

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



ARRIOSTRAMIENTO DE PARAPETOS DE ALBAÑILERÍA EXISTENTES EN FACHADAS DE EDIFICIOS

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:

Reymundo Anderson Siancas Chavarría

Alan Gabriel Manrique Guillén

Asesor: Ing. Ángel San Bartolomé

Lima, Mayo del 2013

Resumen

El Perú se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica, debido a su localización en una zona de subducción de dos placas tectónicas. Además, en el Perú existen numerosas edificaciones cuyas fachadas presentan parapetos que al carecer de arriostres, podrían volcar ante cargas sísmicas perpendiculares a su plano, causando la muerte de las personas que circulan por las inmediaciones o de aquellas que escapan del mismo edificio, por lo que en este trabajo se planteó buscar y elegir técnicas de arriostramientos económicas y sencillas, pero que permitan evitar estas fallas.

Se analizaron cuatro parapetos de albañilería, tres de los cuales fueron arriostrados mediante pequeñas columnas colocadas en sus bordes, con distinta disposición y forma de anclaje del refuerzo vertical. Se trató de simular el reforzamiento de un parapeto existente real hecho de albañilería simple, construyendo en primer lugar la albañilería, dejando dientes en sus extremos, para después instalar el refuerzo vertical y vaciar el concreto de las columnas. En un caso real habría que picar la albañilería en forma dentada en la zona donde irán las columnas.

La técnica descrita fue verificada mediante ensayos de simulación sísmica hechos en la mesa vibradora de la PUCP simultáneamente para los 4 parapetos. Puesto que 2 parapetos se comportaron elásticamente en el ensayo dinámico, posteriormente hubo que realizar una prueba estática para determinar su resistencia, consistente en ensayar monotónicamente al parapeto hasta provocar su colapso.

Una vez realizado los ensayos y procesar los resultados se concluyó que la resistencia sísmica de los parapetos de albañilería sin arriostres es mínima e inferior a la carga reglamentaria de diseño, por tanto, es necesario arristrarlos para prevenir colapso. Los arriostres en base a columnas de concreto con refuerzo vertical anclado químicamente mediante resina epóxica, fueron fáciles de construir, y el utilizado en el parapeto M1, una sola varilla anclada en una perforación, fue el más sencillo y el que proporcionó la mayor resistencia a carga sísmica perpendicular al plano del parapeto.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Arriostamiento de parapetos de albañilería existentes en fachadas de edificios"
Área : Estructuras -Investigación-
Asesor : Ing. Ángel San Bartolomé
Alumno : REYMUNDO ANDERSON SIANCAS CHAYARRÍA
Código : 2003.2207.5.412
Alumno : ALAN GABRIEL MANRIQUE GUILLÉN
Código : 2004.2140.0.412
Tema N° : 322
Fecha : Lima, 7 de mayo de 2013



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Ante la ausencia de elementos que arriostren a los parapetos de albañilería existentes en las fachadas de muchos edificios, estos terminan volcándose cuando se ven sujetos a cargas sísmicas perpendiculares al plano, prueba de ello lo dan los sismos ocurridos en el Perú el 2001 y 2007. Puesto que el colapso de estos parapetos pone en riesgo la vida de las transeúntes, y de la misma familia que habita en estas edificaciones al tratar de escapar durante el sismo, es necesario buscar un sistema de arriostamiento sencillo de ejecutar, económico y eficiente.

OBJETIVO

Buscar y comprobar experimentalmente un sistema que permita de forma simple y económica, arriostar los parapetos de albañilería ubicados en la fachada de los edificios, de tal manera de prevenir su colapso ante cargas sísmicas perpendiculares al plano de la fachada.

PLAN DE TRABAJO

Se construirán cuatro parapetos similares de albañilería simple a escala natural, de tal modo que reflejen el problema descrito. Luego, se presentarán alternativas simples y económicas que permitan arriostar al parapeto. Diferentes alternativas se aplicarán sobre tres de los especímenes, mientras que uno de ellos simulará la situación real en la que se encuentran gran parte de estos parapetos en el país (sin arriostre).


Luego se someterá en simultáneo a todos los especímenes a la acción de sismos leves, moderados y severos, simulados en la mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras. La instrumentación (LVDT y acelerómetros) será similar para todos los especímenes.

Finalmente, se procesará la información, se elaborará la memoria descriptiva (extensión máxima 100 páginas) y se preparará un artículo con fines de difusión (extensión máxima 12 páginas), mostrando en forma gráfica los resultados experimentales.

Tanto la construcción como el procesamiento de resultados serán conducidos por los alumnos, bajo la responsabilidad del asesor. El personal técnico y los equipos para los ensayos serán proporcionados por el Laboratorio de Estructuras.

Maximo: 100 paginas

V°B° *A.S.B.*
Ing. Ángel San Bartolomé
Coordinador de Investigación

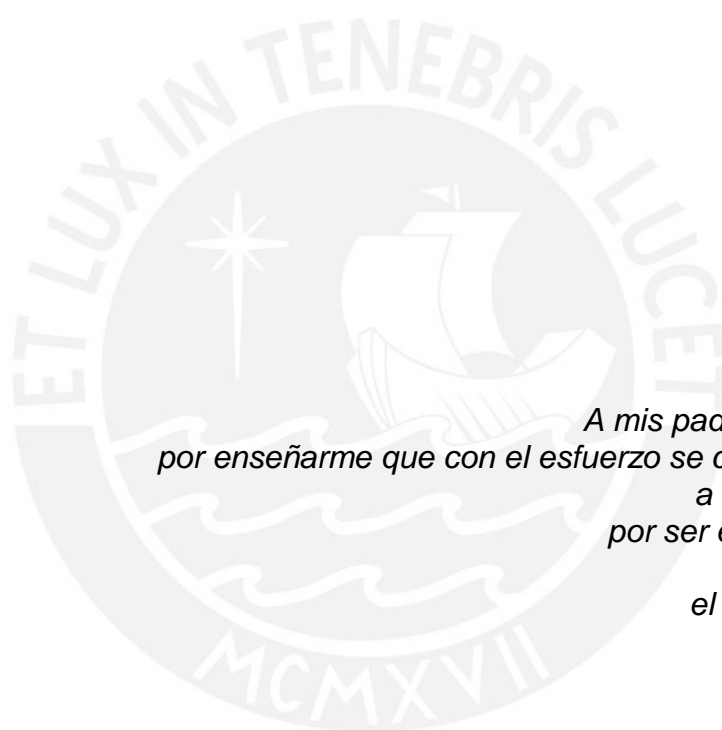


A.S.B.



*A mi madre por su amor incondicional,
A mi padre, un ejemplo a seguir, a mis hermanos por creer en mi
Y a mi hijo Sebastián por ser mi fuerza.*

Reymundo



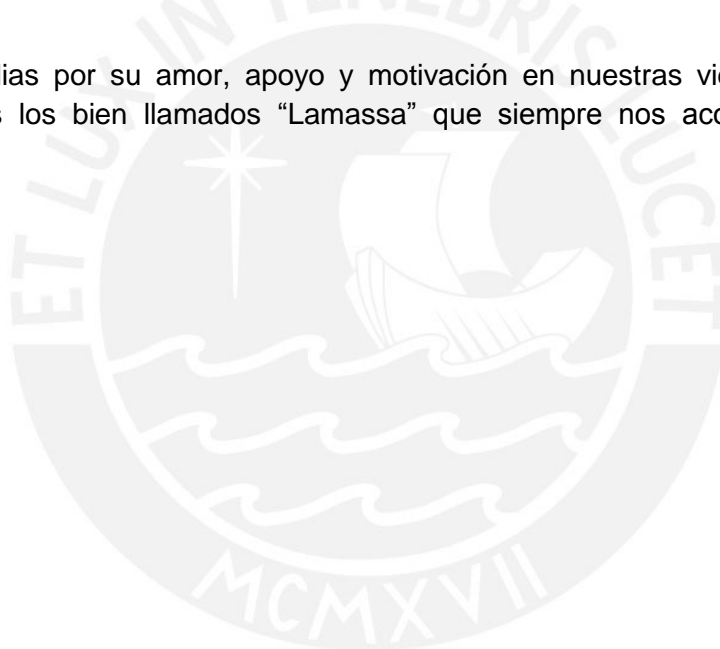
*A mis padres, Percy y Ana
por enseñarme que con el esfuerzo se consigue el éxito,
a mi hermano Iván
por ser ejemplo a seguir,
y a Karen
el amor de mi vida.*

Alan

Agradecimiento

Agradecemos el apoyo incondicional de nuestro querido profesos Ing. Angel San Bartolomé, quién nos dio su confianza, paciencia, motivación, experiencia y su valioso tiempo.

A nuestras familias por su amor, apoyo y motivación en nuestras vidas. Y también a nuestros amigos los bien llamados “Lamassa” que siempre nos acompañan en todo momento.



Índice

Capítulo 1	GENERALIDADES.....	1
1.1	Descripción del Proyecto.....	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Revisión Bibliográfica.....	2
Capítulo 2	CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES	5
2.1	Características de los parapetos de albañilería analizados	5
2.2	Anillo de cimentación	8
2.3	Mano de obra	8
2.4	Planificación del proyecto.....	9
Capítulo 3	MATERIALES UTILIZADOS	10
3.1	Unidades de albañilería	10
3.2	Concreto.....	10
3.3	Mortero	11
3.4	Acero de refuerzo	11
3.5	Epóxico (Euco #452 Gel)	12
Capítulo 4	DISEÑO DE LOS PARAPETOS.....	14
4.1	Generalidades.....	14
4.2	Carga perpendicular aplicada al muro	14
4.3	Diseño de columnas de arriostre	20
Capítulo 5	CONSTRUCCIÓN DE LOS PARAPETOS	25
5.1	Características similares de los parapetos.....	25
5.2	Características distintas de los parapetos.....	25
5.3	Construcción de los parapetos.....	26

Capítulo 6	ENSAYOS DE CARGA SÍSMICA.....	32
6.1	Descripción del ensayo e instrumentación.....	32
6.2	Fases del ensayo.....	34
6.3	Comportamiento cualitativo de los parapetos.....	34
6.4	Comportamiento cuantitativo de los parapetos.....	35
Capítulo 7	ENSAYOS DE CARGA ESTÁTICA.....	43
7.1	Descripción del ensayo e instrumentación.....	43
7.2	Comportamiento de los parapetos.....	44
7.3	Gráficas carga-desplazamiento.....	46
7.4	Carga equivalente.....	46
7.5	Comparación de Resistencias Máximas.....	47
Capítulo 8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
	REFERENCIAS.....	50

Capítulo 1 GENERALIDADES

1.1 Descripción del Proyecto

Se sabe que el Perú se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica, por su ubicación geográfica. Además de ello, en el Perú existen numerosas edificaciones cuyas fachadas presentan parapetos que al carecer de arriostres, como se observa en la Fig.1.1, podrían colapsar ante cargas sísmicas perpendiculares a su plano (Fig.1.2), causando la muerte de las personas que circulan por las inmediaciones o de aquellas que escapan del mismo edificio, por lo que en este trabajo se planteó estudiar técnicas simples, económicas y fáciles de construir que permitan evitar estas fallas. Esta técnica fue verificada mediante ensayos de simulación sísmica hechos en la mesa vibradora de la PUCP.



Figura 1.1. Parapeto no reforzado



Figura 1.2. Colapso de un parapeto

1.2 Objetivos

El objetivo central del proyecto fue comprobar experimentalmente la efectividad de tres tipos de arriostramientos, simples y económicos, que permitan dar estabilidad a los parapetos de baja altura ante solicitaciones sísmicas perpendiculares a su plano.

Existen variadas ideas de cómo reforzar estos parapetos de manera que no se produzca su volteo (Fig.1.3); sin embargo, lo que se buscó en esta investigación es comprobar experimentalmente una técnica que pueda ser, además de eficiente, económicamente viable y sencilla de ejecutar.

La técnica consistió en el uso de pequeñas columnas de concreto armado, colocadas en los bordes verticales del parapeto, anclando las varillas verticales en la base con productos químicos. El área total del refuerzo se mantuvo constante, pero se varió la distribución de las varillas y su forma de anclar.

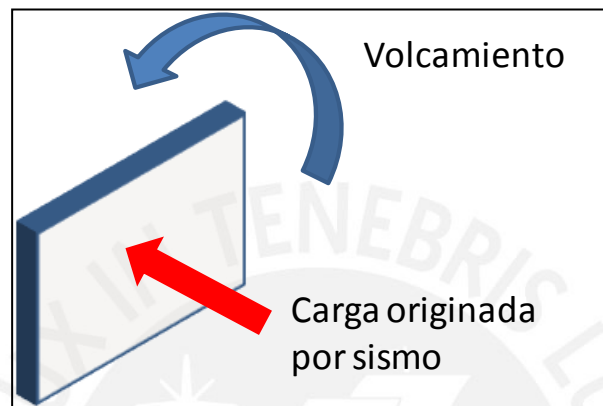


Figura 1.3. Volcamiento de parapeto.

1.3 Revisión Bibliográfica

Se tomó como referencia la tesis de la Ref.6 “Comportamiento sísmico de alféizares contruidos con la Placa P-10 a cargas perpendiculares a su plano” para explicar de manera general **“El ensayo de anclaje de refuerzo vertical”**

“Se utilizó el ensayo de tracción directa, para medir la fuerza necesaria para romper la adherencia de una barra de acero embebida en concreto con ayuda de un puente de adherencia del epóxico aplicado. Con este ensayo se podrán obtener los diagramas que relacionan el esfuerzo de adherencia local y el desplazamiento de la barra en el extremo opuesto”.

Para realizar el ensayo se consideró lo siguiente:

- 1.- Se perforó el anillo de cimentación ($210\text{kg}/\text{cm}^2$) y se colocaron los anclajes de las barras espaciadas a 0.90 m una de otra (Fig.1.4).

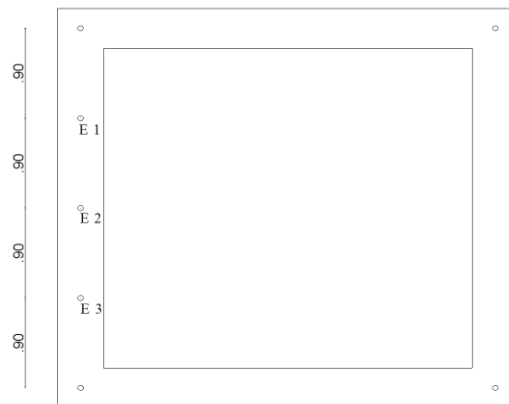


Figura 1.4. Esquema de anclaje sobre anillo de cimentación.

2.- Se determinó la longitud de perforación y el diámetro para lo cual se usó como referencia la Hoja Técnica, Edición 4, 15/03/07, LC Sikadur® 31 Hi-Mod-Gel. Ésta se indica que cuando la resistencia del concreto donde se realizará el anclaje sea menor a 225 kg/cm^2 o se usen pernos lisos, la profundidad deberá ser por lo menos 15 veces el diámetro del acero corrugado que es de 8 mm según el MANUAL DE INSTALACIÓN PARA MUROS NO PORTANTES CON PLACAS P-7, P-10, P-12 Y P-14 – DECIMO SEGUNDA VERSIÓN, por lo que, la profundidad de perforación será 12 cm. Respecto al diámetro de la perforación la Hoja Técnica, Edición 4, 15/03/07, LC Sikadur® 31 Hi-Mod-Gel indicaba que no deberá ser menor a 6mm y tampoco mayor a 36mm por lo que se usó para la perforación una broca #10 (aproximadamente 10mm). La limpieza de la perforación se realizó con aire comprimido, ya que el área debe quedar lo más limpia posible para facilitar un buen puente de adherencia.

3.- Luego, se aplicó el epóxico sobre la perforación con ayuda de una bolsa, la cual fue utilizada como chisquete hasta rellenar todo el volumen vacío. Una vez terminado este proceso, se insertó la varilla y se utilizó un martillo para garantizar que ingrese hasta el fondo 12cm.

Este procedimiento se realizó para 3 varillas de $\phi 8\text{mm}$ para las cuales se dejará una longitud sobresaliente de 30 cm como se indica en la Fig.1.5.

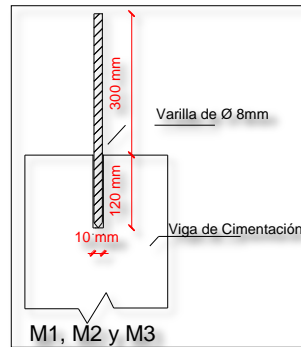


Figura 1.5. Esquema de refuerzo vertical.

El ensayo de adherencia por tracción fue de manera estática para poder determinar la fuerza máxima de adherencia. Como resultado se obtuvo que las 3 varillas fallaran por anclaje, pero para un esfuerzo mayor al límite de fluencia (Fig.1.6), que es el valor de diseño.

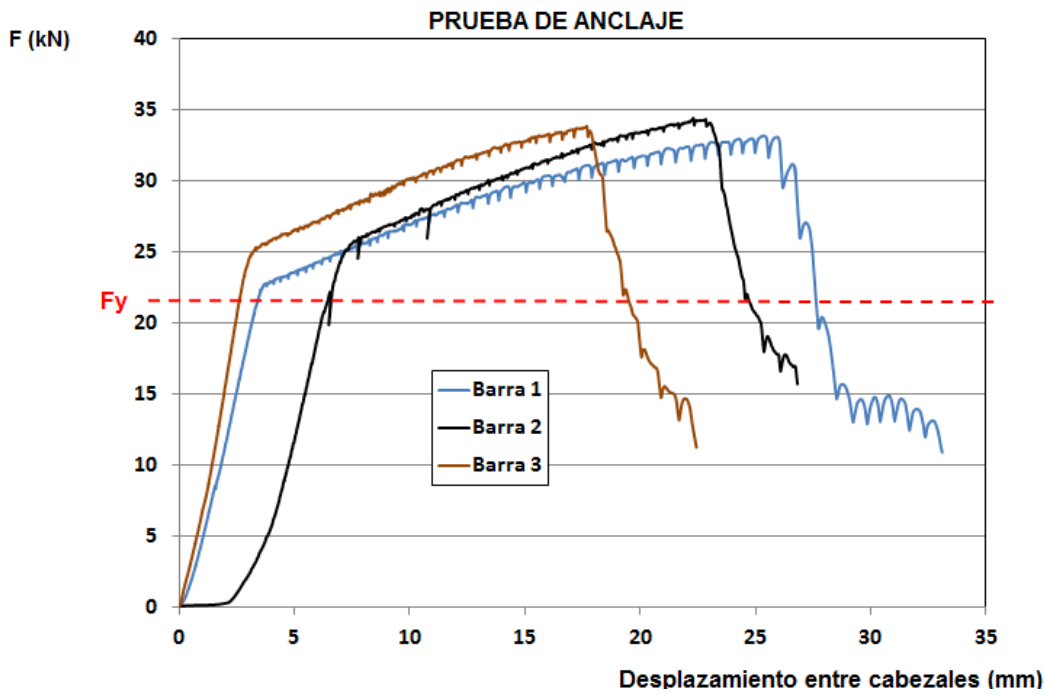


Figura 1.6. Gráfica de resultados del ensayo de refuerzo vertical.

Capítulo 2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES

2.1 Características de los parapetos de albañilería analizados

Se estudiaron cuatro parapetos de albañilería (Fig.2.1), tres de los cuales fueron arriostrados mediante columnas colocadas en sus bordes verticales y con distinta disposición y forma de anclaje del refuerzo vertical. En los tres parapetos arriostrados, se trató de simular el reforzamiento de un parapeto existente real hecho de albañilería simple, construyendo en primer lugar la albañilería, dejando dientes en sus extremos, para después instalar el refuerzo vertical y vaciar el concreto de las columnas. En un caso real habría que picar la albañilería en forma dentada en la zona donde irán las columnas.

A continuación se presentan las características de los parapetos:

- Los ladrillos usados para la construcción de los parapetos fueron del tipo King Kong de 18 huecos. Estas unidades son absorbentes de agua, por lo que para evitar que el mortero se endurezca por el agua succionada por los ladrillos, hubo que regarlas durante media hora unas 10 horas antes de asentarlas (Ref.1).
- El acero usado para el refuerzo de las columnas es corrugado y de grado 60 ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$).
- La proporción en volumen del mortero empleado fue 1:5 (1 parte de cemento por cinco de arena gruesa).
- El concreto utilizado para las columnetas y la reparación del anillo de cimentación tuvo una resistencia nominal de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Todos los parapetos tuvieron una altura de 1.00 m, una longitud total de 1.2m y un espesor de 0.12m, no estuvieron tarrajeados.
- El parapeto denominado **M2**, es el patrón de comparación ya que representa a los parapetos que carecen de arriostres (albañilería simple).
- El parapeto denominado **M1**, fue arriostrado con dos columnetas en sus extremos de 0.12m de ancho, reforzadas con una varilla de 8mm de diámetro, colocadas en el centro de la columneta y anclada con epóxico en una perforación hecha en la cimentación (Fig.2.2), de 1cm de diámetro y una profundidad de 15cm.

- El parapeto **M3**, fue arriostrado con dos columnetas en sus extremos de 0.12m de ancho, reforzadas con dos varillas de $\varnothing 1/4$ " de diámetro, colocadas en el centro de la columneta en la dirección del lado más débil. Estas varillas fueron amarradas con estribos de $\varnothing 1/4$ " con ganchos de 180° y anclaron químicamente con epóxico en un hueco hecho en la cimentación como se observa en la Fig.2.3, de 5x10cm y 10cm de profundidad.
- El parapeto **M4** fue muy similar a M3, excepto en el anclaje del refuerzo vertical. En este caso, las dos varillas de $\varnothing 1/4$ " de diámetro anclaron químicamente con epóxico en dos (2) perforaciones hechas en la cimentación, como se observa en la Fig.2.4, de 1cm de diámetro y 15cm de profundidad.

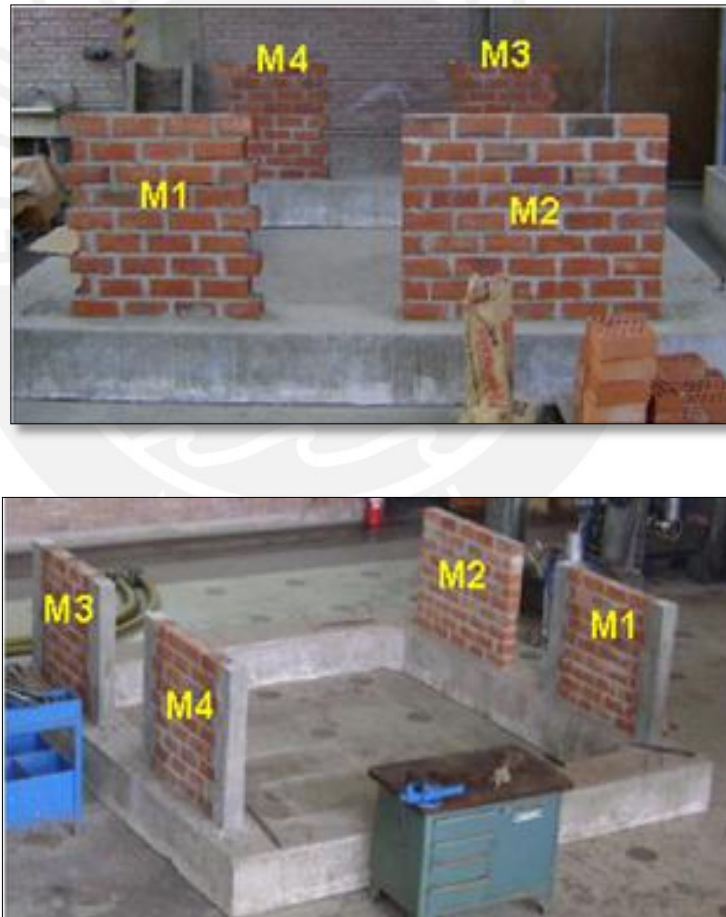


Figura 2.1. Parapetos analizados. Primero se construyó la albañilería sobre un anillo de concreto, después se construyeron las columnetas.

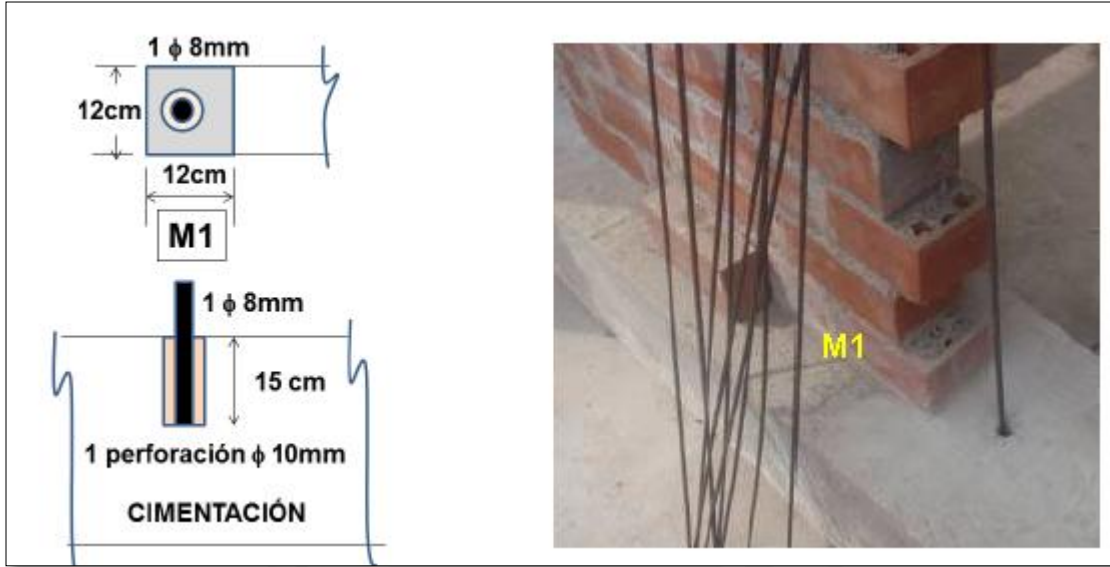


Figura 2.2. Refuerzo y anclaje en columnas del parapeto M1.

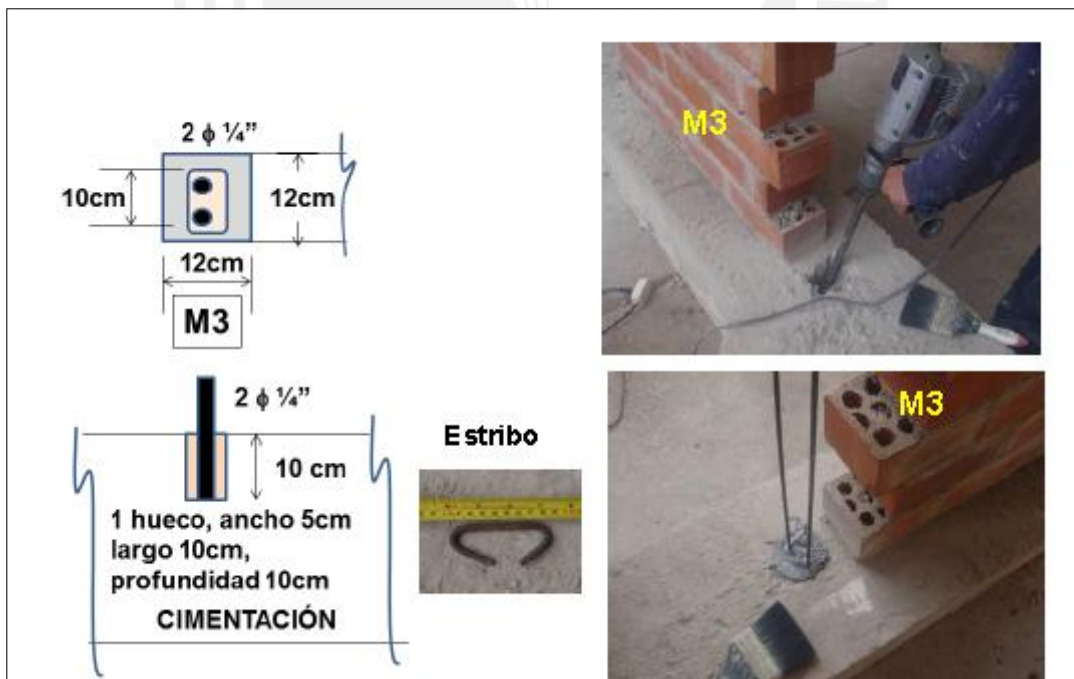


Figura 2.3. Refuerzo y anclaje en columnas del parapeto M3.

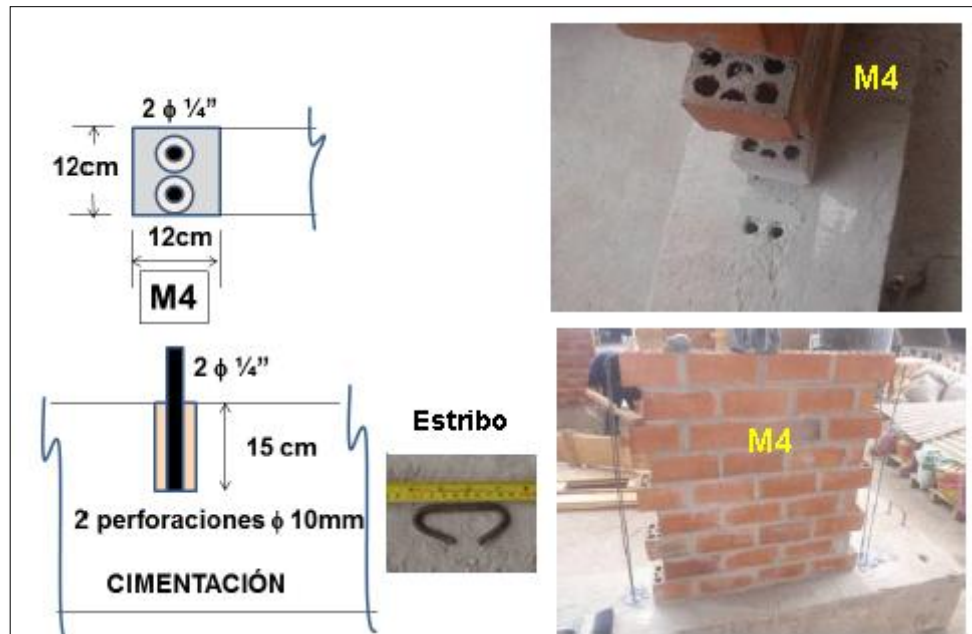


Figura 2.4. Refuerzo y anclaje en columnas del parapeto M4.

2.2 Anillo de cimentación

Se usó un anillo de cimentación pre existente de forma cuadrada, hecho de concreto armado, con dimensiones de 3.60 x 3.60 m y una sección transversal de 0.3 x 0.3 m. Allí se construyeron los 4 especímenes anclándose químicamente el refuerzo vertical de las columnetas correspondientes a los parapetos M1, M3 y M4 (figuras 2.2 a 2.4).

2.3 Mano de obra

Para la construcción de los 4 parapetos, y la perforación de huecos para anclajes mediante taladro eléctrico, se hizo con dos personas (1 operario y 1 ayudante) y se usó la misma mano de obra en todos los casos.

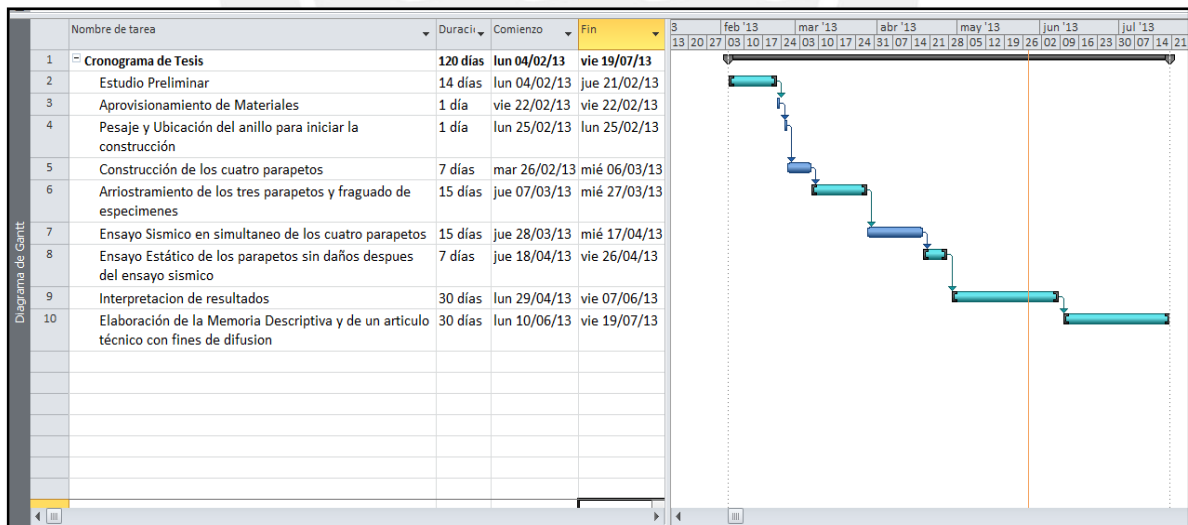
Para el ensayo de los especímenes, el personal técnico y los equipos fueron proporcionados por el Laboratorio de Estructuras.

2.4 Planificación del proyecto

Para un buen control y seguimiento se elaboró un cronograma del proyecto, teniendo en cuenta las siguientes actividades.

1. Estudio Preliminar. Elaboración de planos de especímenes y dispositivos de ensayo: 14 días.
2. Aprovechamiento de materiales: 1 día.
3. Pesaje y ubicación del anillo para iniciar la construcción: 1 día
4. Construcción de los 4 parapetos a escala natural: 7 días.
5. Arriostamiento de 3 parapetos y fraguado de especímenes: 15 días
6. Ensayo sísmico en simultáneo de los 4 parapetos: 15 días
7. Ensayo estático de dos parapetos que quedaron sin daños después del ensayo sísmico: 7 días
8. Interpretación de resultados: 30 días
9. Elaboración de la Memoria Descriptiva y de un artículo técnico con fines de difusión: 30 días.

El cronograma contempló como tiempo de ejecución **120 días**.



Capítulo 3 MATERIALES UTILIZADOS

3.1 Unidades de albañilería

Se utilizaron unidades de albañilería sólida o maciza de arcilla de fabricación industrial, las cuales son las que se usaron en muros confinados y en la zona de mayor sismicidad (zona 3). Su materia prima es arcilla, comercialmente se les denomina Ladrillos King Kong y sus características aparecen en la Tabla 3.1.

Tabla N°3.1. Características de King Kong - Industrial.

Unidad de albañilería	Dimensiones en cm	Peso en kg	Piezas x m ²
King Kong Industrial	9 x 12 x 24	3.8	36 en aparejo de soga

3.2 Concreto

Los elementos de arriostre, es decir las columnetas de concreto armado, tuvieron una resistencia nominal a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la cual es mayor que el valor mínimo ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$) especificado por la norma E.070 de albañilería (Ref.1). Este concreto fue preparado en una mezcladora mecánica (Fig.3.1).



Figura 3.1. Elaboración del concreto.

3.3 Mortero

El mortero, en una proporción cemento-arena gruesa 1:5, es utilizado para adherir las distintas unidades de albañilería (Fig.3.2), formándose un material compuesto denominado “albañilería simple”. La relación agua/cemento carece de importancia, mayor relevancia tiene la cantidad de agua necesaria para alcanzar una trabajabilidad adecuada.



Figura 3.2. Colocación de mortero entre las unidades de albañilería en aparejo de sogá.

3.4 Acero de refuerzo

El tipo de acero empleado para reforzar los elementos de concreto que arriostran la albañilería estuvo compuesto por barras de sección circular corrugadas con esfuerzo nominal de fluencia de 420MPa (Grado 60).

Para el refuerzo vertical se emplearon dos diámetros: 8mm en M1 y $\frac{1}{4}$ " en M3 y M4.

Además se usaron estribos de montaje con ganchos a 180° de $\frac{1}{4}$ " (Fig. 3.3 y 3.4).



Figura 3.3. Colocación de estribos tipo gancho.

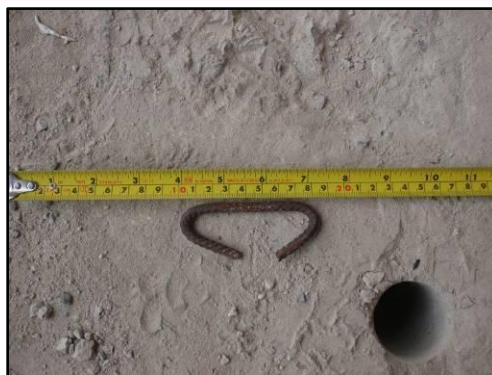


Figura 3.4. Estribo ¼” tipo gancho.

3.5 Epóxico (Euco #452 Gel)

Se usó al epóxico Euco 452 Gel (Fig.3.5 y Ref.5) para anclar químicamente las varillas de refuerzo vertical de las columnetas en la cimentación.

Este epóxico es un adhesivo para elementos endurecidos y de distinta calidad, además es insensible a la humedad y puede usarse en superficies secas o mojadas. Cumple con los requerimientos de ASTM C-881-90, Tipos I, II, IV y VI, Grado 3, Clases B, C, D, E, y F. Su uso cumple con ACI-503.1, 503.2, 503.3 y 503.4 y también con los requerimientos de ASTM C-883 y ASTM C-884 (información del fabricante).

Textualmente el fabricante indica lo siguiente (Ref.5): *“para la instalación de anclajes, inserte la punta mezcladora estática y llene el hoyo desde abajo, lentamente retirando la punta a medida que se dosifica el epóxico hasta que el hoyo esté lleno casi hasta la mitad. Inserte el anclaje con un movimiento lento y giratorio para garantizar contacto completo con el epóxico sin vacíos de aire. Estabilice el anclaje hasta que se haya curado el epóxico”*. Esta especificación se siguió para anclar las varillas de las columnetas, previa limpieza con aire comprimido de las perforaciones hechas en la cimentación.



Figura 3.5. Euco #452 Gel



Figura 3.6. Perforaciones limpias y anclaje de varillas con Euco #452 Gel

Capítulo 4 DISEÑO DE LOS PARAPETOS

4.1 Generalidades

Según la norma E.070 de albañilería (Ref.1), capítulo 9, se verificó la seguridad al volteo ante acciones perpendiculares al plano tanto en los muros portantes como en los no portantes (cercos, tabiques y parapetos).

En la investigación se tomó el caso de los parapetos que carecen de arriostres y se planteó reforzarlos con columnas colocadas en los extremos, después se calculó las varillas que requieren las columnas de arriostre (también llamadas “columnetas”).

4.2 Carga perpendicular aplicada al muro

Las cargas sísmicas perpendiculares a la albañilería (w en kg/m^2 , Fig.4.1) se distribuyen a los arriostres mediante la denominada “regla del sobre” (Fig.4.2) y según la norma E.070 (Ref.1) dicha carga se proporciona para condiciones de servicio, debiéndose amplificar por 1.25 para obtener las cargas últimas que aparecen en el artículo 23 de la norma sísmica E.030 (Ref.2).

4.2.1 Carga perpendicular a la albañilería

De acuerdo a la Ref.1, la carga sísmica perpendicular al plano del parapeto es:

$$w = 0.8 Z U C_1 \gamma e$$

Dónde:

Z: factor de zona sísmica, para la costa $Z = 0.4$ (Ref.2)

U: factor de importancia, para viviendas y oficinas $U = 1.0$ (Ref.2)

C_1 : coeficiente sísmico, para elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación $C_1 = 1.3$ (Ref.2)

γ : peso volumétrico de la albañilería, $\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$

e: espesor bruto del muro (incluyendo tarrajeos), $e = 0.12 \text{ m}$

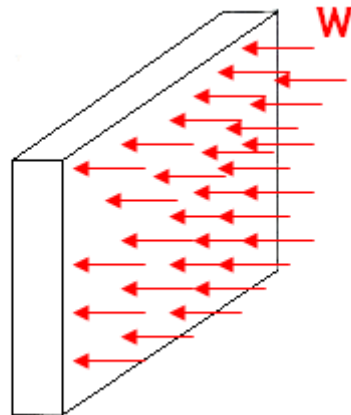


Figura 4.1. Esquema de carga sísmica perpendicular.

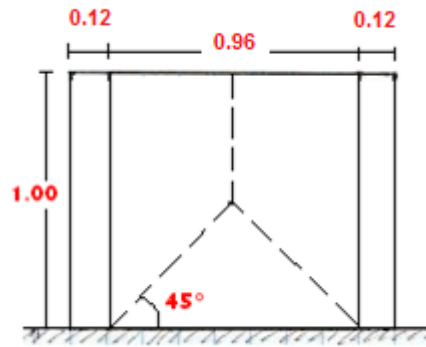


Figura 4.2. Esquema de distribución de carga “regla del sobre”.

Reemplazando los valores descritos anteriormente se tiene:

$$w = 0.8 \times 0.4 \times 1.0 \times 1.3 \times 1800 \times 0.12$$

$$w = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$wu = 1.25 \times 90 = 112.5 \text{ kg/m}^2$$

4.2.2 Evaluación del parapeto no arriostrado (M2)

Este parapeto al carecer de arriostres verticales se comporta como un elemento en voladizo, con una falla por flexión en su base. Se determinó la carga (wf_{M2}) de falla de este murete, considerando que la Ref.1 especifica una resistencia a tracción por flexión admisible (σ_{adm}) de $1.5 \text{ kg/cm}^2 = 15000 \text{ kg/m}^2$.

Teniendo las siguientes características del parapeto:

L: longitud del murete (1.2m).

h: altura del murete (1.0m).

t: espesor del murete (0.12m)

F: fuerza sísmica total actuante en el centroide del parapeto

$$F = wf_{M2} \times h \times L$$

$$F = wf_{M2} \times 1 \times 1.2 = 1.2wf_{M2}$$

M: momento flector en la base

$$M = F \times \frac{h}{2}$$

$$M = 1.2wf_{M2} \times \frac{1}{2} = 0.6wf_{M2}$$

y: distancia desde el eje del muro a la fibra extrema traccionada

$$y = \frac{t}{2} = \frac{0.12}{2} = 0.06m$$

I: momento de inercia en la dirección débil del muro

$$I = \frac{L \times t^3}{12} = 0.00017m^4$$

σ : esfuerzo de tracción por flexión actuante

$$\sigma = \frac{M \times y}{I}$$

$$\sigma = \frac{0.6wf_{M2} \times 0.06}{0.00017} = 208wf_{M2}$$

Igualando esfuerzo admisible con el esfuerzo de tracción actuante (σ), se obtiene:

$$\sigma_{adm} = 208wf_{M2}$$

$$15000 \text{ kg/m}^2 = 208wf_{M2}$$

$$wf_{M2} = 72 \text{ kg/m}^2$$

Como la resistencia admisible de M2: $wf_{M2} = 72 \text{ kg/m}^2$ es menor que la carga de diseño (90 kg/m^2 , ver acápite 4.2.1), quiere decir que el parapeto M2 necesita ser arriostrado, acción que se consideró en M1, M3 y M4.

4.2.3 Evaluación elástica de los arriostres y de la albañilería en M1, M3 y M4

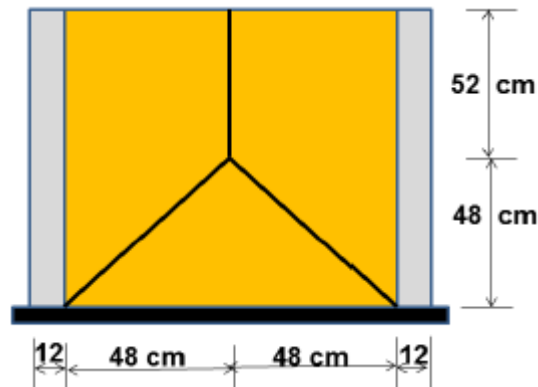


Figura 4.3. Albañilería arriostrada y esquema de distribución de carga.

➤ Verificación de la albañilería

El momento actuante en la zona central superior de la albañilería (zona más crítica a flexión), está dado por la norma E.070 (Ref.1):

$$M_s = m w a^2$$

Dónde:

m: coeficiente de momento adimensional, indicado en la tabla 12 de la norma E0.70 (Ref.1)

$m = 0.112$ (caso de tres bordes arriostrados con $h/a = 1/0.96 = 1.04$)

a: dimensión crítica del paño de albañilería, o longitud del borde libre, $a = 0.96\text{m}$

$$M_s = 0.112 \times 90 \times 0.96^2$$

$$M_s = 9.3 \text{ kg} - \text{m/m}$$

El esfuerzo de tracción por flexión producido por M_s está dado por:

$$\sigma = \frac{6 \times M_s}{t^2}$$

$$\sigma = \frac{6 \times 9.3}{0.12^2} = 3875 \text{ kg/m}^2 = 0.39 \text{ kg/cm}^2$$

Puesto que σ es menor que la resistencia admisible a tracción por flexión de la albañilería simple (1.5 kg/cm^2 , Ref.1), la albañilería no se agrietará en su zona superior, hasta que se alcance una carga mayor que

$$w_{fa} = 90 \times \left(\frac{1.5}{0.39} \right)$$

$$w_{fa} = 346 \text{ kg/m}^2$$

➤ Verificación a las columnas de arriostre

La carga por columna proveniente de la albañilería (Fig.4.3) es:

$$w_a = w \times 0.48$$

$$w_a = 90 \times 0.48 = 43.2 \text{ kg/m}$$

Por otro lado, puesto que la columna de sección transversal $0.12 \times 0.12\text{m}$ tiene masa, habrá una carga uniformemente distribuida sobre ella (Fig.4.4), de magnitud:

$$w_c = 0.8 \times 0.4 \times 1.0 \times 1.3 \times 2400 \times 0.12 \times 0.12 = 14.4 \text{ kg/m}$$

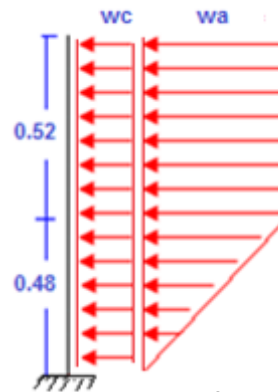


Figura 4.4. Esquema de distribución de carga en columnas.

El momento que tendría cada columna en su base es:

$$M_s = 43.2 \times 0.48 \times 0.5 \times \frac{2 \times 0.48}{3} + 43.2 \times 0.52 \times (0.48 + 0.52 \times 0.5) + 14.4 \times 1 \times 1/2$$

$$M_s = 3.3 + 16.6 + 7.2$$

$$M_s = 27.1 \text{ kg} - \text{m}$$

$$\mathbf{M_u = 1.25 \times 27.1 = 33.9 \text{ kg} - \text{m}}$$

El esfuerzo de tracción por flexión en la base de la columna debido al momento M_s es:

$$\sigma = \frac{M_s \times y}{I}$$

Dónde:

y: distancia desde el eje de la columna a la fibra extrema traccionada

$$y = \frac{t}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ cm}$$

I: momento de inercia de la columna en la dirección perpendicular al muro

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{12 \times 12^3}{12} = 1728 \text{ cm}^4$$

Por lo tanto:

$$\sigma = \frac{2714 \times 6}{1728} = 9.4 \text{ kg/cm}^2$$

Este valor es inferior a la resistencia a tracción por flexión del concreto:

$$\sigma_{\text{concreto}} = 2 \times \sqrt{f'c} = 2 \times \sqrt{210} = 29 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo que el concreto se fisuraría para una carga mayor que:

$$wfc = 90 \times \left(\frac{29}{9.4}\right)$$

$$wfc = 278 \text{ kg/m}^2$$

Puesto que “wfc” es menor que “wfa”, primero se agrietaría la base de la columna.

4.3 Diseño de columnas de arriostre

En el acápite 4.2.3 se demostró que primero se agrietaba la base de la columna, lo cual haría que también se articule la base de la albañilería, cambiando el mecanismo de falla mostrado en la Fig.4.3 a otro que es la de un muro en voladizo agrietado en su base, donde la resistencia a carga transversal al plano está proporcionada por el refuerzo vertical existente en las columnetas.

Se tiene dos casos de refuerzo a flexión en los parapetos el primer caso presenta un solo refuerzo de 8mm alojado en el centro de la columneta (parapeto M1), mientras que en el segundo caso (parapetos M3 y M4, Fig.4.5) existen dos varillas de ¼” dispuestas en la dirección débil del parapeto.

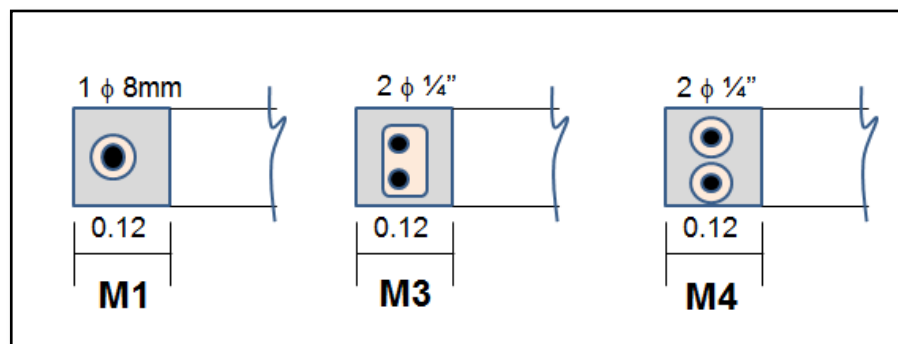


Figura 4.5. Esquema de distribución de refuerzo en columnas de arriostre.

4.3.1 Nomenclatura

En la Fig.4.7 se presenta la nomenclatura a utilizar, donde:

d: distancia entre el eje de la varilla traccionada y el borde extremo comprimido

b: ancho de la columneta (12 cm)

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$

As: área del refuerzo vertical traccionado

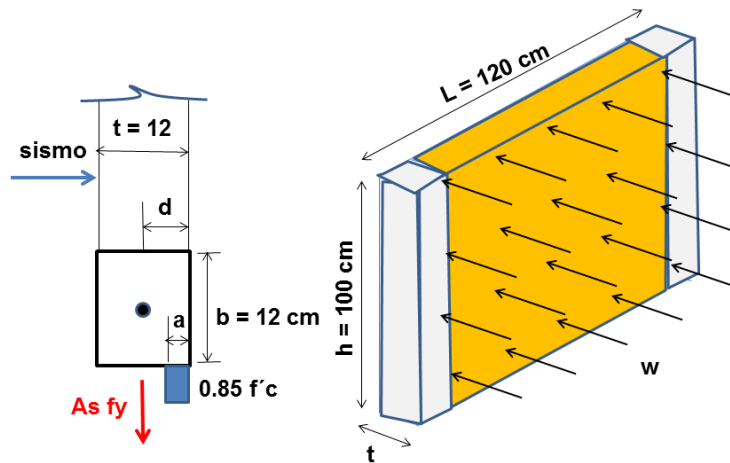


Figura 4.6. Esquema de cuerpo libre en columna de arriostre caso 1.

4.3.2 Caso 1, refuerzo 1 ϕ 8 mm (murete M1)

Para este caso:

$d = 6 \text{ cm}$

$As = 0.5 \text{ cm}^2$

Por equilibrio de fuerzas verticales se obtiene “a”

$$As \times fy = 0.85 \times f'c \times a \times b$$

Reemplazando valores:

$$0.5 \times 4200 = 0.85 \times 210 \times a \times 12$$

$$a = 0.98 \text{ cm}$$

Luego, el momento nominal resistente es:

$$Mn = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Reemplazando valores:

$$Mn = 0.5 \times 4200 \times \left(6 - \frac{0.98}{2}\right) = 11571 \text{ kgxcm} = 116 \text{ kgxm}$$

Finalmente, la carga que produce la fluencia del refuerzo se obtiene por equilibrio de momentos en la base:

$$2 \times Mn = w \times L \times h \times \frac{h}{2}$$

$$w = \frac{4 \times Mn}{L \times h^2}$$

Reemplazando valores:

$$w = \frac{4 \times 116}{1.2 \times 1^2} = 387 \text{ kg/m}^2$$

Este resultado supera a la carga última de diseño ($w_u = 112.5 \text{ kg/m}^2$, acápite 4.2.1), por lo tanto, el refuerzo es excesivo.

4.3.3 Caso 2, refuerzo $2 \phi \frac{1}{4}$ " (parapetos M3 y M4)

En la Fig.4.7 se presenta el esquema del presente caso.

Para este caso:

$$d = 9 \text{ cm}$$

$$As = 0.32 \text{ cm}^2$$

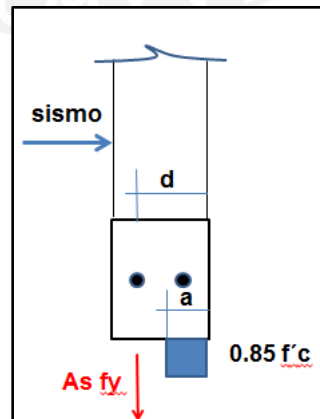


Figura 4.7. Esquema de cuerpo libre en columna de arriostre caso 2.

Por equilibrio de fuerzas verticales resultantes de la sección se obtiene “a”

$$A_s \times f_y = 0.85 \times f'_c \times a \times b$$

Reemplazando valores:

$$0.32 \times 4200 = 0.85 \times 210 \times a \times 12$$

$$a = 0.63 \text{ cm}$$

Luego, el momento nominal resistente es:

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Reemplazando valores:

$$M_n = 0.32 \times 4200 \times \left(9 - \frac{0.63}{2} \right) = 11673 \text{ kgxcm} = 117 \text{ kgxm}$$

Finalmente, la carga que produce la fluencia del refuerzo se obtiene por equilibrio

$$2 \times M_n = w \times L \times \frac{h^2}{2}$$

$$w = \frac{4 \times M_n}{L \times h^2}$$

$$w = \frac{4 \times 117}{1.2 \times 1^2} = 390 \text{ kg/m}^2$$

Este valor supera a la carga última de diseño ($w_u = 112.5 \text{ kg/m}^2$, acápite 4.2.1), por lo tanto, el refuerzo es excesivo. Asimismo, la resistencia a la fluencia del caso 2 (390 kg/m^2) es muy parecido al obtenido para el caso 1 (387 kg/m^2).

4.3.4 Predicción de resultados experimentales

En primer lugar el parapeto de albañilería simple M2 debe ser arriostrado, en caso contrario colapsará.

Cabe señalar que las resistencias a flexión para las dos disposiciones de refuerzo vertical consideradas son muy parecidas, por lo que los tres muretes arriostrados (M1, M3 y M4) deberían tener un comportamiento sísmico parecido, salvo que existan problemas de anclaje del refuerzo vertical.

Por otro lado, puesto que existe sobre resistencia a flexión, se espera que en el ensayo la carga sísmica pueda superar a la carga última de diseño ($w_u = 112.5\text{kg/m}^2$), así como a la carga que produce la fisura en tracción por flexión en la base de la columna (278kg/m^2), sin que se produzca fisuras de tracción por flexión en el borde central superior de la albañilería, ya que su comportamiento cambiaría, de una losa arriostrada en tres bordes (Fig.4.3) a un muro en voladizo (Fig.4.1).

Los parapetos arriostrados podrían alcanzar una resistencia del orden de 390kg/m^2 , asociada a la fluencia del refuerzo vertical, e incluso podría ser mayor (50% más) si es que el refuerzo vertical ingresara en su zona de endurecimiento y no hubiese falla por anclaje.



Capítulo 5 CONSTRUCCIÓN DE LOS PARAPETOS

5.1 Características similares de los parapetos

Se construyeron cuatro parapetos (M1, M2, M3, M4) de dimensiones: 1.20 m de largo por 1.00 m de alto empleando ladrillos King Kong de 0.12 m. de espesor, sobre un anillo de cimentación pre existente en el Laboratorio de Estructuras. A continuación se explica el procedimiento constructivo de cada uno de ellos.

5.2 Características distintas de los parapetos

Se explica a continuación como se construyeron y reforzaron los parapetos con arriostres verticales (columnetas).

Parapeto M1

Este parapeto está reforzado con 2 columnetas en sus extremos, cada uno con un refuerzo vertical de diámetro 8 mm con un anclaje químico de la varilla de 150 mm en su base. Este caso es el más sencillo de construir, porque se usa una sola varilla sin estribos, anclada en una perforación.

Parapeto M2

Este parapeto representa el caso de un elemento no arriostrado, el cual está conformado por ladrillos King Kong adheridos con mortero (albañilería simple).

Parapeto M3

Este parapeto está reforzado con dos columnetas al igual que el parapeto M1, pero cada una de ellas tiene dos varillas verticales de diámetro $\frac{1}{4}$ ", estribadas con ganchos a 180° de $\frac{1}{4}$ ", con un anclaje de 100 mm sobre una perforación en la cimentación de 50x100 mm.

Parapeto M4

Este parapeto esta reforzado con dos columnetas al igual que el parapeto M3 con dos varillas verticales de diámetro $\frac{1}{4}$ ", estribadas con ganchos a 180° de $\frac{1}{4}$ ", pero con un anclaje de la varilla hecha en una perforación de 150 mm de profundidad.

5.3 Construcción de los parapetos

En la construcción de los 4 parapetos se empleó mano de obra calificada, porque la manera de como haya sido construida la albañilería afectará el comportamiento sísmico.

5.3.1 Procedimiento seguido en el Parapeto M1

- Se limpió la superficie superior de la viga de cimentación con escoba.
- Se colocó el mortero con un mismo ancho del ladrillo King Kong sobre la superficie de la viga y con un máximo de longitud de 800 mm para evitar que se endurezca rápidamente, otra consideración es que las juntas horizontales tuvieron un espesor como mínimo 10 mm y máximo 15 mm.



Figura 5.1. Construcción de la primera hilada.

- Se procedió con el asentado de los ladrillos King Kong con sus respectivas juntas verticales que tuvieron los mismos mínimos y máximos dados en el párrafo anterior.
- A partir de la segunda hilada (Fig.5,2) se utilizó la plomada para garantizar la verticalidad del muro y el escantillón para no excedernos en el espesor de las juntas horizontales.



Figura 5.2. Construcción de la segunda hilada.

- Además para alinear horizontalmente el asentado de las unidades se hizo uso del cordel.
- Se consideró para la conexión columna – albañilería disposición dentada con una longitud de la unidad saliente no mayor que 50mm (Fig.5.3).



Figura 5.3. Conexión dentada albañilería – columna.

- Una vez que se concluyó el muro de albañilería se procedió a reforzar el parapeto con columnetas (Fig.5.4). En primer lugar se hizo una perforación de 10 mm de diámetro con una profundidad de 150 mm en el centro de la columneta de 12x12 cm. Luego se limpió la perforación con aire comprimido, para después llenar la perforación hasta media altura con epóxico Euco #452 Gel, para finalmente anclar el refuerzo vertical de 8mm girándolo, sujetándolo con la mano hasta que logre estabilizar.

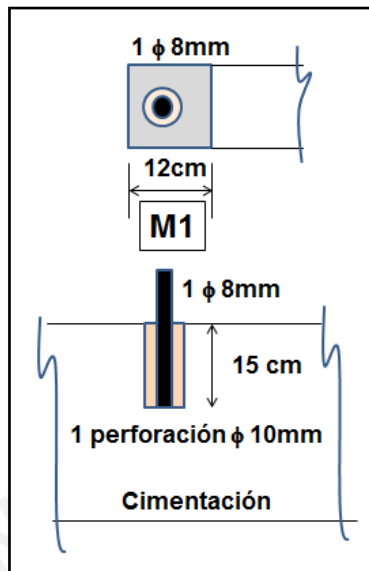


Figura 5.4. Esquema de anclaje del refuerzo de 8mm

- Luego se procedió a encofrar la columneta (Fig.5.5) de dimensiones de 120mm x 120mm.



Figura 5.5. Encofrado de columneta con el refuerzo de 8mm.

- Se procedió a vaciar el concreto de las columnetas con una resistencia nominal a compresión igual a $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

5.3.2 Procedimiento constructivo del Parapeto M2

- Se limpió la superficie superior de la viga de cimentación con escoba.
- Se colocó el mortero con un mismo ancho del ladrillo King Kong sobre la superficie de la viga y con un máximo de longitud de 800 mm para evitar que se endurezca rápidamente, otra consideración es que las juntas horizontales tuvieron como mínimo 10 mm y máximo 15 mm.
- Se procedió con el asentado de los ladrillos King Kong con sus respectivas juntas verticales que tuvieron los mismos valores mínimos y máximos dados en el párrafo anterior.
- A partir de la segunda hilada se utilizó la plomada para garantizar la verticalidad del muro y el escantillón para no exceder el espesor de las juntas horizontales.
- Además, para alinear horizontalmente el asentado de las unidades se hizo uso del cordel.



Figura 5.6. Parapeto M2 sin arriostres verticales.

5.3.3 Procedimiento constructivo del Parapeto M3

- La albañilería tuvo el procedimiento descrito para M1 (acápite 5.3.1).
- Una vez que se concluyó el muro de albañilería se procedió a reforzar el parapeto con columnetas. En primer lugar se hizo un hueco (Fig.5.7) en la cimentación de ancho 50 mm, largo de 100mm y profundidad de 100 mm, limpiándolo con aire comprimido. Luego se llenó el hueco con la resina epóxica Euco #452 Gel, para

enseguida anclar las dos varillas verticales de $\frac{1}{4}$ ", sujetándolas con la mano hasta que lleguen a estabilizarse. Posteriormente se colocaron los estribos de montaje.



Figura 5.7. Huecos que se realizaron para anclar los refuerzos de $\frac{1}{4}$ ".

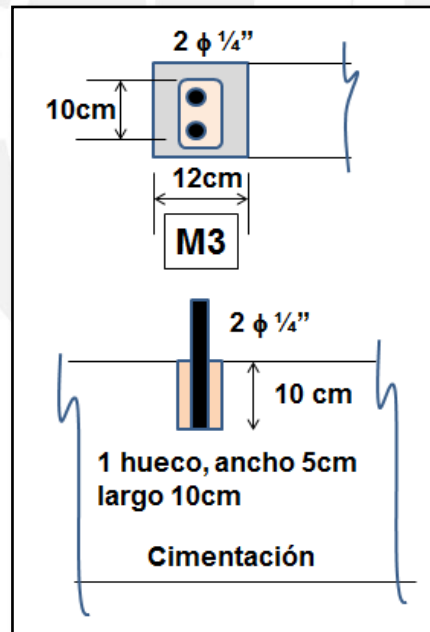


Figura 5.8. Esquema de anclaje de los refuerzos de $\frac{1}{4}$ ".

- Luego se procedió a encofrar la columneta de dimensiones de 120mm x 120mm.
- Se procedió a vaciar el concreto de las columnetas con una resistencia nominal a compresión igual a $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

5.3.4 Procedimiento constructivo del Parapeto M4

- Primero se construyó la albañilería siguiendo el procedimiento descrito para M1 (acápite 5.3.1).
- Una vez que se concluyó el muro de albañilería se procedió a reforzar el parapeto con columnetas. Para esto, se hicieron dos perforaciones de 10 mm de diámetro con una profundidad de 150 mm (Fig.5.9). Se limpiaron con aire comprimido y se llenaron a media altura con el epóxico Euco #452 Gel. Enseguida se procedió a anclar las dos varillas $\frac{1}{4}$ " rotándolas para después sujetarlas con la mano hasta que se estabilicen. Después se colocaron los estribos de montaje.

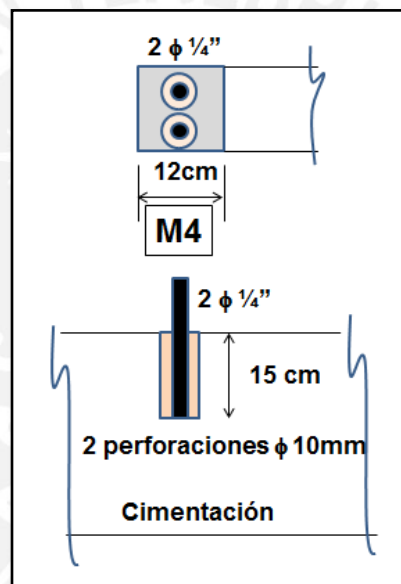


Figura 5.9. Esquema de anclaje de los refuerzos de $\frac{1}{4}$ ".

- Luego se procedió a encofrar la columneta de dimensiones de 120mm x 120mm.
- Finalmente se vació el concreto de las columnetas con una resistencia a compresión nominal de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Capítulo 6 ENSAYOS DE CARGA SÍSMICA

6.1 Descripción del ensayo e instrumentación

Para el ensayo dinámico de disimulación sísmica en la mesa vibradora se utilizó la señal correspondiente a la componente L del terremoto del 31 de mayo de 1970. La intensidad del movimiento fue variable en las tres fases del ensayo, en tal forma se trató de representar sismos leves, moderados y severos como se detalla en 6.2.

Para dicho ensayo se utilizaron 2 tipos de instrumentos: los acelerómetros y LVDT. Los acelerómetros sirven para medir la aceleración en el punto donde se encuentra colocado, con respecto a los LVDT son dispositivos de medición de desplazamientos los cuales se eligen de acuerdo al rango de lectura esperado.

El total de instrumentos colocados para este ensayo fue de 4 acelerómetros localizados en el centro de masa de los alfeizares, y 4 LVDT, colocados en la parte superior del murete (Fig.6.1). Aparte se usaron el acelerómetro (Ao) y el LVDT (Do) de la mesa vibradora.



Figura 6.1. Acelerómetro en el centro de masa del parapeto M3.

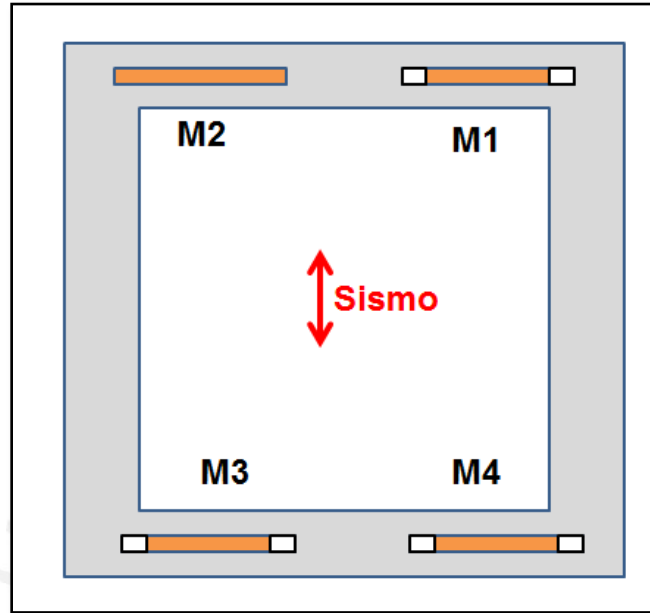


Figura 6.2. Esquema de la ubicación de los parapetos en la mesa vibradora.



Figura 6.3. Dirección del movimiento sísmico, perpendicular al plano de los parapetos.

6.2 Fases del ensayo

Las fases del ensayo correspondieron a un sismo leve, moderado y severo. En los tres casos se usó la señal “mayo 70”, correspondiente a la componente horizontal L del terremoto de 1970 ocurrido en Chimbote, con las siguientes aceleraciones nominales:

Fase 1: $A_{o_{m\acute{a}x}} = 0.6g$

Fase 2: $A_{o_{m\acute{a}x}} = 1.0g$

Fase 3: $A_{o_{m\acute{a}x}} = 1.35g$

6.3 Comportamiento cualitativo de los parapetos

En la fase 1 del ensayo se presentó la falla por flexión y el volcamiento del parapeto M2 (Fig.6.4) el cual fue careció de arriostramiento vertical.

En la fase 2 de ensayo se presentó la falla por flexión en la base del parapeto M4 (Fig.6.5) y en la siguiente fase 3 se produjo su volcamiento (Fig.6.6) al haber fallado el anclaje. En los otros parapetos (M1 y M3) no se presentó daño alguno en estas fases dinámicas.



Figura 6.4. M2-Fase1.



Figura 6.5. M4-Fase2 (grieta en la base)



Figura 6.6 M4-Fase3 (Falla por anclaje del Refuerzo Vertical)

6.4 Comportamiento cuantitativo de los parapetos

Los resultados cuantitativos de los diferentes ensayos dinámicos se presentan respecto al tiempo que duró cada fase de ensayo, y a su vez cada instrumento de medición de los diferentes parapetos proporcionó aceleraciones y desplazamientos en los puntos donde fueron colocados. Dichos resultados se procesaron para poder compararlos con los resultados teóricos previstos y con los resultados entre parapetos.

En el siguiente cuadro (Tabla N°6.1) se presenta, a manera de ejemplo, parte de los resultados obtenidos en una de las fases del ensayo.

Tabla N°6.1 Resultados de ensayos dinámicos.

Ensayo Simulación Sísmica												
INF-LE: 105-2010												
Módulo de ARRIOSTRAMIENTO DE PARAPETOS DE ALBAÑILERIA												
Señal: mayo70 (ur=100 pts/s.)												
Fase 1: 0.6 g												
Velocidad de muestreo: 100 S/seg												
Fecha: 02 julio 2010												
Tiempo (s)	A0 (g)	A1 (g)	A2 (g)	A3 (g)	A4 (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D0 (mm)	Fa (tn)	
0	-0.000206	-0.000221	-0.000068	-0.00019	-0.000247	0.007807	0.00029	-0.000326	-0.000541	0.000145	0.000026	
0.01	0.000023	0.000022	0.000154	0.000048	-0.000002	0.007966	0.000441	0.000041	-0.000448	0.001082	0.00017	
0.02	0.000004	-0.000006	0.000128	0.000027	-0.000029	0.008113	0.000471	0.000562	-0.000375	0.003823	0.00066	
0.03	-0.000203	-0.000242	-0.000073	-0.000194	-0.000267	0.008126	0.000375	0.00094	-0.000344	0.008705	0.002194	
0.04	-0.000384	-0.000446	-0.000189	-0.000393	-0.000478	0.007893	0.000222	0.001069	-0.000372	0.014699	0.006016	
0.05	-0.000332	-0.00039	-0.000188	-0.000347	-0.000425	0.007435	0.000114	0.001106	-0.000459	0.020057	0.012337	
0.06	-0.000012	-0.000034	-0.00003	-0.000014	-0.000058	0.006927	0.000104	0.001334	-0.000578	0.023308	0.01825	
0.07	0.000385	0.000414	0.000665	0.000414	0.000403	0.006589	0.000157	0.001908	-0.000688	0.023461	0.018933	
0.08	0.000604	0.00066	0.001085	0.000656	0.000663	0.006518	0.000193	0.002718	-0.000748	0.019976	0.01231	
0.09	0.000509	0.000552	0.000867	0.000559	0.000562	0.006613	0.00016	0.003441	-0.000742	0.013221	0.00207	
0.1	0.000196	0.000202	0.000234	0.00022	0.000209	0.006661	0.00008	0.003765	-0.000673	0.004828	-0.004649	
0.11	-0.000109	-0.000135	-0.00009	-0.000116	-0.00014	0.006551	0.000023	0.003603	-0.000554	-0.002852	-0.002414	
0.12	-0.000222	-0.000254	-0.000128	-0.000249	-0.000269	0.006398	0.000039	0.003155	-0.000416	-0.00793	0.008946	
0.13	-0.000125	-0.000136	-0.000057	-0.000154	-0.000142	0.006488	0.000117	0.002779	-0.000285	-0.010139	0.024329	
0.14	0.000047	0.000064	0.000162	0.000029	0.000086	0.007058	0.000195	0.002762	-0.000169	-0.011305	0.035745	
0.15	0.000116	0.000151	0.000345	0.000113	0.000203	0.008099	0.00021	0.00311	-0.000057	-0.014486	0.036153	
0.16	-0.000016	0.000019	0.000191	-0.000007	0.000093	0.009315	0.000138	0.003534	0.000061	-0.021936	0.023509	

En el cuadro de resultados se tiene para cada una de las tres fases los siguientes datos: en la columna “Tiempo” se indican los instantes de muestreo de datos en el ensayo con intervalos de 0.01 segundos, en la columna “Ao” va la aceleración de la mesa y en las columnas “A1, A2, A3 y A4” van las aceleraciones medidas con un acelerómetro en cada muro en su centro de masas. La columna “Do” muestra el desplazamiento de la mesa vibratoria, en las columnas siguientes “D1, D2, D3 y D4” se encuentran los desplazamientos absolutos en el punto central superior de cada murete, y por último se presenta en la columna final la fuerza en toneladas del actuador sobre la mesa (Fa).

Luego de haberse ejecutado el experimento, los valores reales de Ao y Do para cada fase del ensayo se muestran en la Tabla 6.2

Tabla N°6.2. Valores de Ao y Do máximos

Fases del Ensayo Dinámico. Valores Reales máximos				
Fase	Ao (g)		Do(mm)	
1	0.49	-0.64	-45.87	60.70
2	0.81	-1.05	-74.72	100.05
3	1.19	-1.47	-100.17	133.59

6.4.1 Cálculo de desplazamientos relativos a la mesa

En esta etapa se procedió a calcular los desplazamientos relativos, o deformación por flexión de los parapetos. Para ello se procedió de la siguiente manera: al desplazamiento absoluto obtenido en la parte superior del parapeto (D_i) se restó el desplazamiento total de la mesa vibratoria (D_o), para un mejor entendimiento se muestra lo expuesto gráficamente en la Fig.6.7.

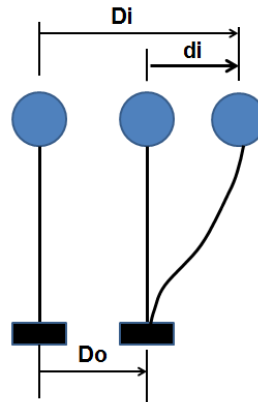


Figura 6.7. Gráfica de desplazamientos

$$d_i = D_i - D_0$$

Donde:

D_i : Desplazamiento absoluto del punto superior del parapeto medido con LVDT

D_0 : Desplazamiento de la mesa vibratoria (medido con el LVDT de la mesa)

d_i : Desplazamiento relativo a la base del parapeto

6.4.2 Definición del instante de colapso

Para los 2 parapetos que colapsaron en el ensayo dinámico (M2 y M4), se observó el video grabado en tiempo real y la historia de desplazamientos, registrándose el tiempo para el cual el desplazamiento se incrementaba fuertemente (Fig.6.8), los datos para el tiempo restante se consideraron nulos. Por ejemplo, la Fig.6.8 corresponde a la fase 1 del ensayo y al murete M2, allí se nota que hasta un tiempo de 4 segundos el desplazamiento D_4 es pequeño y en seguida se incrementa notablemente, lo que indica que este espécimen inició su colapso en $t = 4\text{seg.}$

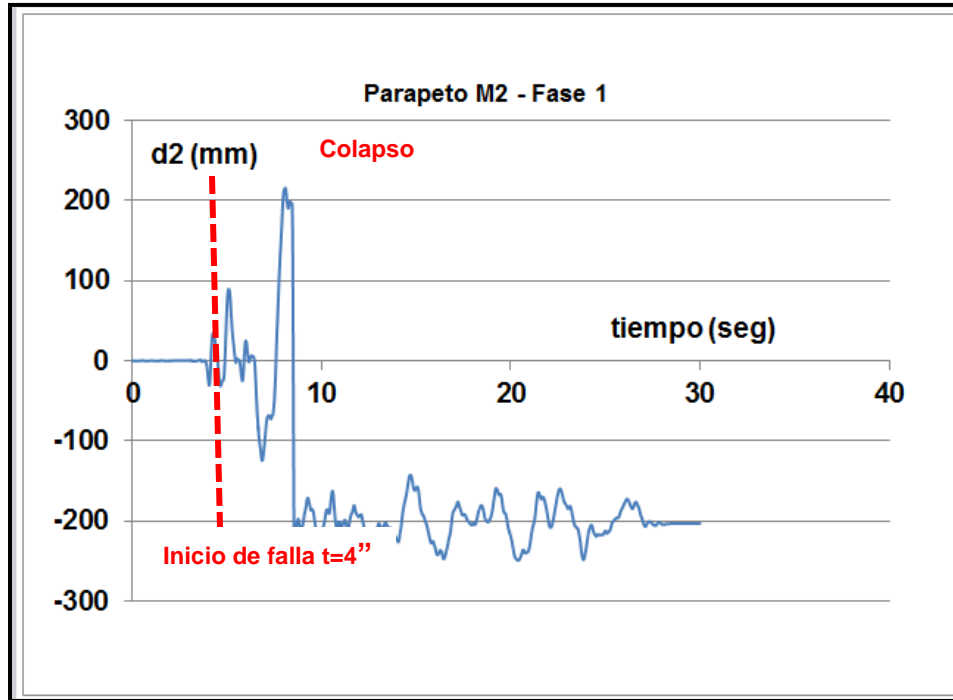


Figura 6.8. Gráfica de Desplazamientos de M2 (no arriostrado) vs Tiempo.

6.4.3 Cálculo de la fuerza sísmica perpendicular al plano

La variación de aceleraciones entre la base y el punto superior de cada parapeto debe haber sido prácticamente lineal, en vista que los desplazamientos relativos a la mesa (d_i) fueron pequeños. Por ello se puede suponer que la carga sísmica actuó uniformemente sobre el parapeto, la resultante se ubica en el centro de masas del murete, donde la aceleración fue medida. Luego se tendrá que la fuerza sísmica total (F_i) podrá encontrarse para cada parapeto “ i ”, con peso P_i , mediante la expresión:

$$F_i = P_i A_i$$

Mientras que la carga uniforme (w_i) podrá obtenerse dividiendo a F_i entre el área del parapeto ($L \times h$):

$$w_i = F_i / (L \times h)$$

En estas expresiones el peso P de cada parapeto M_i es:

$$P(M2) = 1800 \times 1.2 \times 1.0 \times 0.12 = 259.2 \text{ kg}$$

$$P(M1, M3, M4) = 2\gamma_c A_c h + \gamma_a L h t = 2 \times 2400 \times 0.12 \times 0.12 \times 1.0 + 1800 \times 0.96 \times 1.0 \times 0.12 = 276.5 \text{ kg}$$

γ : peso volumétrico de la albañilería ($\gamma = 1,800 \text{ kg/m}^3$)

A_i : aceleración del parapeto ensayado en fracción de la gravedad

L = longitud del parapeto = 1.2m

h = altura del parapeto = 1.0 m

t = espesor del murete = 0.12 m

6.4.4 Gráficas w-d

Las gráficas w-d (Figs. 6.10 a 6.12) fueron elaboradas a la misma escala con fines comparativos

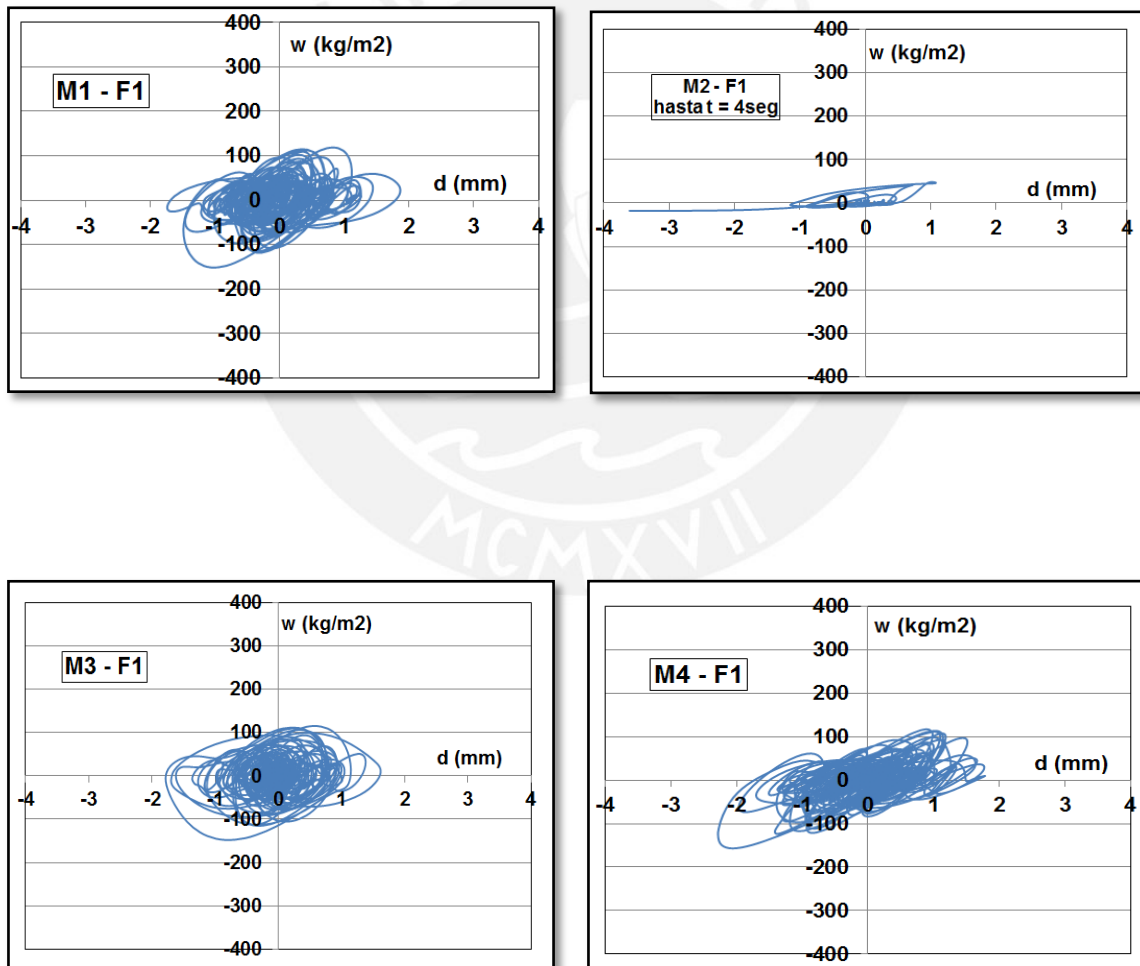


Figura 6.10. Fase 1. Gráficas w-d en M1 a M4. En esta fase colapsó M2 (no arriostrado)

En la fase 1 (Fig.6.10), se nota que los parapetos arriostrados (M1, M3 y M4), tuvieron prácticamente la misma respuesta, mientras que en M2 el desplazamiento creció fuertemente para después volcarse.

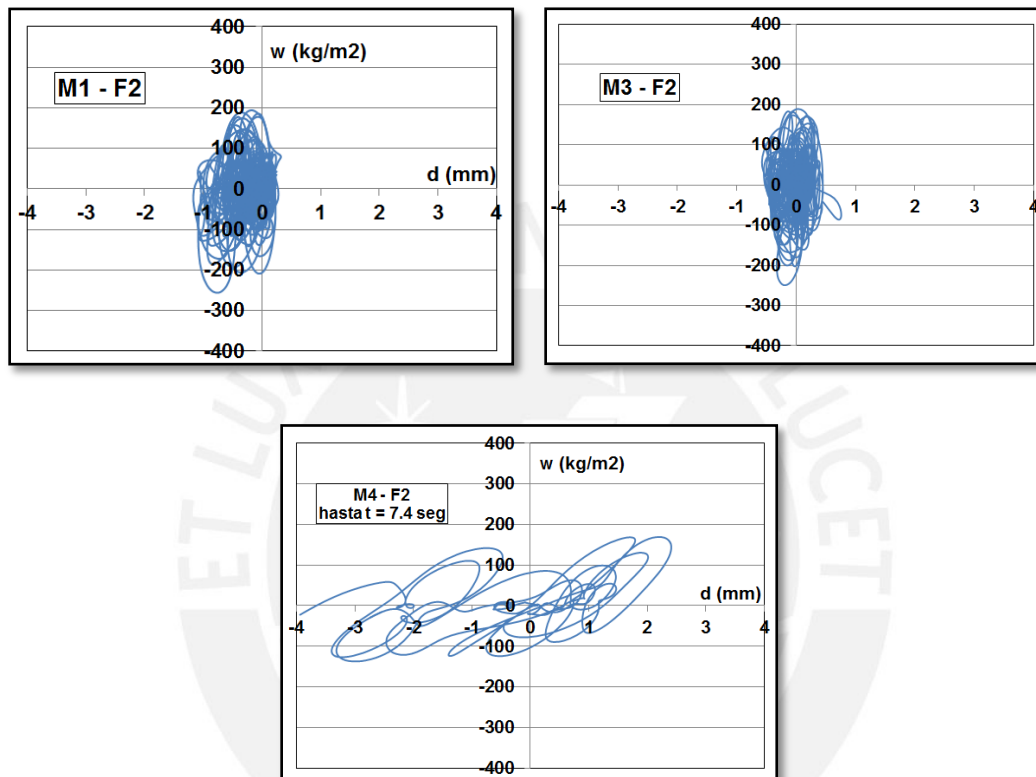


Figura 6.11. Fase 2. Gráficas w - d en M1, M3 y M4. En esta fase se formó una grieta en la base de M4 (Fig.6.5) notándose grandes desplazamientos.

En la fase 2 (Fig.6.11), los parapetos M1 y M3 respondieron de manera similar, mientras que en M4 se inició la falla en su base incrementándose fuertemente el desplazamiento, se retiró D4.

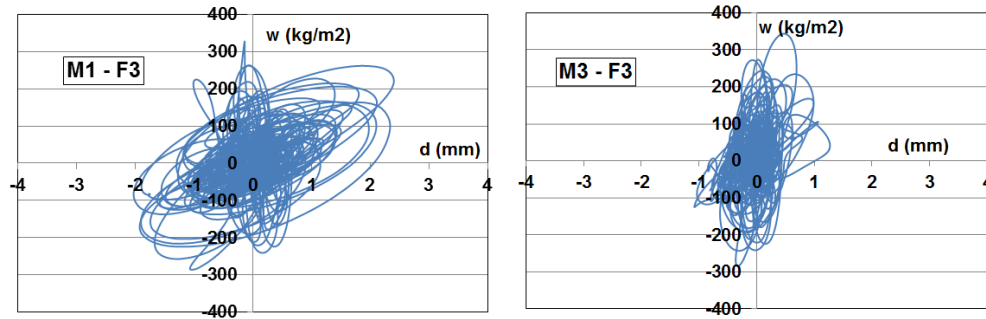


Figura 6.12. Fase 2. Gráficas w-d en M1 y M3. M4 se volcó en esta fase (Fig.6.6)

En la fase 3 (Fig.6.12), los parapetos M1 y M3 respondieron de manera similar, mientras que M4 se volcó.

En la tabla 6.3 se muestran solo los valores máximos de las cargas “w”, se prefirió no tabular los desplazamientos porque estos son pequeños y se usaron LVDT de 200mm de capacidad, lo que podría producir errores de precisión. Más bien la envolvente de cargas máximas (Fig.6.13) fue obtenida graficando los valores de la tabla 6.3: “w” versus la aceleración máxima en la base A_o .

Tabla N°6.3. Fases del Ensayo Dinámico.

Cargas Máximas “w” en Kg/m ² .				
Fase	M1	M2	M3	M4
1 ($A_o = 0.64g$)	151	48	148	157
2 ($A_o = 1.05g$)	255	–	249	167
3 ($A_o = 1.47g$)	328	–	343	–

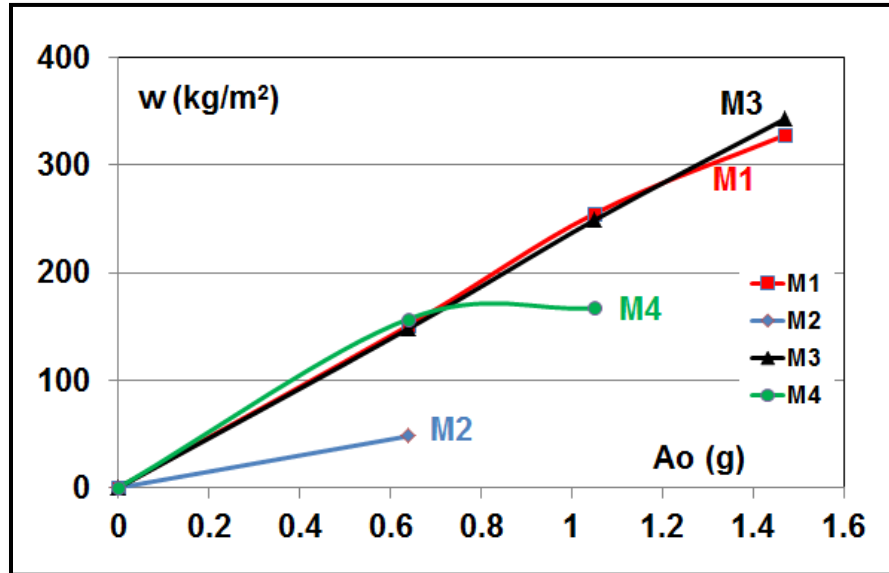


Figura 6.13. Envolvente de Carga Máxima – Aceleración en la base A_o

En la Fig.6.13 se nota una relación lineal de M1 y M3 con la aceleración máxima de la mesa, esto se debe al comportamiento elástico que tuvieron estos muretes en las 3 fases del ensayo sísmico, esto no ocurre con M2 y M4 que terminaron volcándose en las fases 2 y 3, respectivamente.

Capítulo 7 ENSAYOS DE CARGA ESTÁTICA

Como se observó en los ensayos dinámicos los parapetos M1 y M3 fueron los que se mantuvieron sin fallas, con un comportamiento elástico, por ello fueron sometidos a un ensayo estático hasta el colapso de los mismos para conocer su resistencia real.

7.1 Descripción del ensayo carga estática e instrumentación

El ensayo consistió en aplicar en el borde superior de los parapetos M1 y M3 una carga lateral concentrada (F) monotónicamente creciente a una velocidad de 100 kg/min. Adicionalmente, el desplazamiento lateral del punto central superior en los dos parapetos (D) fue medido con LVDT cada 0.25 segundos, durante todo el ensayo.

El equipo e instrumentación consiste en lo siguiente (Fig.7.1):

- Soportes y sensores de desplazamiento (LVDT).
- Gata hidráulica para aplicar la carga lateral.
- Marco de reacción.
- Sistema de adquisición de datos.

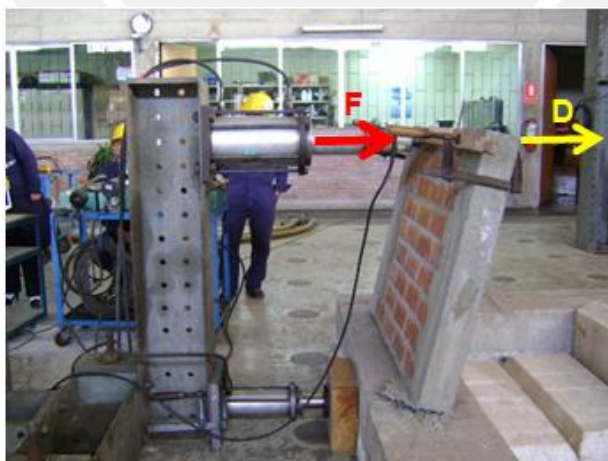


Figura 7.1. Ensayo estático y dispositivos.

7.2 Comportamiento de los parapetos

Los dos parapetos fallaron por flexión en su base y ello se notó cuando los ladrillos de la primera hilada se despegaron de la viga de cimentación, y además al término del ensayo se observó una falla por anclaje del refuerzo vertical de las columnetas (figuras 7.3 y 7.5). Los datos que se proporcionan a continuación corresponden a la máxima carga concentrada localizada en el borde superior del murete, después se obtendrá la carga distribuida equivalente, y al desplazamiento lateral asociado a esta carga máxima.

7.2.1 Ensayo estático Murete M1

El parapeto M1 tuvo una resistencia máxima de $F = 517.75 \text{ kg}$ y un desplazamiento de $D = 33.08 \text{ mm}$.



Figura 7.2. Ensayo estático de parapeto M1



Figura 7.3. Falla por anclaje en M1.

7.2.2 Ensayo estático Murete M3

El parapeto M3 tuvo una resistencia máxima de $F = 231.84$ kg y un desplazamiento de $D = 8.46$ mm.



Figura 7.4. Ensayo estático de parapeto M3



Figura 7.5. Falla por anclaje en M3.

7.3 Gráficas carga-desplazamiento (F-D)

En la Fig.7.6 aparece la gráfica carga-desplazamiento para los parapetos M1 y M3. Allí se nota el mejor comportamiento que tuvo M1 sobre M3, aunque debe señalarse que ambos muretes tuvieron una resistencia por encima de la solicitada por la Norma de Albañilería (Ref.1).

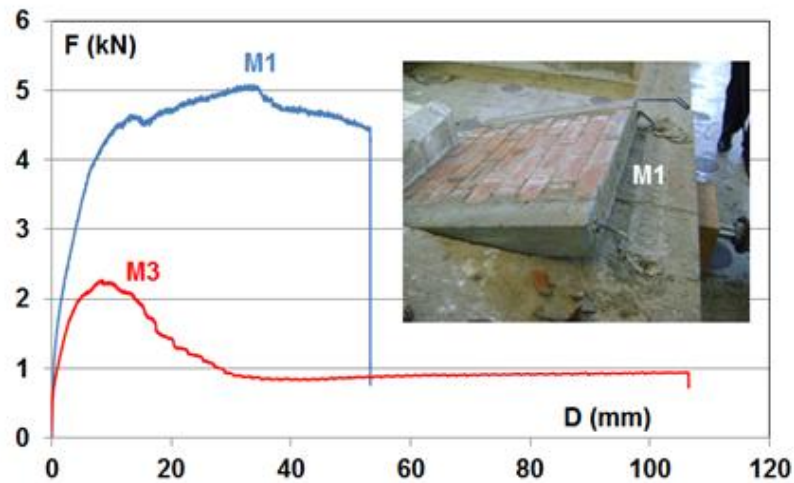
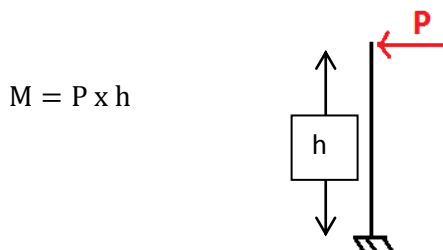


Figura 7.6. Ensayo estático. Gráfica Fuerza vs Desplazamiento Parapetos M1 y M3.

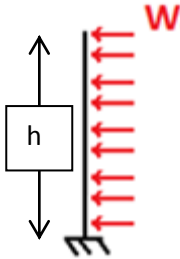
7.4 Carga Elástica equivalente

La carga real que ejerce la fuerza de sismo sobre los parapetos es una carga uniformemente distribuida sobre todo el plano del murete, pero en el ensayo estático se aplicó una carga concentrada en el extremo superior central y, por lo tanto, para poder encontrar una carga equivalente distribuida se compatibilizaron los momentos en la base para cada tipo de carga, a sabiendas que el comportamiento final de estos parapetos es como muros en voladizo.

Momento basal por carga puntual aplicada en el borde superior (ensayo estático):



Momento por carga sísmica real (M):

$$M = w \times L \times h \times \frac{h}{2}$$


Compatibilizando momentos en la base:

$$P \times h = w \times L \times h \times \frac{h}{2}$$

Entonces:

$$w = \frac{2P}{Lh} = 1.67P$$

Donde:

w: es la carga sísmica real distribuida perpendicularmente al plano (kg/m^2)

P: es la carga aplicada en el ensayo estático (kg)

L = 1.2m = longitud del parapeto

h = 1.0m = altura del parapeto

Con los datos de los ensayos y el cálculo de la carga equivalente, se obtuvo el siguiente cuadro:

Tabla N°7.1. Resistencias máxima en el ensayo estático

Descripción	M1	M3
F(kg)	517	232
w (kg/m^2)	864	387

7.5 Comparación de Resistencias Máximas.

Para poder comparar las resistencias máximas, se tuvo en cuenta que la carga última de diseño reglamentario es $w_u = 112 \text{ kg/m}^2$ (acápite 4.2.1) y los valores teóricos de

resistencia (acápite 4.3) fueron obtenidos suponiendo que el refuerzo vertical fluye, sin embargo, para grandes desplazamientos, podría ingresar en su zona de endurecimiento amplificándose la resistencia teórica en un factor de 1.5. En la tabla 7.2 aparecen las resistencias teóricas y experimentales para los cuatro parapetos.

Tabla 7.2 Resistencias Máximas “w” en kg/m².

Parapeto	M1	M2	M3	M4
Teoría (fluencia)	387	No reforzado	390	390
Teoría (endurecimiento)	581	No reforzado	585	585
Ensayo Sísmico	328 (F3)	48 (Fase 1)	343 (Fase 3)	167 (Fase2)
Ensayo Estático	864	---	387	---

La Tabla 7.2 fue llevada a un gráfico de barras (Fig.7.7), donde se nota la amplia superioridad de M1 sobre el resto de parapetos, aunque los 3 parapetos reforzados (M1, M3 y M4), tuvieron una resistencia por encima de la carga última de diseño ($w_u = 112$ kg/m²).

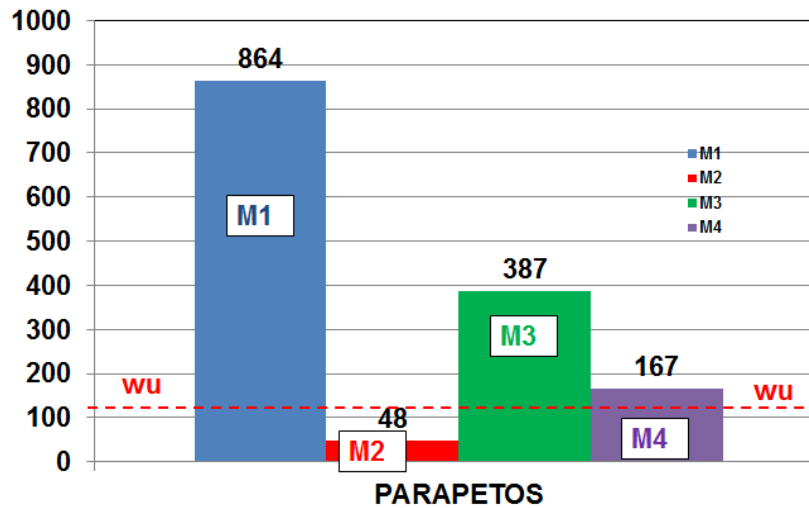


Figura 7.7. Resistencias máximas (kg/m²) y carga de diseño w_u .

Capítulo 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los ensayos y cálculos, la resistencia sísmica del parapeto de albañilería simple (M2) es mínima e inferior a la carga reglamentaria de diseño, por tanto, es necesario arriostrarlo para prevenir su colapso.
- Los arriostres en base a columnas de concreto con refuerzo vertical anclado químicamente mediante resina epóxica fueron fáciles de construir, y el que fue utilizado en el parapeto M1 (una sola varilla anclada en una perforación, sin estribos) fue el más sencillo y el que proporcionó la mayor resistencia a carga sísmica perpendicular al plano del parapeto.
- En parapetos con un solo refuerzo vertical (como M1) se recomienda tener una profundidad mínima de anclaje de 15cm, y usar un epóxico que cumpla con los requerimientos y especificaciones técnicas.
- En parapetos con dos varillas de refuerzo escasamente separadas se recomienda que ambas varillas anclen en un solo hueco, como se hizo con el parapeto M3.
- Los parapetos M3 y M4 tuvieron el mismo refuerzo vertical, sin embargo, M4 falló antes por anclaje, aunque para una carga mayor que la de diseño reglamentario. El parapeto M3 falló también por anclaje, pero para una carga 2.3 veces mayor que la de M4, sin embargo, no logró alcanzar la resistencia a la fluencia.
- M1 fue el parapeto que tuvo mayor resistencia, incluso mayor que la correspondiente al endurecimiento del refuerzo vertical, lo cual no se explica ya que el refuerzo falló por anclaje, esto y el hecho que en el ensayo se haya obtenido distintas resistencias en la falla por anclaje, amerita un nuevo ensayo considerando dos situaciones: con anclaje químico y con anclaje natural, recomendándose ensayar solo a la columna. Cabe indicar que un ensayo de

anclaje por tracción directa (Ref.6) es distinto a someter la misma barra a tracción por flexión.

REFERENCIAS

1. Norma Técnica de Edificaciones E.070 “Albañilería”

Reglamento Nacional de Edificaciones
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO
Lima, 2006

2. Norma Técnica de Edificaciones E.030 “Diseño Sismorresistente”

Reglamento Nacional de Edificaciones
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO
Lima, 2006

3. Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería.

Ángel San Bartolomé, Daniel Quiun y Wilson Silva
Fondo Editorial PUCP
Febrero, 2011

4. Investigaciones en Albañilería

<http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>

Ángel San Bartolomé
Lima, 2007

5. Euco # 452 - Epóxico

<http://www.tamms.com/fileshare/ProductFiles/Spanish/SPA452SysLV.pdf>

6. Icochea A. y Fernández A. Comportamiento sísmico de alféizares construidos con la Placa P-10 a cargas perpendiculares a su plano. Tesis PUCP 2013.