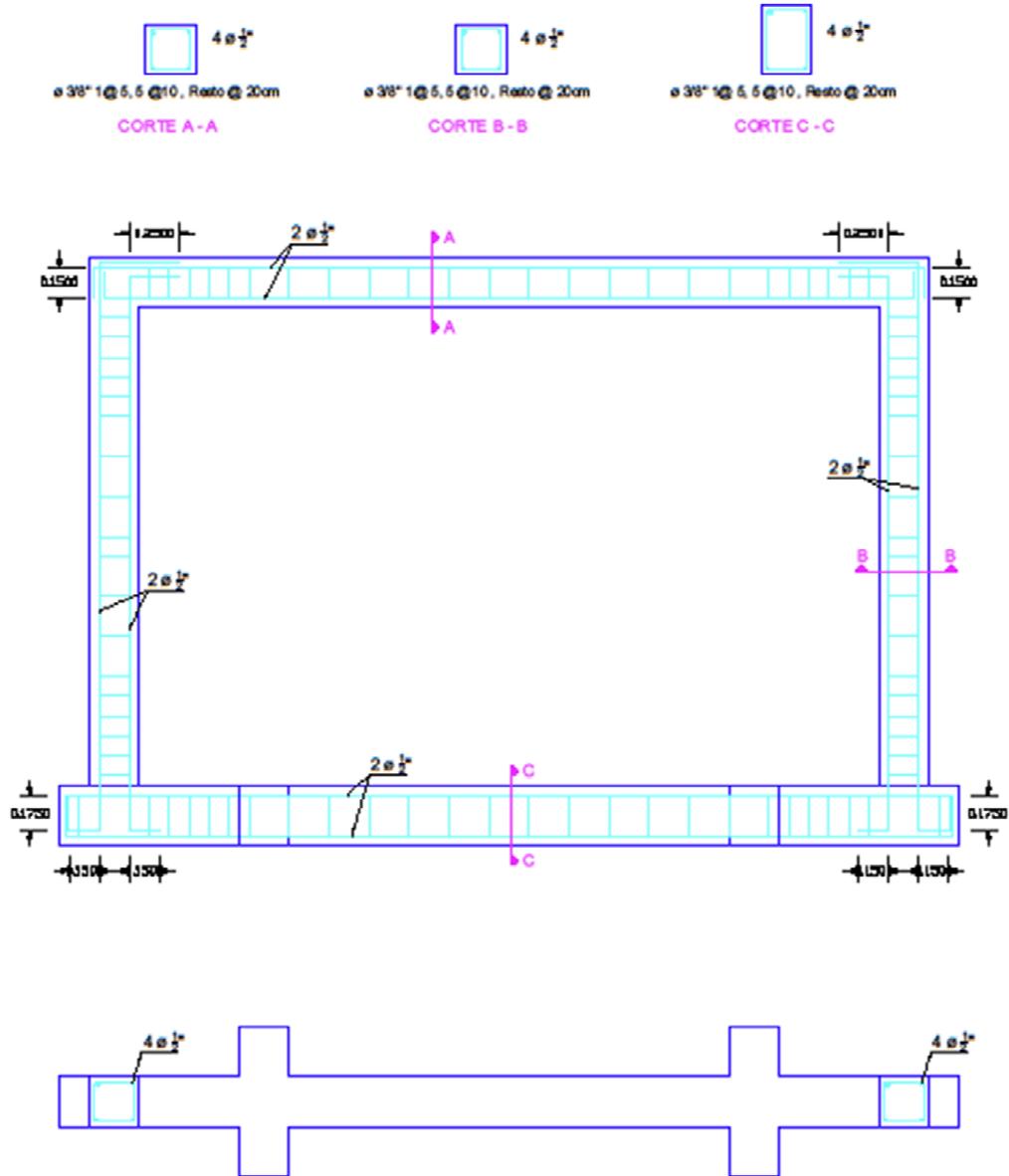


Fig.2.2. Armadura del Pórtico

Posteriormente, se construyeron dos tabiques de albañilería armada a escala natural y con iguales dimensiones, hechos con la placa P-7. Los tabiques (M1 y M2 en la Fig.2.3) fueron de 1.25 x 2.40 x 0.07 m.

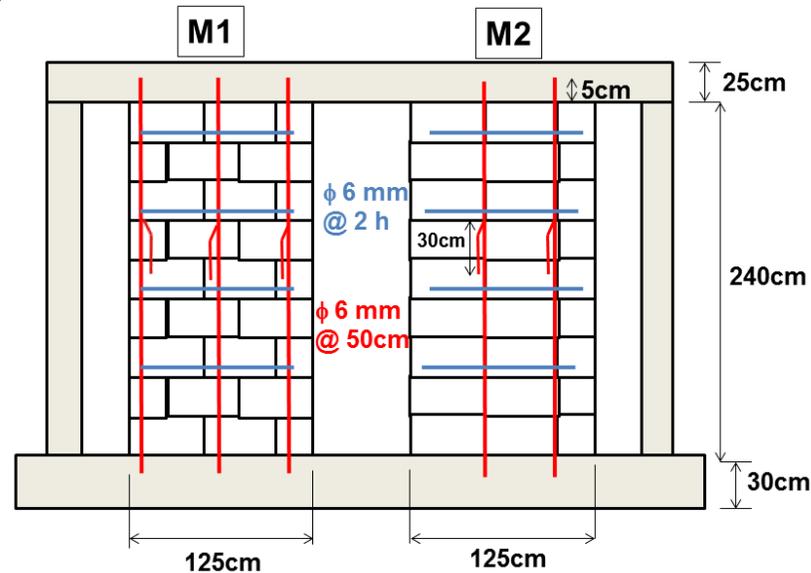


Fig.2.3 Configuración y refuerzo de los Tabiques P-7

En el caso M1 la albañilería fue construida traslapando los bloques de hiladas consecutivas en media unidad (traslapes tradicionales), en el caso M2 se usó un aparejo de pilares (juntas verticales continuas). En ambos casos el espesor del muro fue 7cm. Las juntas horizontales tuvieron un espesor de 1.5cm, aceptándose una variación de ± 3 mm. El espesor de la junta vertical fue de 1 cm.

En el caso de M1 se usaron 3 varillas verticales de acero de 6mm, mientras que en M2 se utilizaron 2 varillas verticales de acero de 6mm (Fig.2.4). En ambos casos, las varillas verticales fueron ancladas químicamente en las vigas del pórtico, traslapadas 30cm a la mitad de la altura, y se usaron varillas horizontales sin anclaje en los extremos, a razón de 1 ϕ 6mm @ 2 hiladas (total 4 varillas). Cabe señalar que el refuerzo vertical en M2 va colocado en la unión entre pilares (cada 50cm), mientras que en M1 se aloja en los alveolos internos de la placa P-7.



Fig.2.4 Pórtico (derecha) y refuerzo en M2 (izquierda).

2.2. PESO DE LA ESTRUCTURA

Para determinar el peso de los tabiques, se utilizó un peso volumétrico para la albañilería armada rellena con grout, igual a $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$.

Con ello, el peso de cada tabique resulta:

$$P = \gamma L h t = 2000 \times 1.25 \times 2.40 \times 0.07 = 420 \text{ kg.}$$

2.3 PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LOS TABIQUES

En base al refuerzo vertical utilizado, a continuación se tratará de predecir el comportamiento sísmico de los tabiques. Cabe señalar que por la forma como está apoyado el tabique, el refuerzo horizontal no trabaja, excepto por efectos de temperatura y contracción de fraguado del grout, aunque también sirve para proporcionar integridad a las placas P-7, uniformizando su movimiento.

Adicionalmente, ante cargas sísmicas perpendiculares al plano, el muro se comporta como un elemento biempotrado (Fig.2.5), donde el máximo momento flector ($wh^2/12$) se desarrolla en los extremos (zona donde ancla el refuerzo vertical), por lo que allí se desarrollarían las primeras grietas por flexión y las primeras rótulas plásticas. Una vez formadas esas rótulas, el muro se comportaría

como una barra simplemente apoyada en los extremos y un momento flector en su zona central (zona de traslape de las barras verticales) igual a $w h^2/8$. De llegarse a formar una rótula en la zona central, el muro colapsaría quebrándose.

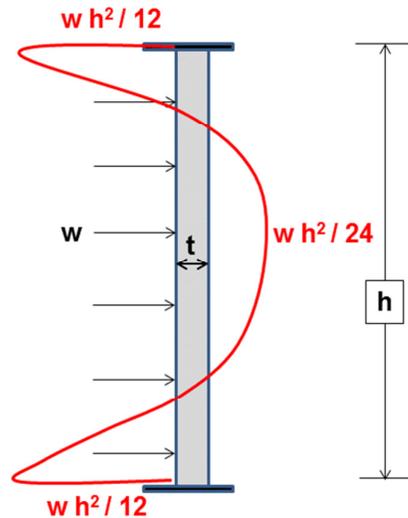


Fig.2.5 Comportamiento sísmico como barra biempotrada

2.3.1 Parámetros y nomenclatura a emplear en el análisis

A continuación se indican los parámetros usados en el análisis estructural:

$L = 125 \text{ cm}$ = longitud del muro

$h = 240 \text{ cm}$ = altura del muro

$t = 7 \text{ cm}$ = espesor del muro

$A = \text{área de la sección transversal} = t L = 875 \text{ cm}^2$

$I = \text{momento de inercia en la dirección más débil} = L t^3 / 12 = 3573 \text{ cm}^4$

$y = \text{distancia desde el eje hasta la fibra extrema en tracción} = \frac{1}{2} t = 3.5 \text{ cm}$

$A_s = \text{área de una varilla de 6mm de diámetro} = 0.28 \text{ cm}^2$

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = \text{esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo}$

$f'_m = 110 \text{ kg/cm}^2 = \text{resistencia característica a compresión de la albañilería P-7}$

$\gamma = \text{Peso volumétrico de la albañilería} (\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3)$

2.3.2 Carga sísmica de diseño

Según la norma de diseño en albañilería E.070 (Ref.2.1) la carga elástica reglamentaria (la carga última se obtiene amplificándola por 1.25) viene dada por la siguiente expresión:

$$w = 0.8 Z U C1 \gamma t \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Dónde:

Z = factor de zona sísmica (Zona 3, Costa $\rightarrow Z = 0.4$)

U = factor de uso o importancia (U = 1, para viviendas)

C1 = coeficiente sísmico (tabique externo que se puede precipitar $\rightarrow C1=1.3$)

Con lo cual: $w = 0.8 \times 0.4 \times 1 \times 1.3 \times 2000 \times 0.07 = 58 \text{ kg/m}^2$ y en condiciones últimas:
 $w_u = 1.25 \times 58 = 73 \text{ kg/m}^2$.

2.3.3 Carga sísmica asociada a la resistencia admisible de la albañilería

De acuerdo a la Norma E.070 (Ref.2.1), el esfuerzo admisible de tracción por flexión para la albañilería rellena de grout es $f't = 3 \text{ kg/cm}^2$, este esfuerzo se alcanzaría cuando el momento flector en el extremo del muro ($M = w L h^2 / 12$, Fig.2.5) desarrolle un esfuerzo normal (σ) de igual magnitud:

$$\sigma = M y / I = w L h^2 y / (12 I) = w \times 125 \times 240^2 \times 3.5 / (12 \times 3573) = 587.75 \text{ w} = f't = 3$$

$$\text{Con lo cual: } w = 0.0051 \text{ kg/cm}^2 = 51 \text{ kg/m}^2$$

Esta carga es menor que la carga de diseño reglamentaria (58 kg/m^2), por tanto el tabique requiere de refuerzo vertical.

2.3.4 Momentos flectores resistentes (MR)

La condición para la cual se trabajó es la de fluencia del refuerzo vertical. Como el refuerzo podría incurrir en la zona de endurecimiento, la resistencia a flexión podría

incrementarse. También debemos remarcar que M1 fue reforzado con 3 varillas de 6mm, mientras que M2 presenta sólo 2 varillas de 6mm (Fig.2.3), por tanto, las resistencias a flexión serán distintas para M1 y M2.

Para obtener el momento MR, se hizo uso del diagrama de cuerpo libre mostrado en la Fig.2.6 y de las ecuaciones de equilibrio.

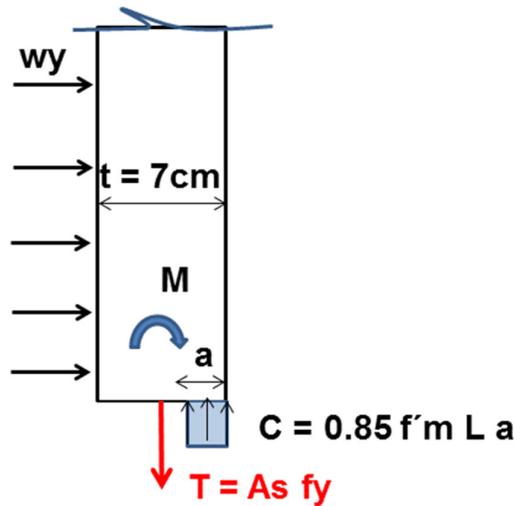


Fig.2.6 Diagrama de cuerpo libre en una sección del muro

Tabique M1

$$A_s = 3 \times 0.28 = 0.84 \text{ cm}^2 \text{ (3 varillas de 6mm)}$$

Por equilibrio de fuerzas verticales:

$$T = A_s f_y = 0.84 \times 4200 = C = 0.85 f' m L a = 0.85 \times 110 \times 125 a \rightarrow a = 0.3 \text{ cm}$$

$$MR (M1) = A_s f_y (t - a) / 2 = 0.84 \times 4200 (7 - 0.3) / 2 = 11820 \text{ kg-cm} = 118 \text{ kg-m}$$

Tabique M2

$$A_s = 2 \times 0.28 = 0.56 \text{ cm}^2 \text{ (2 varillas de 6mm)}$$

Por equilibrio de fuerzas verticales:

$$T = A_s f_y = 0.56 \times 4200 = C = 0.85 f' m L a = 0.85 \times 110 \times 125 a \rightarrow a = 0.2 \text{ cm}$$

$$MR (M1) = A_s f_y (t - a) / 2 = 0.56 \times 4200 (7 - 0.2) / 2 = 8000 \text{ kg-cm} = 80 \text{ kg-m}$$

2.3.5 Carga asociada a la primera rótula en los extremos (wy)

Puesto que en los extremos se desarrolla el mayor momento flector (Fig.2.3), allí debería rotularse el tabique, para una carga “wy” que puede determinarse como:

$$wy L h^2 / 12 = MR \rightarrow wy = 12 MR / L h^2$$

Con lo cual:

$$wy (M1) = 12 \times 118 / (1.25 \times 2.4^2) = 197 \text{ kg/m}^2 \text{ (para el tabique M1)}$$

$$wy (M2) = 12 \times 80 / (1.25 \times 2.4^2) = 133 \text{ kg/m}^2 \text{ (para el tabique M2)}$$

Estas cargas superan al valor último de diseño ($w_u = 73 \text{ kg/m}^2$, ver el acápite 2.3.2), por lo que existe exceso de refuerzo vertical en los 2 tabiques.

En el centro del muro el momento flector para las cargas citadas es:

$$M(M1) = w L h^2 / 24 = 197 \times 1.25 \times 2.4^2 / 24 = 59 \text{ kg-m} < MR(M1) = 118 \text{ kg-m}$$

$$M(M2) = w L h^2 / 24 = 133 \times 1.25 \times 2.4^2 / 24 = 40 \text{ kg-m} < MR(M2) = 80 \text{ kg-m}$$

Por tanto, para las cargas citadas no se formaría rótula al centro, para ello se requiere que los momentos flectores se incrementen en:

$$\Delta M(M1) = 118 - 59 = 59 \text{ kg-m}$$

$$\Delta M(M2) = 80 - 40 = 40 \text{ kg-m}$$

2.3.6 Carga de colapso (wc)

Después que se forman las rótulas en los 2 extremos, el tabique empieza a comportarse como una barra bi-articulada (Fig.2.7), donde el incremento de carga Δw genera un momento en el centro del muro igual a $\Delta w L h^2 / 8$.

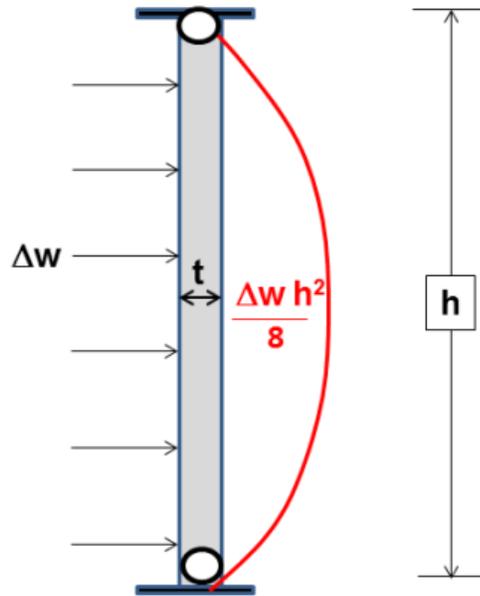


Fig.2.7 Formación de rótulas en extremos e incremento de carga.

Cuando este incremento de momento se iguale a los incrementos de momentos citados en 2.3.5, se formará la rótula al centro, para un incremento de carga que se puede calcular como:

$$\Delta w L h^2 / 8 = \Delta M \rightarrow \Delta w = 8 \Delta M / L h^2$$

Con lo cual:

$$\Delta w (M1) = 8 \times 59 / (1.25 \times 2.4^2) = 66 \text{ kg/m}^2 \text{ (para el tabique M1)}$$

$$\Delta w (M2) = 8 \times 40 / (1.25 \times 2.4^2) = 44 \text{ kg/m}^2 \text{ (para el tabique M2)}$$

En consecuencia, la carga de colapso (w_c) está dada por la carga que produce la rótula en los extremos (acápite 2.3.5) más el incremento de carga (Δw) necesario para que se rotule la parte central del muro:

$$w_c (M1) = 197 + 66 = 263 \text{ kg/m}^2 \text{ (para el tabique M1)}$$

$$w_c (M2) = 133 + 44 = 177 \text{ kg/m}^2 \text{ (para el tabique M2)}$$

Dado el mayor refuerzo vertical empleado en M1, se espera un mejor comportamiento sísmico de M1 sobre M2.

REFERENCIAS

- 2.1 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO. Norma Técnica de Edificaciones E.070 “Albañilería”. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, 2006.



3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se hace una breve descripción de los materiales utilizados en este proyecto para construir los dos tabiques de albañilería armada, indicándose que el pórtico de concreto armado fue cedido por el Laboratorio de Estructuras.

3.1 PLACA P-7

Son bloques sillicos calcáreos que se usan bajo el sistema de Albañilería Armada para Muros No Portantes en Edificaciones. Cada placa P-7 (Fig.3.1) tiene por dimensiones: 50cm de largo, 25cm de alto y un espesor de 7cm. Estos bloques presentan 4 alveolos de 3.5x5 cm (ovalado), 2 hendiduras semicirculares en sus extremos de 3.5cm de diámetro y su peso es de 14.5 kg. Tanto en los alveolos centrales como en las hendiduras extremas puede alojarse el refuerzo vertical.



Fig.3.1. Placa P-7

En la Tabla 3.1 se presenta las especificaciones técnicas para la Placa P-7 proporcionadas por el fabricante (Ref.3.1).

Tabla 3.1: Especificaciones Técnicas de la Placa P- 7

Succión	10-30 gr / (200 cm ² - min)
Densidad neta	1.9 ton/m ³
Absorción en 24 horas de inmersión	10 -14%
Resistencia característica a compresión	f'b = 140 kg/cm ²

Según la Norma E.070 (Ref.3.3), por la baja succión que presenta la placa, no deben tratarse antes del asentado, sino tan solo limpiarlas de las partículas sueltas. Asimismo, su absorción está por debajo de 22%, por lo que se trata de un elemento poco poroso y resistente a la intemperie. Por otro lado, la densidad indicada no contempla el refuerzo interno que tienen los muros, por lo que se recomienda trabajar con un peso volumétrico de 2000 kg/m³.

3.2 ACERO DE REFUERZO

El refuerzo para los tabiques P-7 y su técnica constructiva se encuentran especificados en un manual elaborado por el fabricante (Ref.3.2), ya que se trata de un sistema no tradicional, donde el fabricante se responsabiliza sobre el comportamiento que tenga su sistema, siempre y cuando se haya seguido su manual de construcción.

En la construcción de los tabiques se utilizaron varillas de acero corrugado de 6mm de diámetro como refuerzo vertical y horizontal (Fig.3.2). Estas varillas son utilizadas comúnmente en la construcción, son de Grado 60 (ASTM A615) y presentan las siguientes propiedades, además de las indicadas en la tabla 3.2.

- Límite de fluencia (f_y) = 4280 kg/cm² mínimo
- Resistencia a la tracción = 6320 kg/cm² mínimo

Tabla 3.2: Especificaciones Técnicas Varilla de Ø 6 mm

Diámetro de la barra	Área nominal (mm ²)	Peso Nominal (kg/m)	Peso Mínimo (kg/m)
6mm	28	0.222	0.207



Fig.3.2. Varillas de Ø 6 mm en el espécimen M2.

3.3 PEGAMENTO EPÓXICO Sikadur 31

Este pegamento (Ref.3.4) fue utilizado para anclar químicamente al refuerzo vertical de los 2 tabiques en las vigas (superior e inferior) del pórtico de concreto armado. Es un material tixotrópico de dos componentes (Fig.3.3) a base de resinas epóxicas y cargas inactivas, exento de solventes. Sikadur® 31 HI-MOD-GEL cumple con la

Norma ASTM-C-881: Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding System for Concrete, según indica el fabricante.

Tiene buena adherencia incluso en superficies húmedas. La profundidad de perforación se rige a las indicaciones del fabricante del epóxico, quién indica que no debe ser menor que 15 veces el diámetro del perno de anclaje, el diámetro de la perforación debe tener como mínimo 10mm.

Se puede almacenar durante un año en su envase original a una temperatura comprendida entre 5°C y 25°C.



Fig.3.3 Componente A y B del Sikadur 31

3.4 MORTERO

Para pegar a las placas P-7, se usó en sus juntas horizontales y verticales de 1cm de grosor, el denominado mortero grueso Ultra-Pega embolsado y producido por CML LACASA (Fig.3.4). Este mortero viene premezclado en seco y es suficiente con echarle agua hasta lograr su trabajabilidad. El premezclado de cemento Portland tipo 1 y arena gruesa, se realiza bajo una dosificación estándar y bajo un exhaustivo control de calidad en sus componentes. La función principal del mortero es adherir las unidades de albañilería, corrigiendo

las irregularidades geométricas de altura que presenten, así como también sellar las juntas contra la penetración de aire o humedad. El almacenaje de estas bolsas debe hacerse sobre una tarima de madera en rumas no mayores de 10 bolsas, cubriéndolas con plástico para protegerlas de la humedad.



Fig.3.4 Bolsa de mortero grueso (40 kg)

3.5 CONCRETO (GROUT)

Durante el asentado de la Placa P-7, sus alveolos fueron llenados con concreto líquido (grout), a fin de integrar el refuerzo con la albañilería. Se usó grout embolsado, denominado Concreto Ultra-Pega LACASA (Fig.3.5). Este concreto está compuesto por una mezcla seca de cemento Portland tipo 1, arena gruesa y confitillo. A esta mezcla sólo debe echársele agua hasta lograr una consistencia similar a la de una sopa espesa de sémola. El almacenaje de estas bolsas debe hacerse sobre una tarima de madera en rumas no mayores de 10 bolsas, cubriéndolas con plástico para protegerlas de la humedad.



Fig. 3.5 Bolsa de concreto LA CASA (40 kg)

REFERENCIAS

- 3.1 Productos CML LA CASA
http://www.mineraluren.com/Productos_Materiales.html
- 3.2 Manual de instalación para muros no portantes hechos con las Placas P-7, P-10, P-12 y P-14. Por: CML LA CASA
<http://www.mineraluren.com/Descargas/ManualDecimoTerceraVersion.pdf>
- 3.3 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO. Norma Técnica de Edificaciones E.070 “Albañilería”. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, 2006.
- 3.4 Sika. Hoja Técnica, Edición 4, 15/03/07, LC, Sikadur® 31 Hi-Mod-Gel

4. CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS TABIQUES P-7

En este capítulo se describe la técnica de construcción seguida para la construcción del tabique M1 (con juntas traslapadas) y M2 (en pilares). Aparte de las juntas verticales, M1 presentó 3 varillas verticales de 6mm y M2 2 varillas verticales de 6mm, el resto de parámetros se mantuvo constante (mortero, grout, placas P-7, mano de obra, refuerzo horizontal).

4.1 MANO DE OBRA

La mano de obra que se requirió para el asentado de los muros con placa P-7 se subcontrató a la empresa JMVH Contratistas Generales, la cuadrilla que realizó el trabajo constó de: 1 Capataz, 1 Operario y 1 Ayudante.

El personal obrero con el cual se trabajó contó con todos los implementos de seguridad cumpliendo con las normas del Laboratorio de Estructuras PUCP.

4.2 HERRAMIENTAS

Las herramientas (Fig.4.1) utilizadas para el asentado y recorte de las placas P-7 dentro del pórtico fueron las siguientes:

- Amoladora angular 9" con disco diamantado (1 unidad)
- Sopladora (1 unidad)
- Rotomartillo (1 unidad)
- Reglas de fierro (2 unidades)
- Bateas (2 unidades)
- Baldes (2 unidades)
- Plomadas (4 unidades)
- Planchas (2 unidades)

- Fraguadores (2 unidades)
- Badilejo (1 unidad)
- Frotacho largo (1 unidad)
- Martillo (2 unidades)
- Wincha de 5 m (2 unidades)
- Nivel de mano (2 unidades)
- Tiralíneas (1 unidad)
- Jarras de plástico (2 unidades)



Fig.4.1 Herramientas Taladro (izquierda), plomada (centro) y sopladora (derecha).

4.3 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS TABIQUES

4.3.1 Emplantillado

Teniendo las placas P-7 ya habilitadas, según las dimensiones requeridas, se les trasladó desde el lugar de acopio hacia el lugar donde se realizó el asentado. Posterior a esto, con la ayuda de una wincha, un tiralíneas y ocre, se realizó el trazado para ubicar al tabique, en el eje del muro, de la cimentación y de la viga

superior (Fig.4.2). Posteriormente, se colocan las placas P-7 sobre la cimentación y se realiza una marca para ubicar los alveolos donde se colocarán las varillas verticales para cada tipo de aparejo (bloques traslapados o pilas de bloques). La linealidad vertical entre el punto superior y el inferior fueron verificados mediante una plomada (Fig.4.1 central).



Fig.4.2. Emplantillado de tabiques M1 y M2

4.3.2 Perforación y colocación de refuerzo vertical

Teniendo los puntos, donde va a anclar la varilla vertical, marcados en el concreto, con la ayuda de un taladro y una broca de 1/4" se efectuaron: tres perforaciones en cada viga de 2.5cm de profundidad para el caso de M1, y dos perforaciones en cada viga para el caso de M2

Posteriormente, se realizó la limpieza de los puntos perforados con una sopladora (Fig.4.3), retirando todas las partículas de polvo que puedan obstruir o perjudicar el anclaje y su correcto funcionamiento.



Fig.4.3. Limpieza de puntos perforados

Luego se inició la preparación de la mezcla de Sikadur 31. Se mezcla en volumen 1:1 la parte A con la parte B (Fig.4.4).



Fig.4.4. Preparación del Sikadur 31.

Esta mezcla debe ser de color gris homogéneo, y con la ayuda de una pequeña varilla se unta en la punta de la varilla vertical a anclar y en la perforación.

Posteriormente, se introducen la varilla en la perforación (Fig.4.5) y se la sujeta por unos segundos para que mantenga la verticalidad.



Fig.4.5. Relleno con epóxico de la perforación e inserción de la barra vertical.

Se repite el proceso indicado en las perforaciones ubicadas en la viga superior y se introducen la varilla vertical superior, cuidando que la longitud de empalme sea de 30 cm. Luego se amarra el empalme con cinta maskingtape, en la parte superior e inferior respectivamente (Fig.4.6).



Fig.4.6. Traslapo del refuerzo vertical inferior y superior.

4.3.3 Construcción de la albañilería armada

Preparación del mortero y del grout

Ambos materiales se preparan artesanalmente en bateas independientes (Fig.4.7), vertiendo el contenido de la bolsa en la batea, para después agregar agua hasta lograr una mezcla trabajable en el caso del mortero, y hasta lograr una mezcla fluida en el caso del grout (similar a una sopa espesa de sémola).



Fig.4.7. Preparación del mortero y del grout

Asentado de unidades

Previamente se limpiaron en seco todas las unidades de las placas P-7. Con la ayuda de un badilejo se colocó mortero a lo largo de la viga de cimentación (Fig.4.8), cuidando que el espesor de la junta sea de 1 cm, se realizó el asentado de la primera hilada de placas P-7, una vez terminada la primera hilada, se procedió a rellenar los alveolos con grout, con la ayuda de unas jarras, formándose de esta manera las juntas verticales.



Fig.4.8. Capa de mortero para el asentado de la primera hilada.

Posteriormente, se continuó con el asentado de las hiladas sucesivas de la misma forma, relleno los alveolos con grout. Por otro lado cada 2 hiladas se colocó refuerzo horizontal sobre la junta horizontal (Fig.4.9). Hubo 4 juntas horizontales con refuerzo de acero.



Fig.4.9. Instalación del refuerzo horizontal.

Durante todo el asentado de las placas P-7, estas fueron alineadas verticalmente usando reglas de acero aplomadas (Fig.4.6), que se utilizaron como referencia. Para las últimas hiladas se utilizó un andamio para poder realizar el trabajo con comodidad (Fig.4.10).

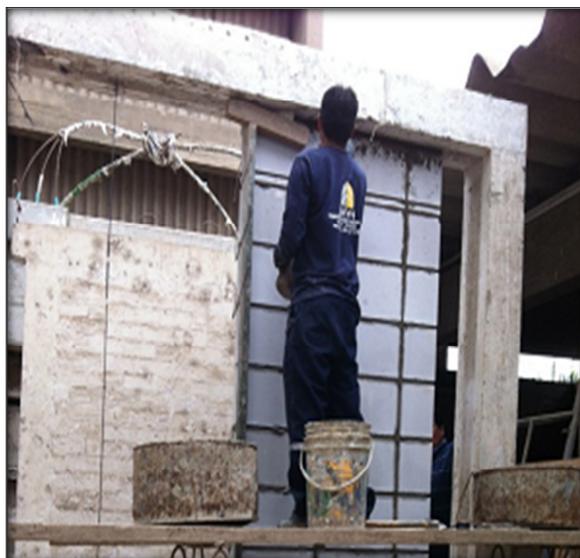


Fig.4.10. Andamio para construir las hiladas superiores.

Ambos muros se construyeron en la totalidad de su altura en una jornada de trabajo, debido a su rapidez constructiva. Es también necesario remarcar que el aparejo entre ambos muros fue distinto: traslapado para M1 y en pilares para M2 (Fig.4.11).



Fig.4.11. Tabiques M1 (traslapado) y M2 (pilares)

Solaqueo de Juntas

En una batea se prepara una bolsa de mortero fino para dar el acabado solaqueado a las juntas de los muros M1 y M2 (Fig.4.12). Esta mezcla es aplicada sobre la superficie de las juntas de los muros enrasándola con la ayuda de un frotacho largo, para después limpiar los bloques con una esponja húmeda.



Fig.4.12. Juntas solaqueadas

4.3.4 Pintado

Pasados 28 días de haberse construido los muros M1 y M2, se procedió a realizar el lijado y pintado de una cara de los muros (aquella donde irían los instrumentos, mientras que en la cara opuesta se marcaron las grietas).

Para esto se contó con un operario de pintura, que lijó toda la superficie exterior de ambos muros para retirar las partículas de mortero que estaban sueltas (Fig.4.13). Posteriormente, se aplicó con rodillo 4 capas de imprimante blanco (Fig.4.14). Cabe señalar que en realidad estos muros se empastan con yeso.



Fig.4.13. Lijado de superficie exterior.

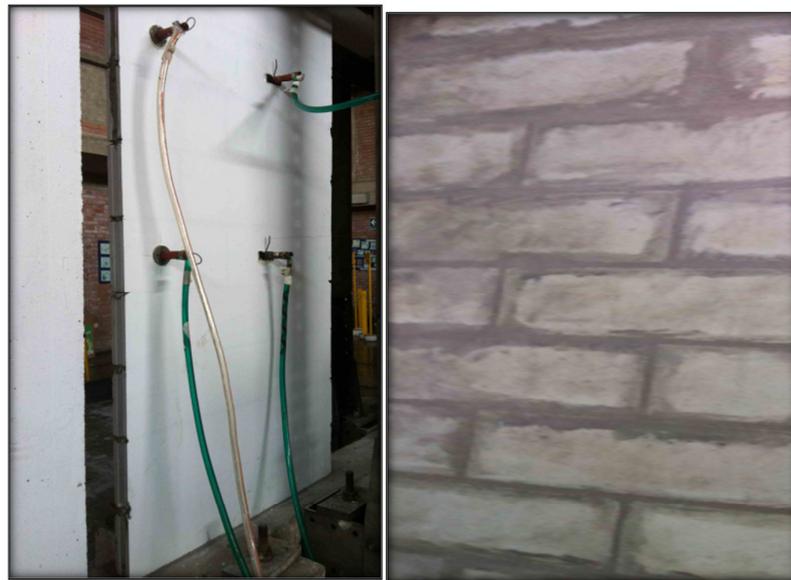


Fig.4.14 Cara del muro con imprimante (izquierda) y sin imprimante (derecha)

4.4 ANALISIS DE COSTOS

4.4.1 COSTOS DE INSUMOS

El precio de la mano de obra y materiales utilizados para la ejecución de los muros de placa P-7 se detallan en la siguientes tablas. (Tabla 4.1 y Tabla 4.2).

Tabla 4.1 Listado de Precios de Insumos – Materiales

Item	Descripción	Und.	Precio Unitario (S/.)
1	Placa P-7 de 25 cm.	m2	25.91
2	Acero Refuerzo $f_y=4200$ kg/cm2	kg	2.15
3	Mortero Grueso - La Casa (40 kg)	bol	6.16
4	Mortero Fino - La Casa (40 kg)	bol	6.16
5	Concreto Liquido- La Casa (40 kg)	bol	6.86

Tabla 4.2 Listado de Precios de Insumos – Mano de Obra

Item	Descripción	Und.	Precio Unitario (S/.)
1	Capataz	hh	21.06
2	Operario	hh	16.6
3	Peón	hh	12.94

4.4.2 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precios unitarios de la partida de asentado de placa P-7 en los dos tipos de aparejos, incluye los materiales, herramientas y mano de obra necesarios para la total y completa ejecución de esta partida. (Fig. 4.15 y Fig. 4.16)

Para poder hacer una comparación de costos entre los dos muros M1 y M2, se ha anulado el costo de los refuerzos de acero \varnothing 6mm y el concreto líquido utilizado en ambos muros, así mismo como el Sikadur 31 utilizado para los anclajes; esto debido a que la distribución de acero en los muros varía (M1 se emplearon 3 varillas verticales, mientras que para el muro M2 se emplearon tan solo 2 varillas).

M1- APAREJO SOGA							
Partida	1.01	MURO P7 DE e=7cm					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 10.0000	EQ. 10.0000		Costo unitario directo por : m2	72.58	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0850	21.06	1.79
0147010002	OPERARIO		hh	2.0000	1.7000	16.60	28.22
0147010004	PEON		hh	1.0000	0.8500	12.94	11.00
							41.01
Materiales							
203020002	BLOQUES DE LADRILLO E=7CM		u		8.5800	3.02	25.91
203020004	MORTERO GRUESO		bl		0.3660	6.16	2.25
203020005	MORTERO FINO		bl		0.2200	6.16	1.36
							29.52
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.0000	41.01	2.05
							2.05

Fig. 4.15 APU de Muro Placa P-7 en aparejo en sogá

M2- APAREJO PILAS

Partida	1.02	MURO P7 DE e=7cm					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000			Costo unitario directo por : m2	65.40
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0708	21.06	1.49	
0147010002	OPERARIO	hh	2.0000	1.4167	16.60	23.52	
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.7083	12.94	9.17	
							34.17
	Materiales						
203020002	BLOQUES DE LADRILLO E=7CM	u		8.5800	3.02	25.91	
203020004	MORTERO GRUESO	bl		0.3660	6.16	2.25	
203020005	MORTERO FINO	bl		0.2200	6.16	1.36	
							29.52
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	34.17	1.71	
							1.71

Fig. 4.16 APU de Muro Placa P-7 en aparejo en pilas

REFERENCIAS

- 4.1 Manual de instalación para muros no portantes con Placa P-7, P-10, P-12 y P14. Por: CML LA CASA.

<http://www.mineraluren.com/Descargas/ManualDecimoTerceraVersion.pdf>

5. ENSAYO DE SIMULACIÓN SÍSMICA

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo de carga sísmica perpendicular al plano de los tabiques P-7 (M1 con juntas traslapadas y M2 con juntas verticales continuas, Fig.2.3), se llevó a cabo en la mesa vibradora (Fig.5.1) del Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

El movimiento fue unidireccional dividido en 3 fases de aceleración creciente, simulando sismos leves, moderados y severos (Tabla 5.1). Antes de cada fase se ejecutaron ensayos de vibración libre, con el objeto de determinar el período de vibración y el grado de amortiguamiento. La señal utilizada correspondió a la componente L registrada en Lima del terremoto del 31 de mayo de 1970, con una duración de 30 segundos y frecuencias predominantes comprendidas entre 2.5 y 3 Hz.



Fig.5.1. Mesa Vibradora PUCP

Tabla 5.1. Fases del Ensayo Sísmico. Valores Nominales máximos de la Plataforma.

Fase 1	Fase 2	Fase 3
Do = 30 mm	Do = 80 mm	Do = 130 mm
Ao = 0.3g	Ao = 0.8g	Ao = 1.3g
Sismo Leve	Sismo Moderado	Sismo Severo

Las características de la mesa vibradora (Fig.5.1) se presentan en la Tabla 5.2

Tabla 5.2. Características de la Mesa Vibradora

Peso de la Mesa	18 Ton
Dimensiones de la Plataforma	4.40m x 4.40m
Desplazamiento Máximo - Do	± 150 mm
Aceleración Máxima - Ao	± 1.4 g

5.2 ARRIOSTRAMIENTO DEL PÓRTICO

Mediante perfiles metálicos se arriostró la viga superior del pórtico (Fig.5.2), mientras que la cimentación fue conectada a la mesa vibradora. Esto se hizo para restringir el desplazamiento relativo entre piso y techo, de tal modo que sólo el tabique pueda deformarse y vibrar ante acciones perpendiculares al plano.



Fig.5.2. Arriostramiento de la viga del pórtico.

5.3 INSTRUMENTACIÓN

Para este ensayo se utilizaron 4 acelerómetros y un LVDT en cada muro, distribuidos según se muestra en las Figs.5.2 y 5.3, de tal modo que pueda calcularse la fuerza sísmica distribuida “w” (ver 6.2) perpendicular al plano del tabique.

Se instalaron los acelerómetros cuidando que no se ubiquen sobre las juntas de mortero o cortes hechos en la placa P-7.

El LVDT permitió hallar el desplazamiento al centro del tabique, con el cual se dibujaron las gráficas w-d., para cada muro y para cada fase del ensayo.

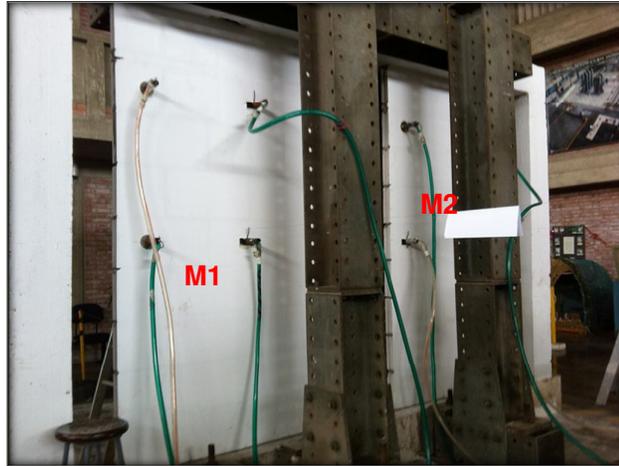


Fig. 5.2. Instrumentación. Distribución de acelerómetros.

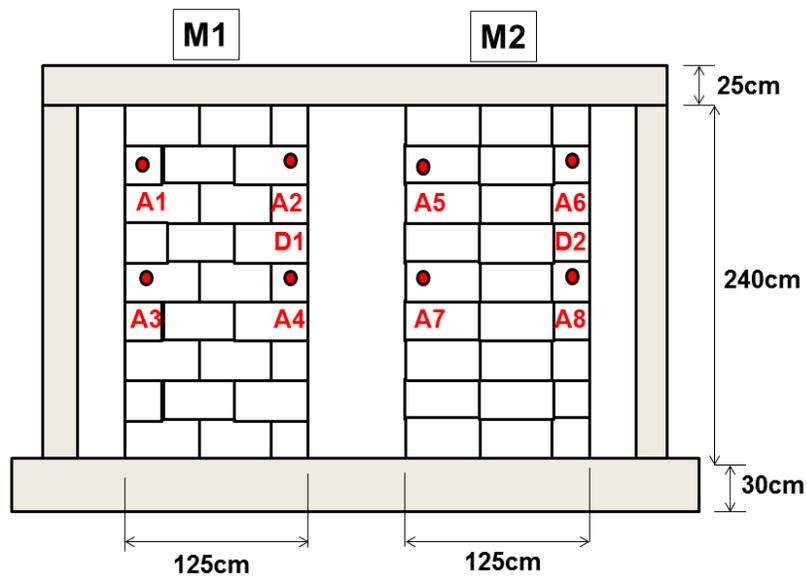


Fig. 5.3. Distribución de acelerómetros (A) y LVDT (D) en muros M1 y M2.

Adicionalmente, se registró la aceleración (A_o) y el desplazamiento (D_o) de la mesa vibradora, la cual cuenta con dispositivos propios de medición, así como la fuerza ejercida por el actuador dinámico sobre la plataforma (F_a). En la Tabla 5.3 se indica la disposición de los instrumentos.

Tabla 5.3. Disposición de Instrumentos

Elemento	LVDT	Acelerómetro	Fuerza del Actuador
Tabique M1	D1	A1, A2, A3, A4	---
Tabique M2	D2	A5, A6, A7, A8	---
Mesa Vibradora	Do	Ao	Fa
Total de Instrumentos	3	9	1

5.4 COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DE LOS TABIQUES

5.4.1 Fase 1: Do = 30mm

En esta fase el desplazamiento aplicado fue el de menor magnitud (30 mm), asociado a un sismo leve, se pudo apreciar que el pórtico con tabiquería se comportaba como un sólido rígido en conjunto con el sistema de arriostre. Al finalizar el desplazamiento impuesto, se realizó una inspección con la finalidad de cuantificar los daños. No se apreciaron daños en la tabiquería, por lo que los tabiques se comportaron en el rango elástico.

5.4.2 Fase 2: Do = 80mm

En este caso se efectuó una revisión más exhaustiva que en la fase anterior. Pudo apreciarse la formación de fisuras en las juntas horizontales extremas del tabique, en la zona de unión con el pórtico (Fig.5.4), lo que indica que ambos tabiques se comportaron como barras biempotradas, donde el momento flector es máximo en los extremos de la barra. Las placas P-7 no presentaron fisuras. Tampoco se registraron fisuras en la parte intermedia de los tabiques.



Fig. 5.4: Fisuras en la base de los tabiques después de la Fase 2.

5.4.3 Fase 3: Do = 130mm

Durante la ejecución de esta fase, asociada a un sismo severo, se notó grandes desplazamientos laterales, especialmente en el tabique M2 y en la zona central de ambos tabiques, incrementándose las fisuras horizontales en los extremos de los tabiques y formándose dos grietas horizontales en las juntas de la parte central (Fig.5.5 y Fig. 5.6). En esta fase comenzaron a generarse pequeños despostillamientos en las esquinas de las placas P-7. En esta fase los desplazamientos laterales fueron tan notorios, que podrían producir el pánico entre los habitantes del edificio. Por ello se recomienda que la deriva máxima al centro del muro, no sea mayor que 0.01, esto corresponde a un desplazamiento máximo de 12 mm ($0.01 \times h/2 = 0.01 \times 2.4/2$).



Fig.5.5. Fisuras horizontales en 2 juntas centrales de M1.

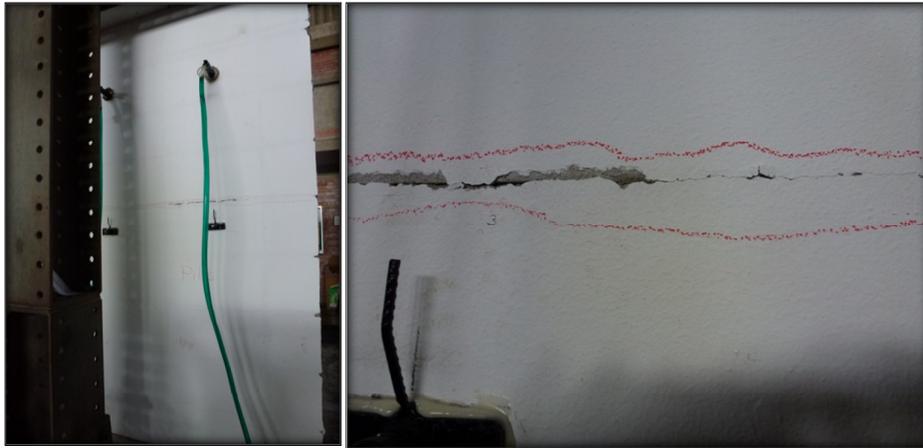
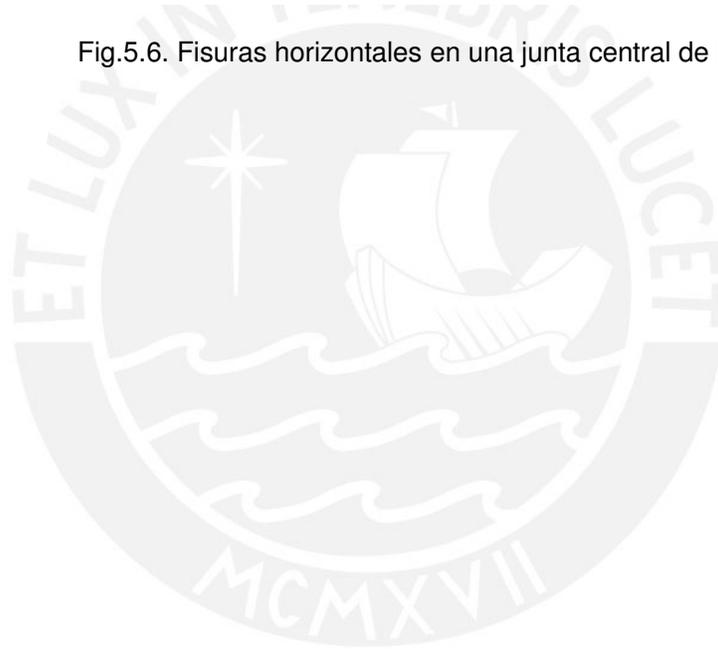


Fig.5.6. Fisuras horizontales en una junta central de M2.



6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. DETERMINACIÓN DEL PERIODO Y DEL AMORTIGUAMIENTO

El ensayo de vibración libre consistió en aplicar 4 pulsos de amplitud $D_0 = 1.5\text{mm}$ en la mesa vibradora, registrándose la respuesta al pulso mediante los acelerómetros.

Para obtener experimentalmente el periodo fundamental del tabique P-7 se procesó gráficamente las señales que se obtuvieron en el acelerómetro colocado en el centro del tabique. Considerándose que no se podía medir el grado de amortiguamiento cuando la respuesta no decrecía.

A continuación se indica la formulación para obtener el período fundamental de vibrar (T) y el grado de amortiguamiento (ε), usando gráficas de respuesta en vibración libre de este proyecto.

6.1.1 Fórmula para hallar el grado de amortiguamiento

Válida sólo para amortiguamiento pequeño (ε)

$$\varepsilon = \frac{1}{2\pi n} \left[\ln \left(\frac{Y_t}{Y_{t+nT}} \right) \right]$$

$n =$ número de períodos entre las ordenadas Y_t y Y_{t+nT} , cuando $n = 1$, el resultado no es válido.

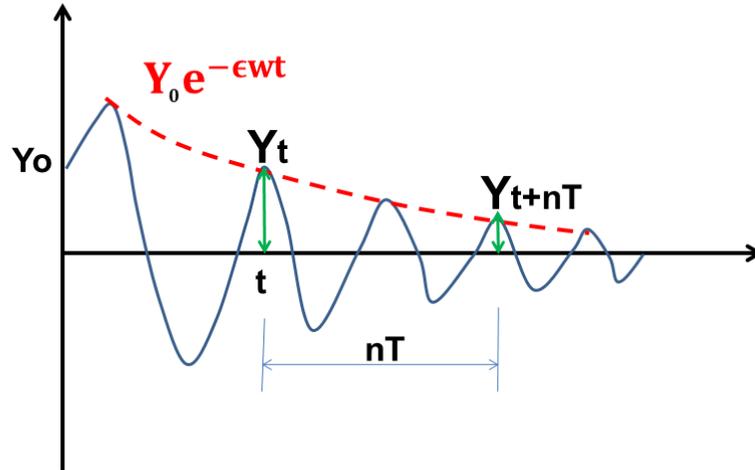


Fig.6.1 Cálculo del grado de amortiguamiento.

6.1.2 Ejemplo M1 y M2 post fase 1

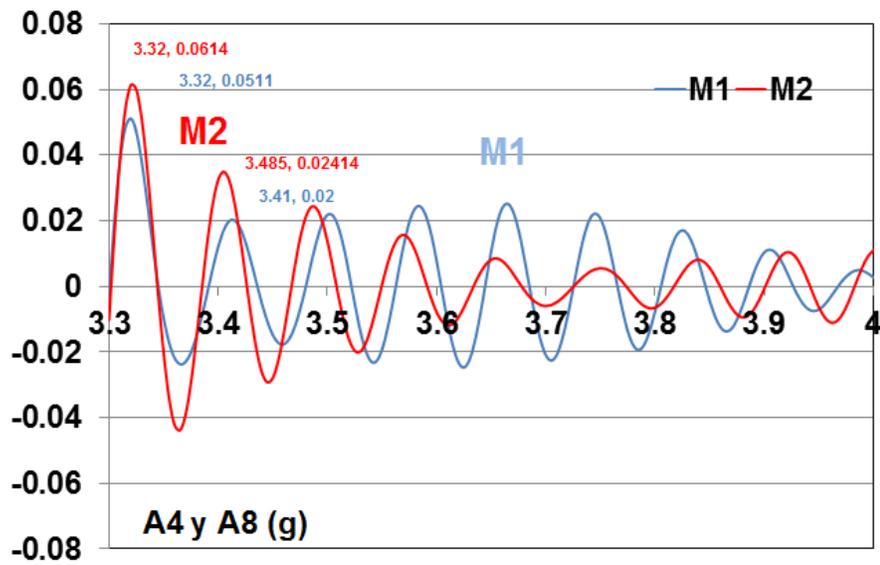


Fig.6.2. Cálculo del grado de amortiguamiento y del período para los tabiques M1 y M2, después de la Fase 1.

Para **M1** se nota caída de la respuesta sólo al terminar el pulso, por lo que la formulación para hallar el amortiguamiento no es aplicable, sólo se calcula el período.

$$T(M1) = (3.66 - 3.32)/4 = 0.085 \text{ seg (para } n = 4)$$

Para **M2** se toma 2 ciclos, $n = 2$

$$T(M2) = (3.485 - 3.32) / 2 = 0.083 \text{ seg}$$

$$\varepsilon(M2) = \text{Ln} (0.0614/0.02414) / (2 \pi \times 2) = 0.074 (7.4\%)$$

En la Tabla 6.1 aparecen el resto de cálculos.

Tabla 6.1. Período fundamental de vibrar (T) y grado de amortiguamiento (ε)

Fase	T (seg)		ε (%)	
	Tabique M1	Tabique M2	Tabique M1	Tabique M2
Inicio	0.085	0.082	---	6.5
Post-fase 1	0.085	0.083	---	7.4
Post-fase 2	0.12	0.084	8.43	---
Post-fase 3	0.20	0.13	---	---

6.2 CÁLCULO DE LA CARGA PERPENDICULAR AL PLANO

Se dividió el muro en 3 partes mediante franjas horizontales de altura 0.8m como en la Fig. 6.3. Para calcular la fuerza sísmica en cada franja ($F_i = P_i A_i$), se multiplica la masa tributaria (P_i) por la aceleración correspondiente (A_i) en fracción

de la gravedad, mientras que la fuerza sísmica total (F) se obtuvo sumando las fuerzas parciales: $F = \sum F_i$, para después distribuirla en el área del muro. Debe tenerse en cuenta que estos cálculos se hacen cada 0.005 segundos, asociado a la adquisición de datos.

En cada franja horizontal se trabajó con una aceleración promedio de los valores captados en los extremos, con excepción de la franja inferior, donde al carecer de acelerómetros, se trabajó con la aceleración promedio de la franja central y la correspondiente a la mesa vibradora.

A continuación se proporciona la formulación para el Tabique M1, entendiéndose que el tabique M2 siguió la misma metodología.

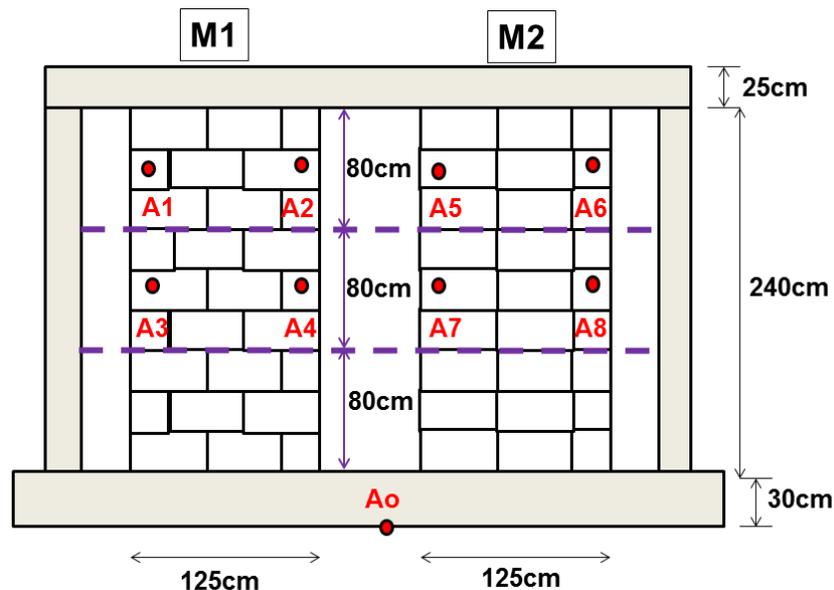


Fig.6.3. Distribución de áreas tributarias.

6.2.1 Cálculo de “w” en kg/m²

Masa de la franja tributaria $P_i = 0.8 \times 1.25 \times 0.07 \times 2000 = 140 \text{ kg}$

Área total = $A = 1.25 \times 2.4 = 3 \text{ m}^2$

En M1: $F_3 = 140 (A_1 + A_2) / 2 = 70 (A_1 + A_2) = \text{fuerza arriba}$

$F_2 = 140 (A_3 + A_4) / 2 = 70 (A_3 + A_4) = \text{fuerza al centro}$

$F_1 = 140b \times \frac{1}{2} ((A_3 + A_4) / 2 + A_o) = 35 (A_3 + A_4) + 70 A_o = \text{fuerza abajo}$

$F = F_1 + F_2 + F_3 = 70 ((A_1 + A_2) + 1.5 (A_3 + A_4) + A_o)$

$w = F/A$

$$w(M1) = 23.333 (A_1 + A_2) + 35 (A_3 + A_4) + 23.333 A_o$$

En M2:

$$w(M2) = 23.333 (A_5 + A_6) + 35 (A_7 + A_8) + 23.333 A_o$$

6.2.2 Cálculo del desplazamiento relativo a la mesa.

El desplazamiento medido por el LVDT es absoluto (D), por lo que para hallar el desplazamiento respecto a la mesa (deformación por flexión “d”) hay que restar el desplazamiento de la mesa (D_o), de este modo:

Para el tabique M1: $d(M1) = D1 - D_o$

Para el tabique M2: $d(M2) = D2 - D_o$

Cálculo que debe hacerse cada 0.005 segundos, asociado a la adquisición de datos.

6.2.3 Valores Máximos en cada fase

En la Tabla 6.2 se reporta los valores máximos de los principales parámetros.

Tabla 6.2. Valores máximos de los principales parámetros.

	Ao (g)	d1 (mm)	d2 (mm)	w1 (kg/m ²)	w2 (kg/m ²)
Fase 1	0.261	0.976	0.858	47.35	46.60
	-0.309	-1.114	-1.073	-57.91	-57.47
Fase 2	0.667	6.44	2.798	257.88	174.41
	-0.890	-5.64	-3.108	-235.81	-162.98
Fase 3 (*)	1.267	11.43	6.52	335.73	203.90
	-1.63	-11.45	-11.80	-375.15	-138.35

- (*) En la Fase 3 sólo se procesaron resultados hasta alcanzar una deriva central de 0.01 = $d / 1200$. Realmente el tabique M1 alcanzó $d1 = 18.07\text{mm}$ con $w1 = 448.83 \text{ kg/m}^2$, mientras que M2 alcanzó $d1 = 37.84\text{mm}$ con $w2 = 397.57 \text{ kg/mm}^2$.

6.3 GRÁFICAS W-D

Estas gráficas se elaboraron a la misma escala con fines comparativos.



Fig.6.4 Gráficas w-d en los dos tabiques para las 3 fases del ensayo sísmico.

Observaciones:

- En la fase 1 ambos muros coinciden y tienen comportamiento sísmico elástico. Los períodos de vibrar son los mismos (0.085 seg.).

- En la fase 2, M2 mantiene su rigidez y período de vibrar (0.084 seg). En cambio M1 pierde rigidez aumentando su período a 0.12 seg. Esto se debe al mayor tamaño de las fisuras formadas en los extremos de M1.
- En la fase 3, M1 continúa aumentando su carga, posiblemente porque el refuerzo vertical ingresó a su zona de endurecimiento para grandes desplazamientos, pero la rigidez bajó considerablemente, aumentando el período a 0.2 seg. En M2 la gráfica w-d se volvió desordenada, pero ya no hay incremento de carga, más bien la rigidez disminuye y el período subió a 0.13 seg. Esto puede deberse a que en M2 la falla se concentró en el centro del muro, mientras que en M1 las fisuras fueron más finas y se concentraron en 2 hiladas centrales.

6.3.1 Envoltente w-d

En la Fig.6.5, se observa un mejor comportamiento sísmico del tabique M1 sobre M2, posiblemente esto se deba a la mayor cantidad de varillas verticales que tuvo M1 (3 ϕ 6mm vs 2 ϕ 6mm en M2).

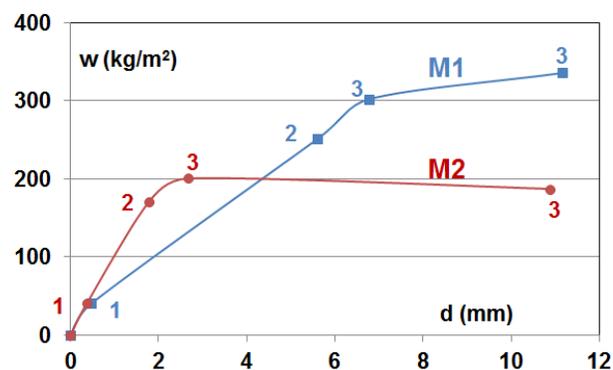


Fig.6.5 Envoltente w-d de máxima carga para las 3 fases del ensayo sísmico

6.3.2 Comparación de cargas

En la Tabla 6.3 las cargas experimentales se comparan con las teóricas obtenidas en el capítulo 2.

Tabla 6.3 Comparación de cargas teóricas y experimentales

	w (kg /m²)
Carga última de diseño	73
Carga teórica de colapso en tabique M1	263
Carga teórica de colapso en tabique M2	177
Carga experimental en Fase 3 para tabique M1	375
Carga experimental en Fase 3 para tabique M2	204

En la Tabla 6.3 puede notarse que la resistencia sísmica de tabique, obtenida en la Fase 3 del ensayo, supera ampliamente a la carga última de diseño; es decir, los tabiques estaban sobre diseñados 5.14 veces para M1 y 2.79 veces para M2.

La resistencia obtenida teóricamente para el estado en que se forman rótulas plásticas en los extremos y parte central de los tabiques, con el refuerzo en estado de fluencia, también fue superado por la resistencia experimental 1.4 veces para M1 y 1.15 veces para M2. Se estima que el refuerzo vertical debe haber ingresado a su zona de endurecimiento durante la Fase 3 del ensayo sísmico en ambos tabiques. Cabe recordar que en esta fase los dos tabiques tuvieron grandes desplazamientos en su zona central.

7. ENSAYO ESTÁTICO

El ensayo de simulación sísmica del pórtico con tabiques, se produjo fisuras en las juntas horizontales de ambos muros, localizadas en los extremos y en la zona central de los tabiques, por lo que con la finalidad de registrar la carga que produce el colapso total y la forma de falla, se realizó un ensayo adicional.

Este ensayo consistió en rotar 90° al espécimen (Fig.7.1), para luego cargarlo paulatinamente con ladrillos de arcilla de 18 huecos, cuidando de generar el “efecto de arco”. En la rotación se usó un puente grúa y se apoyó una de las caras laterales de la viga de cimentación sobre unas probetas de concreto, de tal modo que quede en libertad de desplazarse.



Fig.7.1. Rotación de Pórtico en 90°

7.1. RESULTADOS DEL ENSAYO ESTÁTICO

Al momento de realizar el giro a 90° , el Muro M2 (en aparejo de pilares), que estaba con mayores daños por el ensayo sísmico, colapsó (Fig.7.2) quebrándose, por lo que se deduce que no puede soportar su propio peso (aceleración de $1g$).

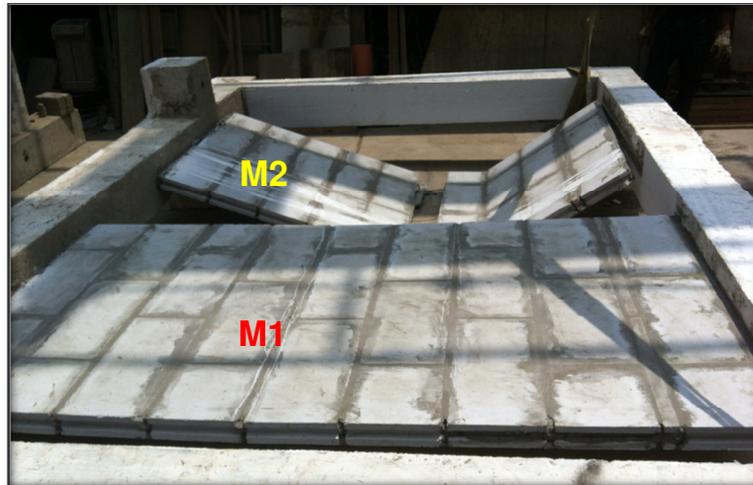


Fig.7.2 Colapso de M2 al rotarlo

De esta forma, el único tabique sobre el cual se aplicó sobrecarga fue M1. La sobrecarga estuvo compuesta por ladrillos de arcilla de 18 huecos (el peso de cada ladrillo es de aproximadamente 3.82 kg). La distribución de los ladrillos sobre el tabique se muestra en la Fig.7.3.



Fig.7.3 Distribución de los ladrillos en toda el área del muro M1

Conforme se iba incrementando la carga, las fisuras y daños aumentaban, hasta que ocurrió el colapso de M1 (Fig.7.4). La cantidad de ladrillos que se colocaron en

total fue 111. Estos ladrillos fueron retirados y pesados en una balanza (Fig.7.5), dando una sobrecarga total de **424 kg**, sin incluir el peso propio ($\gamma t = 2000 \times 0.07 = 140 \text{ kg/m}^2$).

En consecuencia, la carga que produjo el colapso de M1 fue $w = 424 / (2.4 \times 1.25) + 140 = \mathbf{287 \text{ kg/m}^2}$. Esta carga supera ligeramente (9%) a la carga teórica de colapso (263 kg/m^2 , acápite 2.3.6), por lo que la teoría descrita en 2.3.6 es aplicable.



Fig.7.4 Colapso del Muro M1



Fig.7.5 Pesaje de los ladrillos en balanza

7.2. FORMA DE FALLA

El muro M1 quedó conectado a las vigas del pórtico doblándose las barras verticales, pero sin zafarse de las perforaciones (Figs.7.6 y 7.7), por lo que el anclaje químico con Sikadur 31 funcionó adecuadamente. Más bien, la falla principalmente se localizó en la zona central donde las varillas estaban traslapadas (Fig.7.8), estos empalmes que inicialmente tenían 30 cm de longitud terminaron con 15, 5 y 2 cm.



Fig.7.6. Zona de anclaje con Sikadur 31 después del colapso



Fig.7.7 Muro M1 después del colapso



Fig.7.8 Traslape de barras verticales después del colapso



8. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se vierten en este capítulo se encuentran limitadas por la poca cantidad de especímenes ensayados, sin embargo, las tendencias seguidas en los resultados experimentales fueron lógicas y demostrables.

1. Se intentó estudiar qué tipo de aparejo (juntas verticales traslapadas, M1, o juntas verticales continuas, M2) fue mejor, a pesar que ambos tabiques tuvieron distinta cuantía de refuerzo vertical. En M2 se usaron dos varillas de 6mm, mientras que en M1 se usaron 3 varillas de 6mm, pese a ello M2 tuvo mejor comportamiento sísmico hasta la fase 2 del ensayo, ya que sus desplazamientos fueron más pequeños.
2. Los grandes desplazamientos registrados en la fase 3 (sismo severo) en ambos tabiques, crearía el pánico en las personas durante un sismo, o malograría los conductos internos, por lo que se decidió procesar sus resultados, solo hasta alcanzar un desplazamiento de 12mm, asociado a una deriva central de 0.01.
3. El comportamiento inicial de los tabiques, fue el de una barra biempotrada, hasta que en la fase 2 del ensayo sísmico se formaron fisuras en ambos extremos de los dos tabiques. Después, el comportamiento cambió al de una barra simplemente apoyada, hasta que se formaron grietas horizontales en la parte central, registrándose grandes desplazamientos laterales.
4. El estado en quedaron los tabiques en la fase 3, podría llamarse de colapso, porque en el ensayo estático M2 no soportó el giro de 90° y colapsó totalmente, mientras que M1 soportó una carga (incluyendo su peso propio)

de 287 kg/m^2 , en tanto que en la fase 3 del ensayo, M1 soportó una carga mayor 375 kg/m^2 .

5. El ensayo estático sirvió para demostrar que no hubo problemas en los anclajes químicos empleados en los extremos de las barras verticales, y que la falla se concentró principalmente en la región central de los tabiques, donde se habían traslapado las barras.
6. El refuerzo especificado por el fabricante de la Placa P-7, estuvo sobrediseñado ya que la resistencia sobrepasó a la carga reglamentaria de diseño.
7. Se considera importante continuar con la investigación, dada la gran cantidad de tabiques construidos con la Placa P-7 en la actualidad.
8. Con el análisis de costos se evidenció que el muro M2 es más económico que el muro M1, esta comparación solo será válida ante un sismo leve o moderado, ya que los muros presentan un desempeño similar ante esta sollicitación sísmica.

8. BIBLIOGRAFIA

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO. Norma Técnica de Edificaciones E.070 “Albañilería”. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, 2006.
- Hermoza, G. Comportamiento Sísmico de la Placa P-7 -Ensayo Sísmico Ortogonal al Plano-. Tesis PUCP, 2006.
- Icochea, A. y Fernández, A. Comportamiento sísmico de alféizares construidos con la Placa P-10 a cargas perpendiculares a su plano. Tesis PUCP, 2013.
- Manual de instalación para muros no portantes hechos con las Placas P-7, P-10, P-12 y P-14. Por: CML LA CASA
<http://www.mineraluren.com/Descargas/ManualDecimoTerceraVersion.pdf>
- Productos CML LA CASA
http://www.mineraluren.com/Productos_Materiales.html
- Novoa, G. Comportamiento sísmico de la placa P-7: Ensayo cíclico. Tesis PUCP, 2006.
- San Bartolomé, A., 2007. Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de albañilería en el sismo de Pisco del 15-08-2007. Blog de investigaciones en Albañilería <http://blog.pucp.edu.pe/blog/albanileria>
- Sika. Hoja Técnica, Edición 4, 15/03/07, LC, Sikadur® 31 Hi-Mod-Gel