

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

“COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE TABIQUES CONSTRUIDOS CON LADRILLOS PANDERETA”

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

Luis Eduardo Sáenz Tenorio

ASESOR: Ing. Daniel Quiun Wong

Lima, abril del 2016

A Dios, a mis padres y a mi hermana.

Son las razones por las que sigo en pie.

Quiero dar las gracias al ingeniero Daniel Quiun y al ingeniero Wilson Silva, por su apoyo durante los ensayos y el desarrollo de este tema de investigación.

En memoria al ingeniero Ángel San Bartolomé.

RESUMEN

Esta tesis tiene como finalidad evaluar experimentalmente el comportamiento sísmico de tabiques construidos con ladrillo pandereta para un pórtico con tabiquería de relleno (Ensayo cíclico coplanar) y un pórtico con tabiquería arriostrada a las columnetas (Ensayo de cargas perpendiculares al plano).

En el capítulo 1, se menciona la situación actual de la construcción después del crecimiento en la última década, y del uso de albañilería con espesores cada vez menores.

En el capítulo 2, se presentan los objetivos y la metodología a usar para evaluar el comportamiento sísmico de los tabiques construidos con ladrillo pandereta.

En el capítulo 3, se muestra la descripción de ambos pórticos para cada ensayo: Ensayo cíclico coplanar y Ensayo de cargas perpendiculares al plano.

En el capítulo 4, se presentan los componentes del sisma de albañilería.

En el capítulo 5, se describe la construcción y el ensayo a desarrollar en los prismas y muretes de albañilería, en donde se puede ver la colocación de los instrumentos de medición. Además, se determina la resistencia a compresión axial y la resistencia al corte, para pilas y muretes respectivamente.

En el capítulo 6, se describe la construcción del tabique para el ensayo cíclico coplanar y la construcción del tabique arriostrado a las columnetas para el ensayo con cargas perpendiculares al plano.

En el capítulo 7, se describen los ensayos a realizar en el pórtico con tabique de relleno y en el pórtico con tabique arriostrado a las columnetas. Además, se presenta la instrumentación que se usó en cada pórtico para cada ensayo descrito.

En el capítulo 8, se realiza el procesamiento de los resultados de los ensayos descritos anteriormente en cada pórtico, para luego comparar dichos resultados con la norma E.070.

Por último, en el capítulo 9, se va a presentar las conclusiones y recomendaciones finales para investigaciones e implementaciones en futuros proyectos.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

| | | |
|----------|---|--|
| Título | : | “Comportamiento sísmico de tabiques construidos con ladrillos pandereta” |
| Área | : | Estructuras – Investigación |
| Asesores | : | Ing. Daniel Quiun Wong |
| Alumnos | : | LUIS EDUARDO SÁENZ TENORIO, |
| Código | : | 2006.7140.1.412 |
| Tema Nº | : | 392 |
| Fecha | : | Lima, 10 de noviembre de 2015 |

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas la construcción en nuestro país, se ha incrementado con un aumento en los proyectos de vivienda en edificios multifamiliares en el Perú. La demanda por reducir costos y proporcionar ambientes más amplios, trajo como consecuencia la reducción de los espesores de los muros de tabiquería, los cuales en un inicio tenían 13cm de espesor, luego se redujo usando ladrillo tubular (pandereta); hasta unidades de albañilería de 8cm llamadas Econoblock. Los tabiques hechos con bloques de albañilería de estos espesores delgados presentan altos rendimientos y bajo costo. Debido a que su uso está en aumento y estos tabiques cuentan con pocos estudios experimentales, se hace necesaria la investigación actualizada de su comportamiento sísmico en pórticos típicos de los edificios.

En 1999 se realizó una primera investigación de tabiques de relleno, comparando tabiques de planchas de fibrablock y de ladrillo pandereta (Urdaneta, 1999). Luego en el 2000 se realizaron ensayos similares en tabiques de drywall (Lostanau 2000, Del Aguila, 2000, y Kahhat, 2000).

2. OBJETIVOS

- Evaluar experimentalmente el comportamiento sísmico de muros divisorios de albañilería (tabiques construidos con ladrillos pandereta), enmarcados en un pórtico de concreto armado, ante cargas perpendiculares al plano mediante ensayos de mesa vibradora y cargas coplanares en ensayos de carga lateral cíclica.
- Determinar el aporte a la rigidez lateral de los tabiques de ladrillo tubular (pandereta) construidos e integrados al pórtico.
- Conocer las propiedades mecánicas de la albañilería simple de estas unidades, mediante ensayos de compresión axial y diagonal en prismas de albañilería.

3. MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS

En los edificios sometidos a acciones sísmicas, existen elementos no estructurales que pueden afectar su comportamiento. En el caso específico de muros de tabiquería no aislados de la estructura, éstos pueden aumentar la rigidez del pórtico que los contiene; existe la posibilidad de que se genere problemas

estructurales importantes como piso blando o torsión en planta (San Bartolomé et.al., 2011).

Como consecuencia de lo planteado anteriormente, surge la necesidad de investigar el desempeño sísmico y actualizar la poca información existente, de la influencia de los muros de tabiquería hechos con ladrillos tubulares pandereta y otros bloques de arcilla. Se debe investigar la variación en la rigidez lateral del pórtico con tabique respecto al pórtico solo, para efectos del modelaje estructural. Además, para cargas perpendiculares al plano, al tener espesores delgados, su estabilidad se hace incierta.

4. METODOLOGÍA

Se va a estudiar el comportamiento sísmico de un pórtico con relleno de tabique de ladrillo pandereta tradicional. Los ensayos se harán utilizando un pórtico de concreto armado existente en el Laboratorio de Estructuras, mientras que la construcción de los especímenes de ladrillo pandereta estará a cargo del tesista.

Se realizarán los siguientes ensayos utilizando dos pórticos de concreto armado existentes en el Laboratorio de Estructuras, donde la construcción de la tabiquería y sus arriostres estará a cargo del tesista.

Ensayo de carga lateral cíclica coplanar al tabique

Se evaluará el pórtico con tabiquería (previamente reparado, figura1), se procederá con la construcción del tabique de relleno. Luego se procederá a realizar el ensayo de carga lateral cíclica coplanar, con desplazamientos laterales controlados. El ensayo utilizará 14 LVDT's luego de lo cual se procesarán los resultados experimentales.

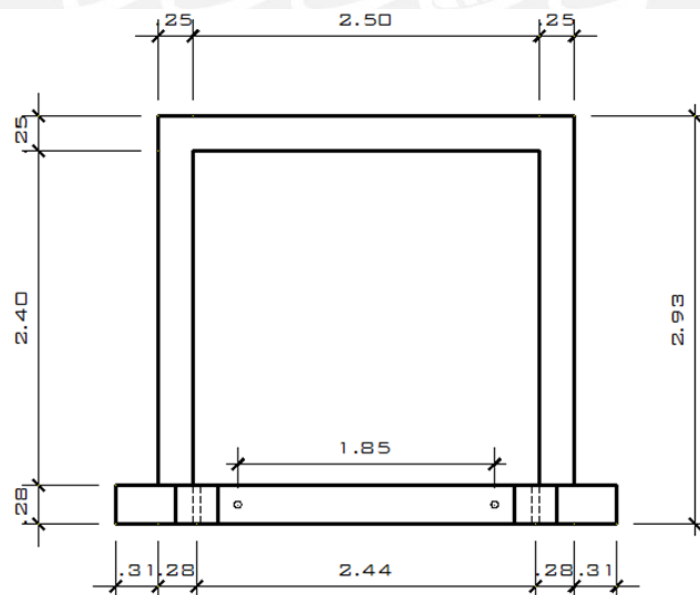


Figura1. Dimensiones del pórtico de concreto armado para el ensayo de carga lateral cíclica.

Ensayo sísmico ortogonal al plano del tabique (Ensayo Dinámico)

Se construirá la tabiquería en la parte central, debidamente arriostrada mediante columnetas a un pórtico de concreto armado existente, en el cual previamente se insertarán espigas que se traslaparán con el refuerzo de la columneta, tal como se acostumbra en obra (figura 2); todo será construido a escala natural. Luego el conjunto será sometido a un ensayo sísmico ortogonal al plano del tabique, sobre la mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras. En el ensayo dinámico se utilizará 4 LVDT y 9 acelerómetros. Se procesará la información y se procesará los resultados experimentales.

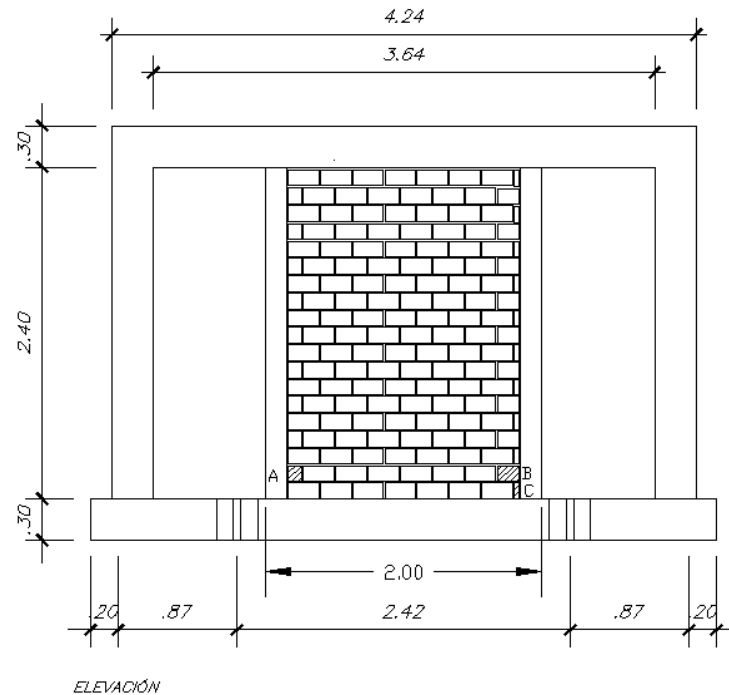


Figura 2. Pórtico de concreto armado con columnetas.

Ensayo de especímenes pequeños de albañilería

Antes de realizar los ensayos mencionados líneas arriba, se procederá a ensayar 3 muretes a compresión diagonal y 3 pilas a compresión axial (construidos con ladrillos pandereta tradicional), con el fin de cuantificar sus resistencias características, como se ve en las figuras 3 y 4.

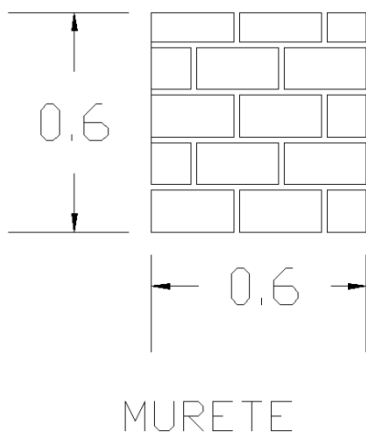


Figura 3. Murete de 0.6x0.6

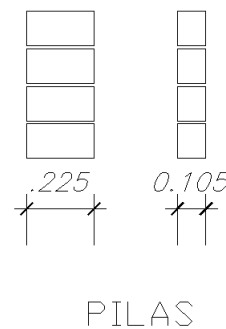


Figura 4. Pilas de 4 hiladas de ladrillos.

5. BIBLIOGRAFÍA

Interacción Tabique-Pórtico, Vinicio Urdaneta y Ángel San Bartolomé, Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP, 1999.

Comportamiento sísmico de los paneles Drywall. Ensayo cíclico coplanar. Daniel Lostaunau Neira y Angel San Bartolomé, Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP, 2000.

Comportamiento sísmico de los paneles Drywall. Ensayo sísmico ortogonal al plano / Ricardo Del Águila Herrera y Angel San Bartolomé, Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP, 2000.

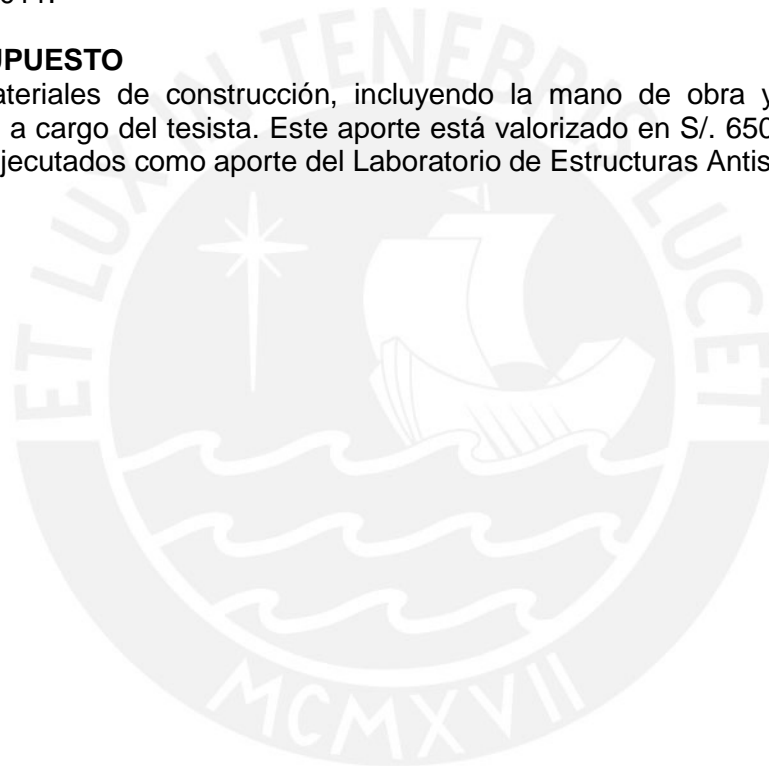
Comportamiento sísmico de los paneles Drywall. Ensayo sísmico coplanar / Ramzy Francis Kahhat Abedrabbo y Angel San Bartolomé, Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP, 2000.

Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería. San Bartolomé Á., Quiun D., Silva W. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Lima, 2011.

6. PRESUPUESTO

Los materiales de construcción, incluyendo la mano de obra y los encofrados, estarán a cargo del tesista. Este aporte está valorizado en S/. 650.00. Los ensayos serán ejecutados como aporte del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas.



INDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | III |
| TEMA DE TESIS | IV |
| INDICE | VIII |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 2: OBJETIVOS Y METODOLOGÍA | 3 |
| 2.1. OBJETIVOS | 3 |
| 2.2. METODOLOGÍA | 3 |
| 2.2.1. MUROS A ESCALA NATURAL | 3 |
| 2.2.2. ESPECÍMENES PEQUEÑOS DE ALBAÑILERÍA | 4 |
| CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LOS PÓRTICOS | 5 |
| 3.1. DESCRIPCIÓN DEL PÓRTICO DEL ENSAYO ESTÁTICO | 5 |
| 3.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL PÓRTICO | 5 |
| 3.1.2. SISTEMA DE IZAJE Y PESO DEL PÓRTICO | 6 |
| 3.2. DESCRIPCIÓN DEL PÓRTICO DEL ENSAYO DINÁMICO | 7 |
| 3.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL PÓRTICO DÍNAMICO | 7 |
| 3.2.2. SISTEMA DE IZAJE Y PESO DEL PÓRTICO | 9 |
| CAPÍTULO 4: COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALBAÑILERÍA | 10 |
| 4.1. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA | 10 |
| 4.2. MORTERO | 10 |
| 4.3. ACERO DE REFUERZO | 12 |
| CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE PRISMAS Y MURETES DE ALBAÑILERÍA | 13 |
| 5.1. PRISMAS O PILAS | 13 |
| 5.1.1. CONSTRUCCIÓN DE PILAS CON LADRILLO PANDERETA | 13 |
| 5.1.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS | 14 |
| 5.1.3. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA PILA | 19 |
| 5.1.4. RESISTENCIA TOTAL Y COMPARACIÓN CON LAS CARGAS REGLAMENTARIAS | 20 |
| 5.1.5. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_m) | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2. MURETES | 23 |
| 5.2.1. CONSTRUCCIÓN DE MURETES | 23 |
| 5.2.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES | 25 |
| 5.2.3. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MURETES | 28 |
| 5.2.3.1 MURETES CONSTRUIDOS CON LADRILLO PANDERETA | 28 |
| 5.2.4. RESISTENCIA TOTAL Y COMPARACIÓN CON LAS CARGAS REGLAMENTARIAS | 30 |
| CAPÍTULO 6: CONSTRUCCIÓN. | 32 |
| 6.1. CONSTRUCCIÓN DEL TABIQUE PARA ENSAYO COPLANAR | 32 |
| 6.2. CONSTRUCCIÓN DEL TABIQUE PARA ENSAYO ORTOGONAL AL PLANO | 34 |
| CAPÍTULO 7: ENSAYOS DE FUERZA SÍSMICA | 40 |
| 7.1. ENSAYO CÍCLICO COPLANAR DEL PÓRTICO DE CONCRETO ARMADO CON TABIQUE | 40 |
| 7.1.1. PREPARATIVOS PARA PÓRTICOS CON LADRILLO PANDERETA | 40 |
| 7.1.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO | 40 |
| 7.1.3. INSTRUMENTACIÓN | 41 |
| 7.1.4. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TABIQUE CON LADRILLO PANDERETA | 43 |
| 7.2. ENSAYO SÍSMICO ORTOGONAL AL PLANO DEL TABIQUE | 50 |
| 7.2.1. PREPARATIVOS PARA EL PÓRTICO | 50 |
| 7.2.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO | 51 |
| 7.2.3. INSTRUMENTACIÓN | 51 |
| 7.2.4. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TABIQUE | 52 |
| 7.2.5. PRUEBA DE CARGA PARA TABIQUE ARRIOSTRADO | 55 |
| CAPÍTULO 8: PROCEDIMIENTO DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS | 60 |
| 8.1. RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL ENSAYO CÍCLICO COPLANAR DEL PÓRTICO CON TABIQUE | 60 |
| 8.1.1. LAZOS HISTERÉTICOS Y SU ENVOLVENTE | 60 |
| 8.1.2. MÓDULO DE ESLASTICIDAD DEL TABIQUE | 62 |
| 8.1.3. COMPARACIÓN DE LA CARGA PUNTUAL CON LAS RESISTENCIAS DE LA NORMA (R_c , R_t y R_s) | 66 |

| | |
|--|-----------|
| 8.2. RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL ENSAYO SÍSMICO ORTOGONAL AL PLANO DEL TABIQUE | 67 |
| 8.2.1. DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS | 67 |
| 8.2.2. DETERMINACIÓN DEL PERIODO (T_n) | 70 |
| 8.2.3. ACELERACIONES MÁXIMAS EN VIBRACIONES LIBRES | 71 |
| 8.2.4. CARGA SÍSMICA DEL TABIQUE SEGÚN LA NORMA E.070 | 72 |
| 8.2.5. CARGA SÍSMICA DE TABIQUE SEGÚN EL ENSAYO DINÁMICO | 72 |
| CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 76 |
| REFERENCIAS | 78 |



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Hoy en día, después del crecimiento de la construcción en esta última década, es común tener edificios multifamiliares en la ciudad de Lima, cuya estructura está basada netamente en pórticos. Los paños de estos pórticos son rellenados con tabiques, los cuales pueden estar o no aislados, como se ve en la foto 1. Si dichos tabiques se encuentran aislados su única influencia a la estructura es aumentar la masa, lo cual conlleva a un aumento de la cortante basal a recibir. No obstante, los tabiques no aislados además generan problemas de torsión en planta si se encontraran distribuidos asimétricamente; otro problema que causa es el llamado piso blando, que se da en edificios donde un nivel tiene muy pocos tabiques y en niveles superiores contiene muchos tabiques (un ejemplo son los edificios con primer piso para cochera). Estos dos problemas mencionados se dan porque el pórtico con tabiques integrados al mismo, aumentan la rigidez lateral.

La demanda por reducir costos y proporcionar ambientes más amplios, trajo como consecuencia la reducción de los espesores de los muros de tabiquería, los cuales en un inicio tenían 13 cm de espesor, luego se redujo a 12 cm o menos usando ladrillo tubular (pandereta); hasta unidades de albañilería de 8 cm llamadas Econoblock. Los tabiques hechos con bloques de arcilla de albañilería de estos espesores delgados presentan altos rendimientos y bajo costo. Debido a que su uso está en aumento y estos tabiques cuentan con pocos estudios experimentales que lo respalden, se hace necesaria la investigación de su comportamiento sísmico en pórticos típicos de los edificios.

En 1999 se realizó una primera investigación de tabiques de relleno, comparando tabiques de plancha fibrablock y de ladrillo pandereta (Urdaneta y San Bartolomé, 1999). Luego en el 2000 se realizaron ensayos similares en tabiques de drywall (Lostanau 2000, Del Águila, 2000, y Kahhat, 2000). También se realizó el estudio del comportamiento de muros confinados con ladrillo pandereta (Araoz y Velezmoro 2012). Por último, en el 2015 se realizó la investigación de albañilería tubular confinada reforzada con malla electrosoldada (Mamani 2015).

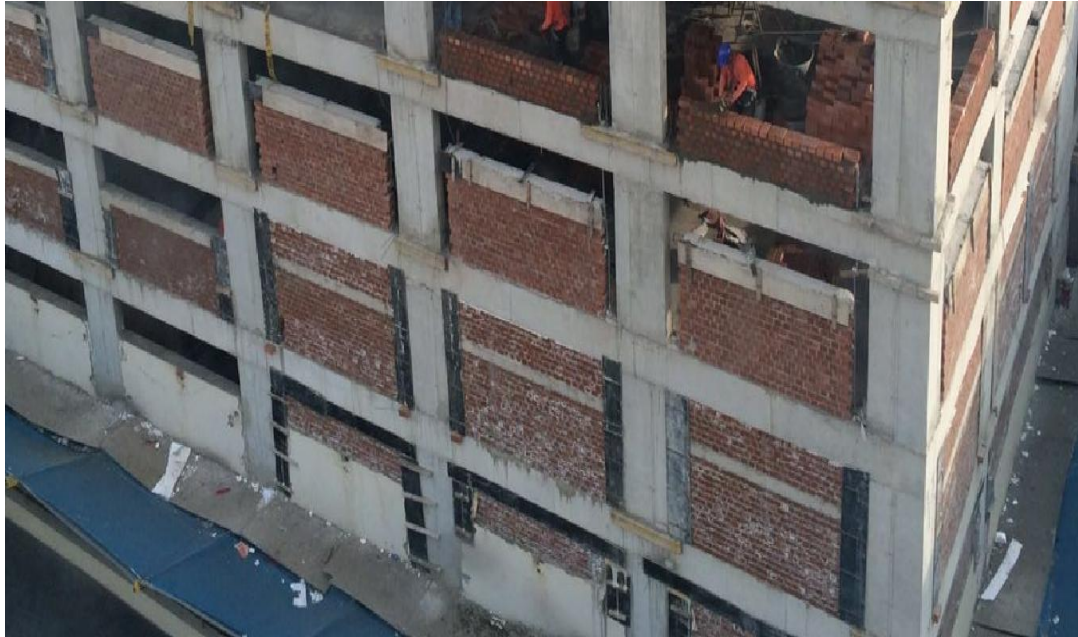
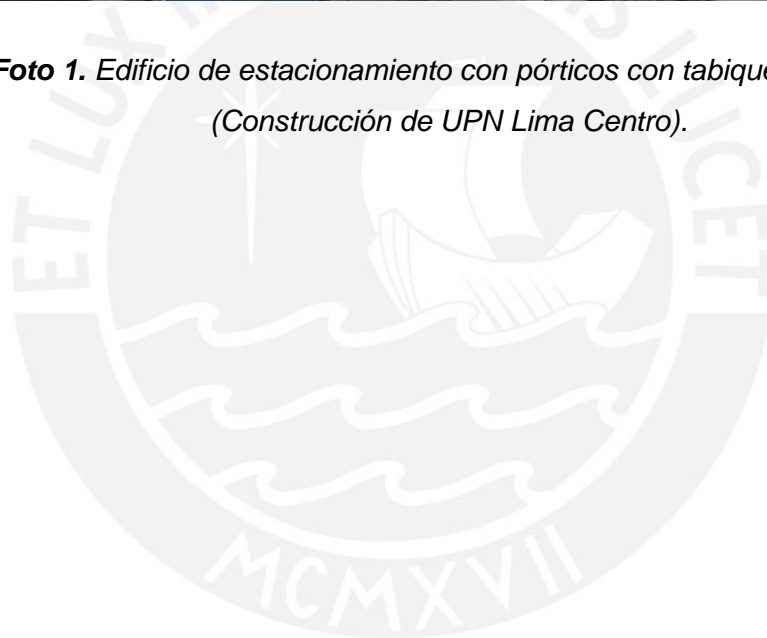


Foto 1. Edificio de estacionamiento con pórticos con tabiques aislados
(Construcción de UPN Lima Centro).



CAPÍTULO 2: OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS:

- Evaluar experimentalmente el comportamiento sísmico de tabiques contruidos con ladrillo pandereta enmarcados en pórticos de concreto armado ante cargas coplanares a través de ensayos de carga lateral cíclica.
- Evaluar experimentalmente el comportamiento sísmico de muros divisorios de albañilería (tabiques contruidos con ladrillo pandereta), enmarcados en pórticos de concreto armado, ante cargas perpendiculares al plano mediante ensayos de mesa vibradora.
- Determinar el aporte a la rigidez lateral de los tabiques de ladrillo tubular (pandereta) contruidos e integrados al pórtico.
- Conocer las propiedades mecánicas de la albañilería simple, mediante ensayos de compresión axial y diagonal en prismas de ladrillo pandereta.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 MUROS A ESCALA NATURAL

Se va a realizar el estudio del comportamiento sísmico de pórticos con relleno de tabique de ladrillo pandereta tradicional. Para los ensayos se han utilizado dos pórticos de concreto armado existentes (los cuales se resanaron con líquido epóxico) en el Laboratorio de Estructuras.

Para el ensayo Cíclico Coplanar, se usó un pórtico el cual se rellenoó con tabique de de ladrillo pandereta, como se puede apreciar en la figura 2.1.

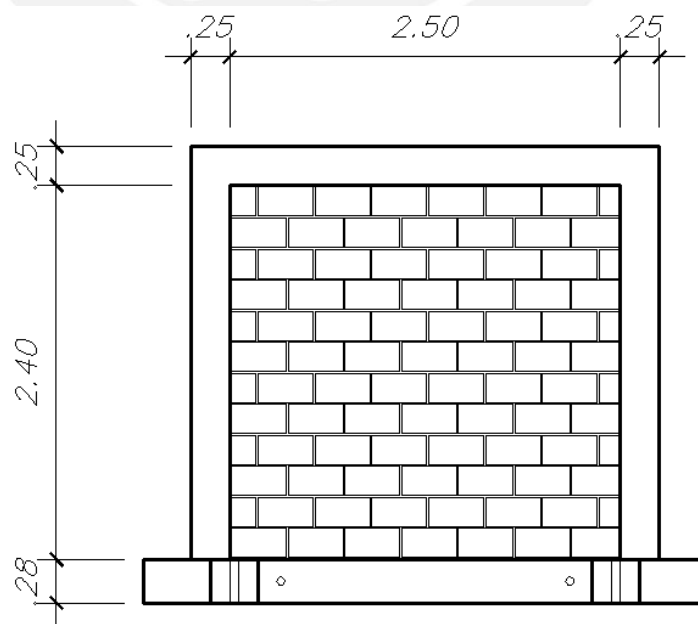


Figura 2.1. Pórtico con Tabique en su Interior para Ensayo Cíclico Coplanar

Para el ensayo con Cargas Perpendiculares al Plano, se usó un pórtico en el cual se colocó un tabique de ladrillo pandereta con arriostres, tal como se observa en la figura 2.2.

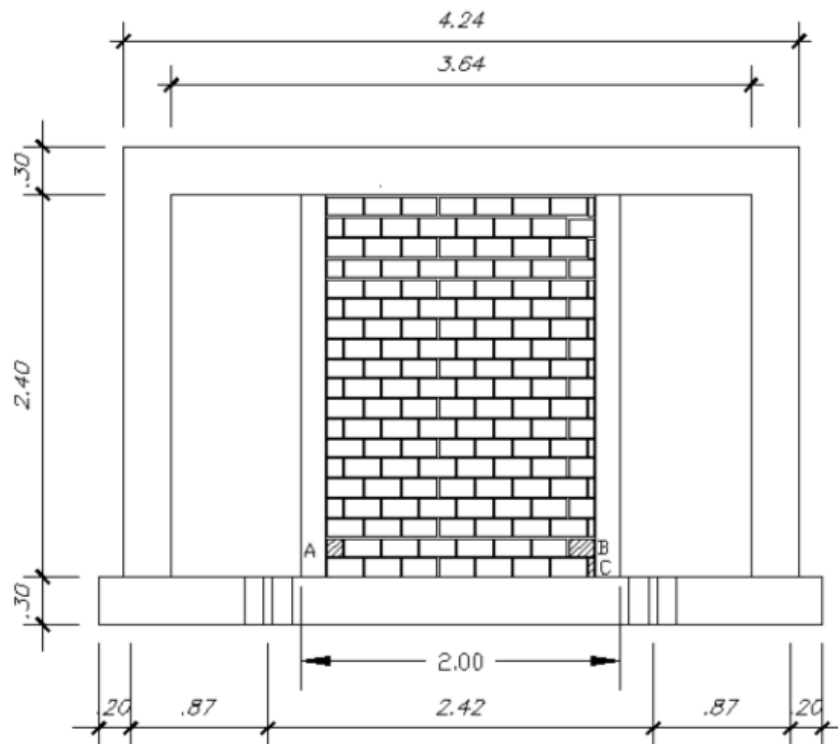


Figura 2.2. Pórtico con columnetas y con tabique arriostrado en su Interior para Ensayo de Cargas Perpendiculares al Plano

Para la construcción de los tabiques se usó los siguientes materiales:

- 600 ladrillos pandereta de la marca ITAL.
- 6 bolsas de cemento.
- 3 barras de fierro de $\frac{1}{4}$ ".
- 3 barras de fierro de 8 mm.
- 1 kg de alambre N° 8.
- 1 kg de alambre N° 16.

2.2.2 ESPECÍMENES PEQUEÑOS DE ALBAÑILERÍA

Adicionalmente a los muros a escala natural, se elaboraron especímenes pequeños, prismas y muretes de albañilería simple usando ladrillo pandereta. El objetivo fue obtener la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad, y la resistencia al corte para complementar la investigación y conocer más sobre el comportamiento de la albañilería del ladrillo pandereta.

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LOS PÓRTICOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PÓRTICO DEL ENSAYO ESTÁTICO.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL PÓRTICO

Para la realización de la presente investigación se utilizó un pórtico de concreto armado, el cual fue proporcionado por el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP. Este pórtico fue construido por el personal del laboratorio y utilizado en investigaciones anteriores. Las dimensiones del pórtico se pueden apreciar en la figura 3.1 y la armadura de acero, que tiene el pórtico a ensayar, se puede apreciar en la figura 3.2. Se empleó un pórtico de concreto con resistencia $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y acero de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, compuesto por columnas de $0.25 \times 0.25 \times 2.4 \text{ m}$ y una viga de $0.25 \times 0.25 \times 3 \text{ m}$. La viga de cimentación fue de $0.30 \times 0.25 \times 3.62 \text{ m}$. El refuerzo de todos los elementos fue de $4 \varnothing 1/2''$ y estribos de $\varnothing 3/8''$, información proporcionada por el LEDI y obtenida de la orden de servicio 0-60.

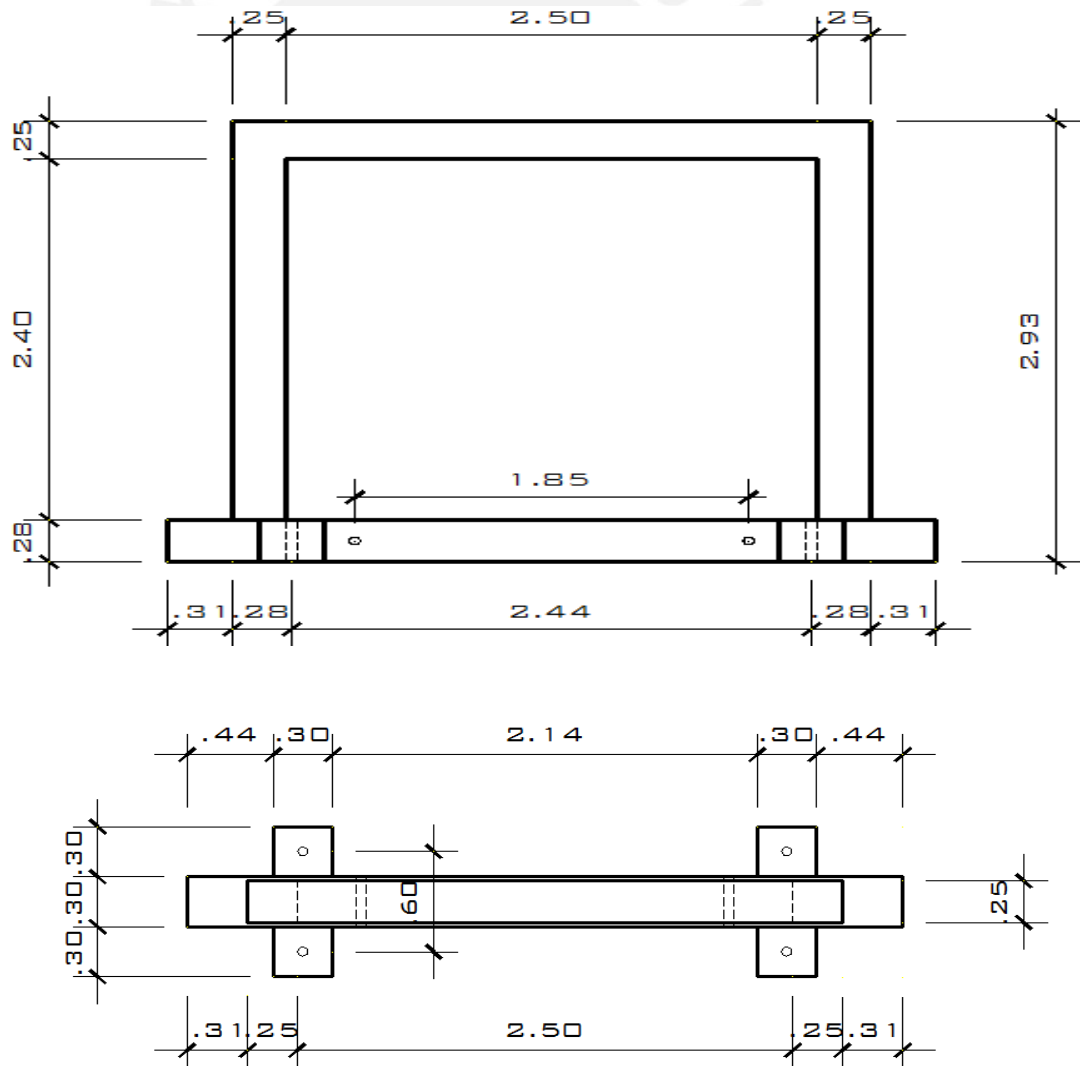


Figura 3.1. Dimensiones del Pórtico de Concreto Armado – Elevación y planta.

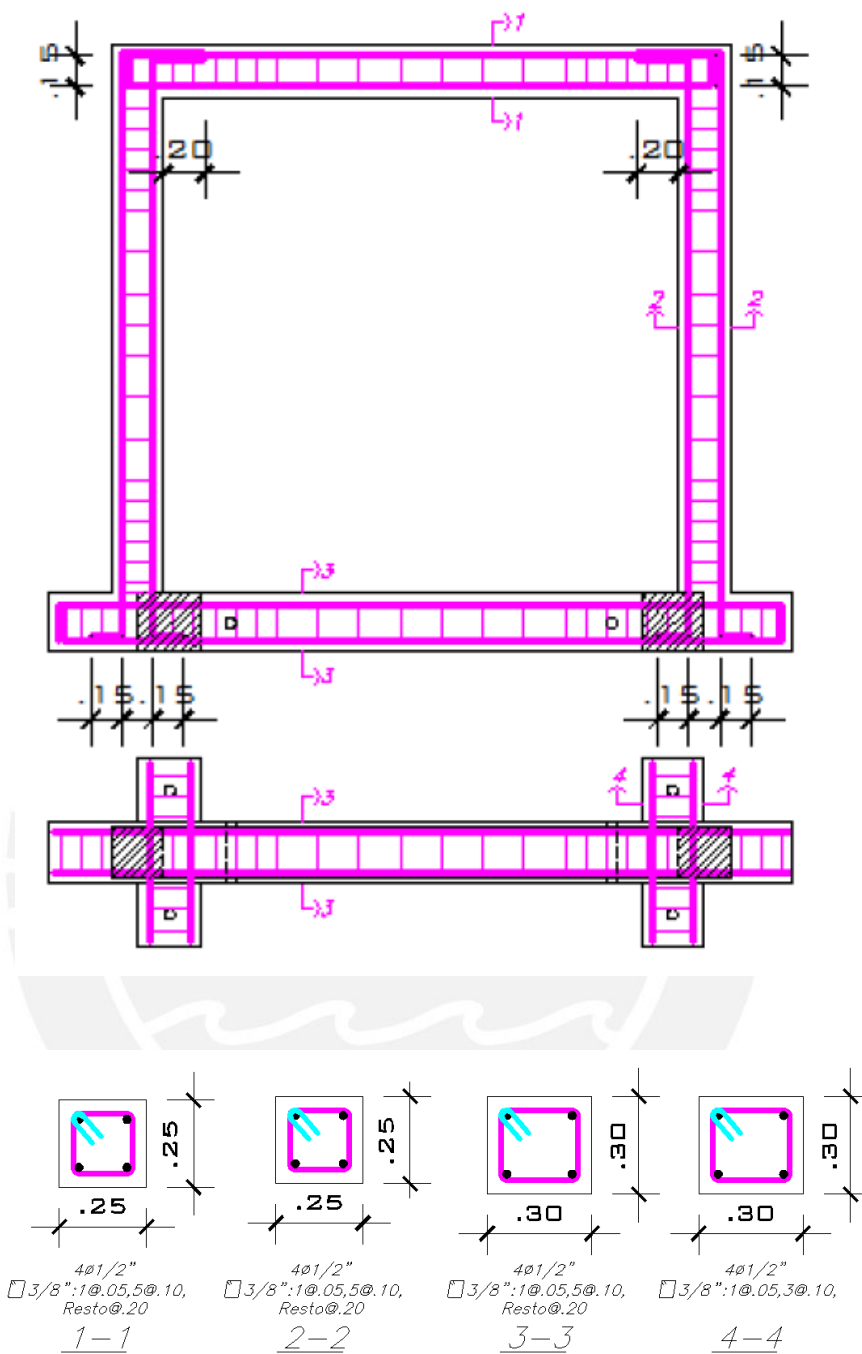


Figura 3.2. Armadura del Pórtico de Concreto Armado

3.1.2 SISTEMA DE IZAJE Y PESO DEL PÓRTICO

Se pudo obtener el peso del pórtico solo, el cual fue de 2.16 ton. Se introdujeron tubos de PVC de 2" de diámetro incrustados en la viga de cimentación, estos orificios pasantes sirven para introducir unas varillas de acero y así sujetar las fajas al puente grúa e izar el pórtico, como se puede ver en la foto 2.

Foto 2. Sistema de Izaje del Pórtico



3.2 DESCRIPCIÓN DEL PÓRTICO DEL ENSAYO DINÁMICO.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PÓRTICO DINÁMICO

De la misma manera que en el ensayo estático, para realizar los ensayos en la presente investigación, el laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú proporcionó un pórtico a escala natural, el cual fue construido por el personal calificado del Laboratorio de Estructuras y ha sido utilizado en diferentes investigaciones anteriores. Las características geométricas del pórtico se muestran en las figura 3.3, y el refuerzo del pórtico utilizado se muestra en la figura 3.4, información proporcionada por el LEDI. Para este ensayo se empleó un pórtico de concreto con resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y acero de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, compuesto por columnas de $0.25 \times 0.25 \times 2.4 \text{ m}$ y una viga de $0.25 \times 0.25 \times 4.15 \text{ m}$. La viga de cimentación fue de $0.30 \times 0.30 \times 4.55 \text{ m}$. El refuerzo de todos los elementos fue de $4 \varnothing 1/2''$ y estribos de $\varnothing 3/8''$.

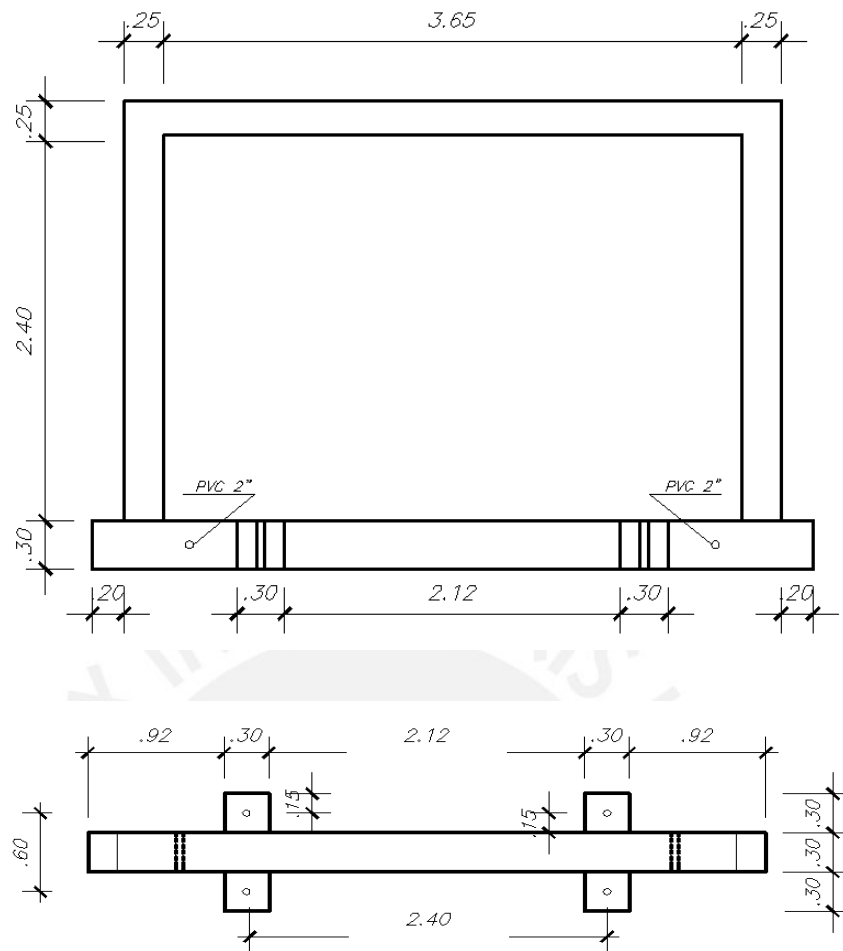


Figura 3.3 Dimensiones del Pórtico de concreto armado, Elevación y Planta.

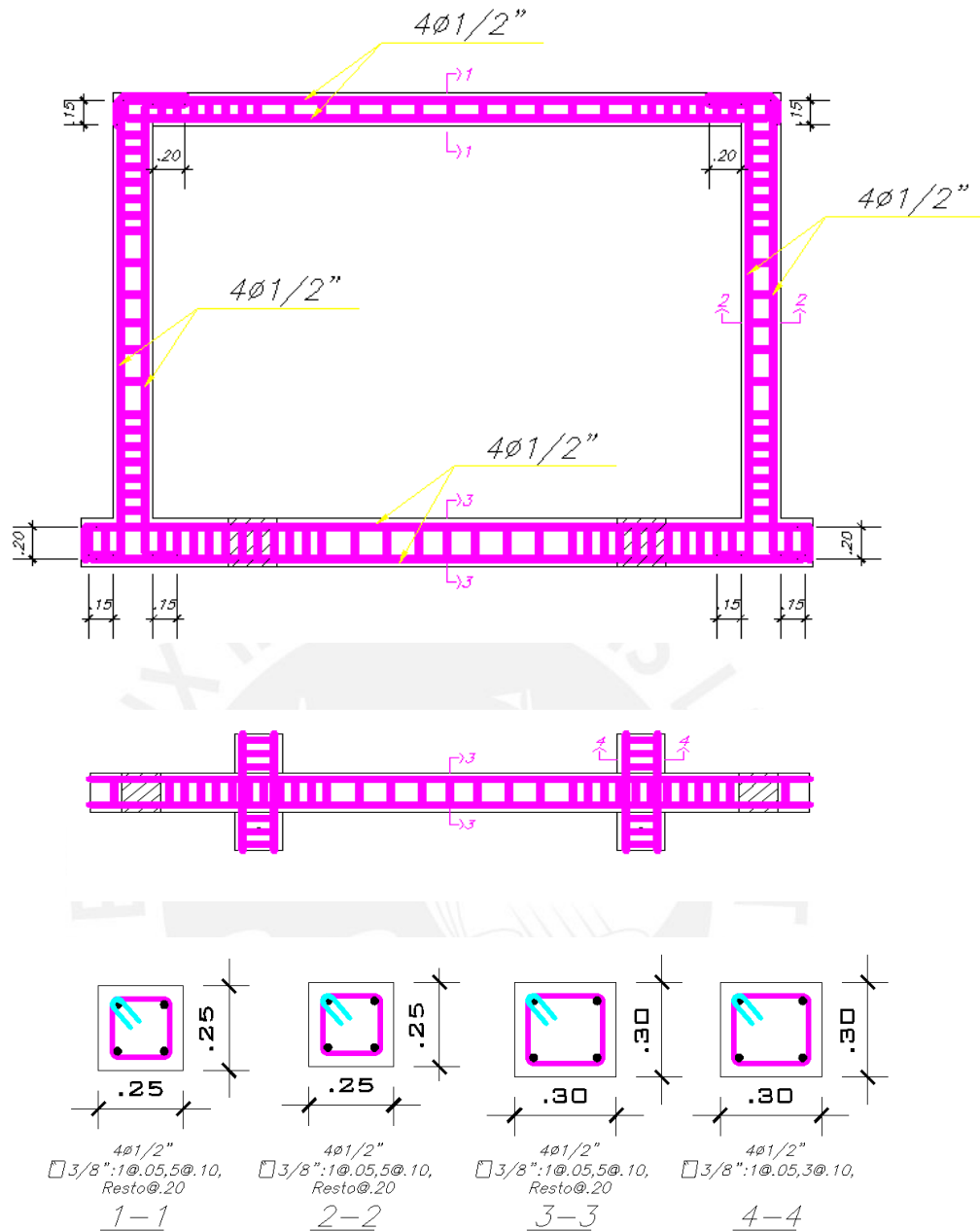


Figura 3.4 Armadura del pórtico de concreto armado.

3.2.2 SISTEMA DE IZAJE Y PESO DEL PÓRTICO

Para el izaje se introdujeron tubos de PVC de 2" de diámetro incrustados en la viga de cimentación. Los orificios pasantes sirven para introducir las varillas de acero y así sujetar las fajas al puente grúa e izar el pórtico.

En el proceso de izaje del pórtico se aprovechó para colocarle una celda de carga, con el que se pudo obtener el peso del pórtico sólo, el cual fue 2.94 ton.

CAPÍTULO 4: COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALBAÑILERÍA

4.1 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

El ladrillo pandereta tiene una presentación lisa o a rayas, en este caso se estudiará el comportamiento del ladrillo pandereta raya (foto 3), producido por la empresa Italperú Ladrillos, y las propiedades indicadas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Propiedades del ladrillo pandereta proporcionada por la empresa Italperú Ladrillos.

| Propiedades Pandereta | | | | | | |
|-----------------------|---------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| Coef. Satur <1.00 | Efloresc. | Alabeo (%) | Alto (cm) | Ancho (cm) | Largo (cm) | Peso (kg) |
| 0.9 | Sin Efloresc. | 2 | 9.5 | 10.5 | 22.5 | 1.90 |



Foto 3. Ladrillo pandereta raya.

4.2 MORTERO

Las construcciones de albañilería usan al mortero como el adhesivo por excelencia para sus unidades. El mortero tiene como ingredientes al cemento, el agregado, el agua y la cal cuando se requiera. La función que cumple el mortero es la de unir las unidades de albañilería y que esta adhesión sea completa, fuerte y duradera; si logra cumplir con estos tres objetivos, el conjunto trabajará como uno solo. Además,

cumple con funciones beneficiosas para el proceso constructivo ya que subsana las irregularidades propias de la albañilería.

Al momento de asentar los ladrillos, la única propiedad que podemos evaluar es el temple, es decir, la cualidad de ser manipulado con el badilejo, de ser esparcido con facilidad sobre las superficies de las unidades, de adherirse a superficies verticales de las unidades y de lograr contacto íntimo y completo con las irregularidades. El temple depende de la cantidad de agua que se le añade a la mezcla, ya que se mezcla arena y cemento en volúmenes específicos y luego se agrega agua hasta lograr el temple adecuado, mucho de esto depende del personal técnico calificado que esté realizando el asentado.

Los componentes del mortero son:

- **Cemento**

Los materiales aglomerantes son Cemento Portland y Cal Hidratada, normalizados según las Normas Técnicas Peruanas.

- **Agregado**

El agregado a usarse para el mortero es la arena gruesa natural, la cual debe cumplir con lo indicado en la tabla 3 del capítulo 3 de la NTE E.070 Albañilería, la cual se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Granulometría presentada en la tabla 3 de la norma E.070.

| GRANULOMETRÍA DE LA ARENA GRUESA | |
|----------------------------------|------------|
| MALLA ASTM | % QUE PASA |
| Nº 4 (4,75 mm) | 100 |
| Nº 8 (2,36 mm) | 95 a 100 |
| Nº 16 (1,18 mm) | 70 a 100 |
| Nº 30 (0,60 mm) | 40 a 75 |
| Nº 50 (0,30 mm) | 10 a 35 |
| Nº 100 (0,15 mm) | 2 a 15 |
| Nº 200 (0,075 mm) | menos de 2 |

- **Agua**

El agua a usar será limpia, potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis, aceites y cualquier otra sustancia que resulte dañina.

La cantidad de los componentes para obtener el mortero se darán en proporciones volumétricas. La NTE E.070 Albañilería nos da cantidades para cada uso (tabla 4.3).

Tabla 4.3 Tipos de Mortero presentada en la tabla 4 de la norma E.070.

| TIPOS DE MORTERO | | | | |
|------------------|---------|---------|---------|--------------------|
| COMPONENTES | | | | USOS |
| TIPO | CEMENTO | CAL | ARENA | |
| P1 | 1 | 0 a 1/4 | 3 a 3 ½ | Muros Portantes |
| P2 | 1 | 0 a 1/2 | 4 a 5 | Muros Portantes |
| NP | 1 | - | Hasta 6 | Muros No Portantes |

4.3 ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo se usó en las columnas del arriostre del pórtico relleno, sometido a cargas perpendiculares al plano mediante ensayos de mesa vibradora. Estas varillas de acero corrugado cumplen con lo establecido en la NTP 341.031 (Barras de Acero con Resaltes para Concreto Armado). El acero, usado generalmente en las construcciones de nuestro país, es de Grado 60; el cual tiene características específicas en lo referente a sus propiedades mecánicas, soldabilidad, diámetros mínimos de doblado y efectos de la temperatura, todas estas propiedades están descritas en las normas ASTM A615 y ASTM A706.

CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE PRISMAS Y MURETES DE ALBAÑILERÍA

5.1 PRISMAS O PILAS

5.1.1 CONSTRUCCIÓN DE PILAS CON LADRILLO PANDERETA

Según la norma E.070 de albañilería, cuando se trata de construir muretes y/o pilas con ladrillos de arcilla, se logra la mejor adherencia ladrillo-mortero cuando el ladrillo está humedecido, es decir cuando el núcleo del ladrillo está saturado y la superficie relativamente húmeda. Para lograr esta succión adecuada las unidades de arcilla han sido regadas un día antes del asentado por lo menos 30 minutos.

Respecto al mortero de la pasta cementante, se inició la mezcla en seco (de manera artesanal), y se mantuvo la proporción de arena a cemento como 4:1. El personal, encargado de la construcción de especímenes, hizo la mezcla en una batea de plástico con ayuda de una plancha para mezclar. En seguida, a dicha mezcla se le agregó agua potable, batiendo con la plancha hasta llegar a la consistencia pastosa deseada, la cual determina la trabajabilidad adecuada (foto 4). Justamente esta trabajabilidad se mide al tomar una porción del mortero batido en la batea, haciendo uso de la plancha, se zarandea verticalmente, para luego ser girado 180°.



Foto 4. Batido de la mezcla con plancha.

Finalmente, es importante mencionar que en una oportunidad se hizo el retemplado de la mezcla, la cual consiste en echar agua antes de que se seque la mezcla para continuar con el trabajo; sin embargo, si ya pasó mucho tiempo en la intemperie es mejor desechar el mortero.

El procedimiento del asentado de los ladrillos en una pila es sencillo, pues sólo se coloca un ladrillo sobre otro, teniendo en cuenta que se usó 1.5 cm de espesor de junta del mortero colocado con la ayuda del badilejo. Este procedimiento se repitió hasta completar la pila, claro está, teniendo en cuenta que para cumplir que la esbeltez sea menor o igual a 5 se debe construir 5 hiladas de ladrillos por pila. Para la colocación del segundo, tercero, cuarto y quinto ladrillo se usó el nivel de mano y la plomada en dos lados perpendiculares al ladrillo. Las pilas fueron almacenadas por 28 días a una temperatura no menor de 10°C, como se puede ver en la foto 5.



Foto 5. Vista de las 03 pilas a ensayar.

5.1.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS

Se usó una nomenclatura para identificar a las tres pilas como: P1, P2 Y P3. La norma indica que se coloque un capping de yeso y cemento de aproximadamente 1cm en la base y en la superficie de cada pila. Es recomendable para evitar fallas locales y uniformizar la distribución de la carga aplicada a los prismas. La foto 6 muestra las pilas y también el capping colocado en las superficies.

Foto 6. Pilas antes de ser sometidas al ensayo de compresión axial.



Luego se procedió con la alineación y colocación de los LVDTs en cada pila. Un LVDT tiene el principio de una bobina, pues genera un campo magnético en el eje de la bobina del LVDT, a través de la formación de los polos positivos y negativos (tracción y compresión).

Antes de colocar la instrumentación, se calibró el dispositivo, para luego pegar las bases en las pilas, a través de una soldadura en frío (un fuerte adhesivo); con lo cual se pudo asegurar la adherencia de la instrumentación al ladrillo. Las fotos 7 y 8 muestran la alineación y colocación de las bases de los LVDTs.



Foto 7. Alineación de la instrumentación antes de ser pegadas a la superficie del ladrillo.



Foto 8. Colocación de bases de instrumentación con adhesivo.

En seguida, se colocaron las pilas en el dispositivo de ensayo de compresión axial para empezar con el ensayo, como se puede ver en las fotos 9, 10, 11 y 12. Una vez nivelados y ubicados en el compresor, se colocaron los LVDTs locales, y se ajustó el LVDT global.



Foto 9. Colocación de dispositivos LVDTs calibrados a cada pila antes de ser ensayados.



Foto 10. Ensayo de compresión axial en la pila P1 de 52.3 cm x 22.5 cm.



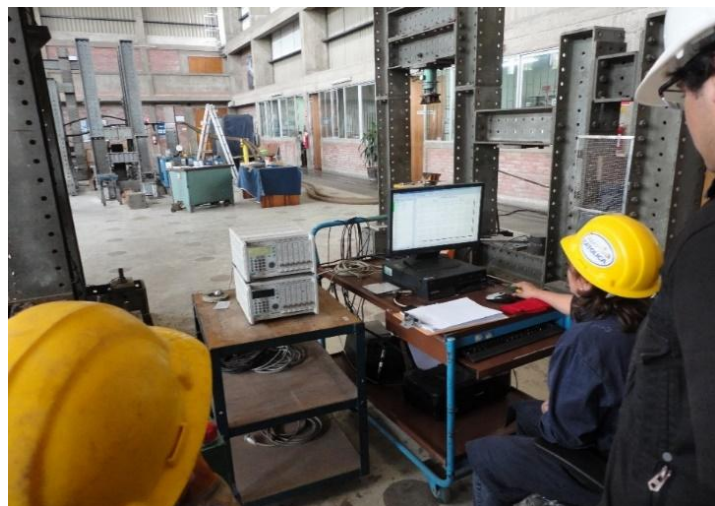
Foto 11. Ensayo de compresión axial en la pila P2 de 52.7 cm x 22.5 cm



Foto 12. Ensayo de compresión axial en la pila P3 de 52.7 cm x 22.5 cm.

Este ensayo fue monitoreado por el personal encargado, como se puede ver en la foto 13. La velocidad del ensayo de compresión axial fue de 5 ton/min ó 50 KN/min. Los LVDTs fueron retirados antes de que las pilas fallen súbitamente o explosivamente, y esto para evitar que se dañe el equipo.

Foto 13. Personal encargado de desarrollar los ensayos.



5.1.3 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA PILA

La pila 1 presentó una falla frágil producida por aplastamiento en las primeras hiladas (superior e inferior). Esto fue lo que produjo que las caras laterales se demolicieran, como se puede observar en la foto 14.

Foto 14. Falla de pila P1 de ladrillo pandereta.



La falla de la pila 2 fue frágil producida por trituración. La falla ha sido rápida lo que provocó que el espécimen se separe completamente (foto 15).



Foto 15. Falla de pila P2 de ladrillo pandereta.

La pila 3 tuvo una falla frágil producida por trituración, con la diferencia que ha sido explosiva y el espécimen se ha desmoronado completamente. Esta falla se puede haber producido porque la base del capping no permitió transmitir adecuadamente la carga a la pila. No se cuenta con evidencias fotográficas de la falla de este prisma.

Las dimensiones y carga de rotura se ven en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Dimensiones y cargas máximas:

| Pilas | Dimensiones (cm) | | | Esbeltez (h/t) | P max. (KN) | P max. (Kg) |
|-----------|------------------|--------|---------|-------------------|----------------|----------------|
| | Largo | Altura | Espesor | | | |
| P1 | 22.00 | 52.30 | 10.50 | 4.98 | 33.6 | 3424 |
| P2 | 22.00 | 52.50 | 10.50 | 5.00 | 29.1 | 2966 |
| P3 | 22.00 | 52.70 | 10.50 | 5.02 | 37.7 | 3848 |

5.1.4 RESISTENCIA TOTAL Y COMPARACIÓN CON LAS CARGAS REGLAMENTARIAS.

Para evaluar la resistencia en el ensayo de compresión axial, en las pilas, se usa la siguiente fórmula:

$$f_m = \frac{P_{max}}{Largo \times Ancho}$$

Se aplica un factor de corrección¹ dependiendo de la esbeltez de la pila (altura entre menor dimensión de la pila).

De acuerdo a la norma en su artículo 13.7, la resistencia característica en pilas se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar. Los resultados se muestran en la tabla 5.2:

¹ El factor de corrección a utilizar corresponde al establecido en la norma E.070, tabla 10.

Tabla 5.2 Resultados de los ensayos de Compresión Axial:

| Pilas | Dimensiones (cm) | | | Esbeltez (h/t) | P máx. (KN) | P máx. (Kg) | Factor Corrección | fm (kg/cm ²) |
|-------|------------------|--------|-------|-------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------------|
| | Largo | Altura | Ancho | | | | | |
| P1 | 22.00 | 52.30 | 10.50 | 4.98 | 33.593 | 3424 | 1.000 | 14.824 |
| P2 | 22.00 | 52.50 | 10.50 | 5.00 | 29.090 | 2966 | 1.000 | 12.837 |
| P3 | 22.00 | 52.70 | 10.50 | 5.02 | 37.749 | 3848 | 1.000 | 16.658 |

A partir de la tabla 5.2 se puede obtener el valor promedio de $f_m = 14.77 \text{ kg/cm}^2$, la desviación estándar de 1.91 kg/cm^2 y la resistencia característica $f'_m = 13 \text{ kg/cm}^2$.

Finalmente, en la tabla 5.3 se muestra la comparación de los resultados obtenidos con otros temas de tesis de investigación:

Tabla 5.3 Comparación de resultados con otras tesis:

| Autores | $f_m(\text{kg/cm}^2)$ | $\sigma(\text{kg/cm}^2)$ | $f'_m(\text{kg/cm}^2)$ |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|
| Sáenz Tenorio | 14.77 | 1.91 | 13 |
| Araoz-Velezmoro | 31.08 | 7.43 | 24 |
| Plinio Mamani (Con Refuerzo) | 65.80 | 8.80 | 57 |

5.1.5 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_m)

Se vio conveniente colocar 2 LVDT's, para poder calcular experimentalmente el módulo de elasticidad E_m , siguiendo lo indicado por el Art. 13 de la Norma E.070. Los LVDT's fueron retirados antes de llegar a la rotura de los elementos, para evitar que se dañen por la explosividad de la falla.

El módulo de Elasticidad E_m se hallará en la zona elástica del gráfico de Fuerza vs Desplazamiento Local hallado en cada uno de los ensayos de compresión axial realizado durante el presente proyecto. Se ha establecido que la "zona elástica" se encuentra ubicada entre el 15 y 50% de la fuerza máxima hallada.

Se usó las siguientes fórmulas:

$$E_m = \frac{\sigma}{\Delta \epsilon}$$

$$\Delta \delta = \frac{\Delta P}{\text{Ancho} \times \text{Altura}}$$

$$\Delta \epsilon = \frac{\Delta D}{L_e}$$

Donde tenemos:

- ΔP : Incremento de fuerza dentro de la zona elástica.
- ΔD : Incremento dentro de la zona elástica.
- L_e : Longitud inicial entre las bases del LVDT local.
- $\Delta \sigma$: Esfuerzo axial asociado a ΔP .
- $\Delta \epsilon$: Deformación unitaria asociada a $\Delta \delta$.
- E_m : Módulo de Elasticidad de la albañilería de ladrillo pandereta.

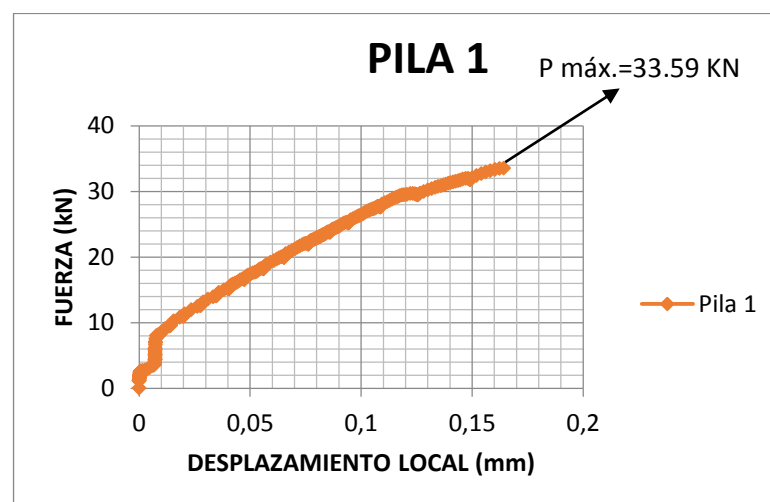
Se obtuvo los siguientes resultados (tabla 5.4):

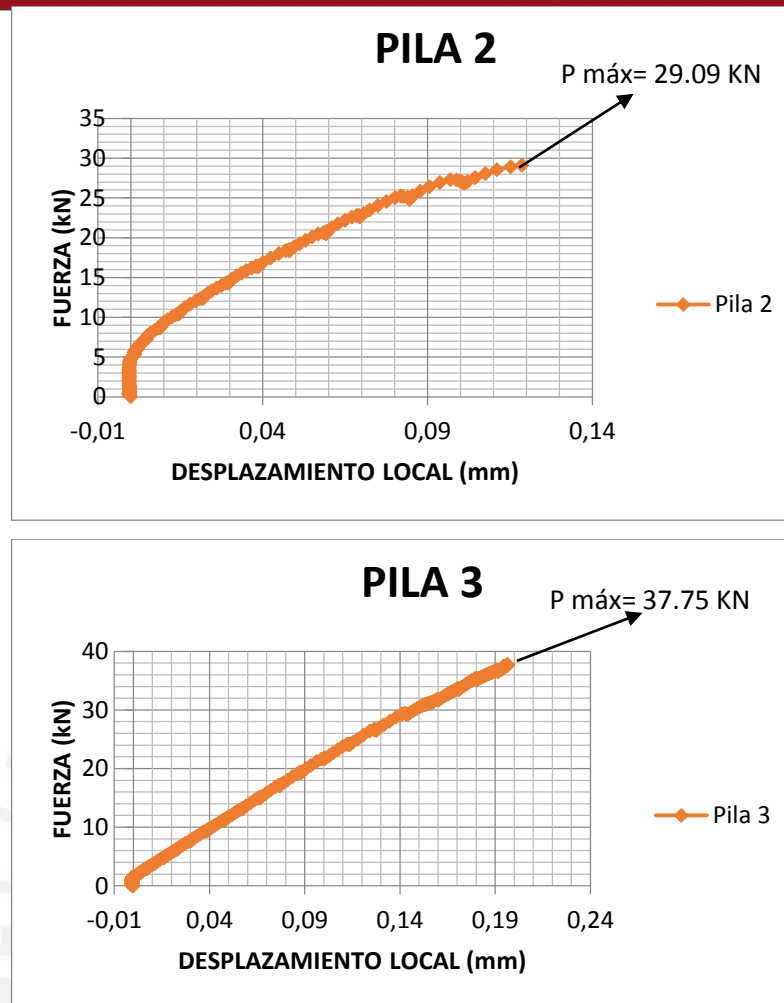
Tabla 5.4 Obtención del Módulo de Elasticidad:

| Pilas | L_e (mm) | $\Delta \delta$ (ton/m ²) | $\Delta \epsilon$ (unit) | E_m (ton/m ²) |
|-------|---------------|--|-----------------------------|--------------------------------|
| P1 | 210 | 50.635 | 0.000193 | 2.63E+05 |
| P2 | 210 | 44.930 | 0.000145 | 3.10E+05 |
| P3 | 210 | 58.303 | 0.000309 | 1.88E+05 |

E_m prom = 2.54E+05

Los diagramas de fuerza – desplazamiento de las 3 pilas representan la lectura de la instrumentación desde el inicio del ensayo hasta llegar a su fuerza máxima, momento en el cual se retiró los LVDT’s para proteger el equipo.





5.2 MURETES

5.2.1 CONSTRUCCIÓN DE MURETES

Se partió con la limpieza de la zona de trabajo, pues había que ubicar los especímenes en una zona libre de suciedad y escombros. En seguida se procedió con el humedecimiento de la superficie a trabajar, para luego delimitar el trazo de la ubicación de los muretes sobre un panel de madera liso, como se ve en la foto 16.

Foto 16. Alineamiento de primera hilada del murete de 0.60x0.60 m sobre panel de madera.



El mismo día se inició el asentado de la primera hilada, como se ve en la foto 17, utilizando en los extremos del murete los conocidos ladrillos maestros o ladrillos guías. Con la ayuda de un cordel y un nivel se alinearon los ladrillos horizontalmente, los cuales están listos para soportar la pasta cementante y los ladrillos de las demás hiladas.

Foto 17. Asentado de la primera hilada sobre panel de madera.



Luego de ser asentada la primera hilada se procede a colocar los ladrillos maestros de la segunda hilada; es decir se repite el procedimiento descrito anteriormente, salvo que para esta hilada y las que le siguen se usa el nivel de mano y la plomada en dos lados perpendiculares del murete. Este procedimiento se repitió desde la segunda hilada hasta la sexta, con lo cual se cumple los 60 cm de altura, como se ve en la foto 18.



Foto 18. Murete de ladrillo pandereta.

Para efecto de estos muretes, se consideró que sus dimensiones deberían ser de 60 cm en ambas direcciones, lo cual está bien ya que la norma E.070 de albañilería permite colocar hasta 80 cm de extensión de capa de mortero en una hilada.

Los muretes fueron construidos en una sola jornada de trabajo, dentro del límite permitido en altura por construir de 1.30 m, según la norma. Se levantó seis hiladas de ladrillo pandereta, y en cada hilada se hizo el mismo procedimiento mencionado líneas arriba. Los muretes fueron almacenados por 28 días a una temperatura no menor de 10°C, foto 19.



Foto 19. Ubicación de muretes a la intemperie.

5.2.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES

ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL PARA MURETES:

En los muretes se usó la nomenclatura de M1, M2 Y M3 con la finalidad de ser identificados; además, se usó un capping de 1cm. Las bases de los dispositivos de instrumentación LVDT fueron adheridos a través de soldadura fría al ladrillo (fuerte adhesivo). En este caso se colocaron dos LVDTs por murete, ya que uno representa al desplazamiento local vertical y otro al desplazamiento local horizontal, como se puede ver en la foto 20.



Foto 20. Personal colocando los LVDTs, vertical y horizontal.

Se colocó un LVDT global para los muretes, como se puede ver en la foto 21.



Foto 21. Colocación de LVDT global.

Los muretes se trasladaron desde la zona externa a la zona del laboratorio y luego hasta el sistema de ensayo diagonal. Se usó este sistema de traslado para evitar fisuras internas que se pudieran generar al hacerlo manualmente (foto 22).

Foto 22. Personal encargado de trasladar los muretes, a través del dispositivo de izaje.



En seguida, se colocaron los muretes M1, M2 Y M3 en la máquina de compresión diagonal para empezar con el ensayo. Una vez nivelados y ubicados en el compresor, se colocaron los instrumentos LVDTs (fotos 23, 24 y 25).

La velocidad con la que fueron ensayados los muretes fue de 1 ton/min ó 10 KN/min. De igual manera los LVDTs fueron retirados por el personal encargado para evitar que se malogren al momento de la falla.

Murete M1:



Foto 23. Murete M1 de 59 cm x 58.8 cm. Longitud vertical local inicial de 40.8 cm y longitud horizontal local inicial de 40.5 cm.

Murete M2:



Foto 24. Murete M2 de 58.5 cm x 58.5 cm. Longitud vertical local inicial de 39.6 cm y longitud horizontal local inicial de 40.2 cm.

Murete M3:



Foto 25. Murete M3 de 59 cm x 58.7 cm. Longitud vertical local inicial de 40.5 cm y longitud horizontal local inicial de 39.8 cm.

5.2.3 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MURETES

5.2.3.1 MURETES CONSTRUIDOS CON LADRILLO PANDERETA

El murete 1 presentó una falla por tracción diagonal en las tres hiladas superiores y una falla escalonada en dos hiladas (la cuarta y la sexta, contando desde la parte superior) por baja adherencia en las juntas (foto 26).



Foto 26. Falla de murete M1.

El murete 2 tuvo falla mixta. Presentó falla por tracción diagonal en las todas las hiladas y también pequeñas fallas escalonadas en dos hiladas (la primera y la tercera, contando desde la parte superior) por baja adherencia en las juntas (foto 27).



Foto 27. Falla de murete M2.

El murete 3 tuvo falla escalonada, por falta de adherencia en las juntas horizontales y verticales. Se paró el ensayo cuando se detectó este tipo de falla ya que los resultados no correspondían a lo que deseamos estudiar en la presente investigación (foto 28).

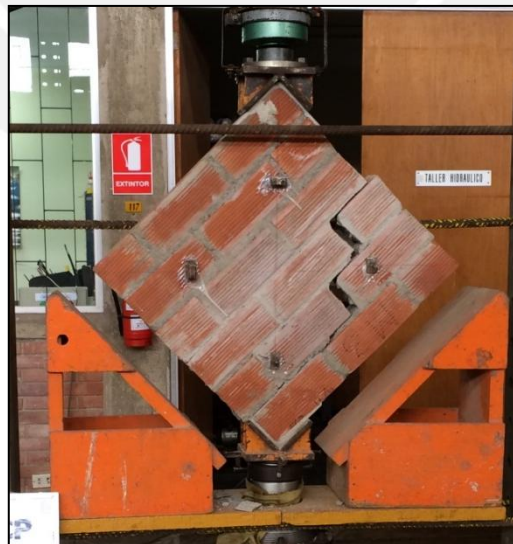


Foto 28. Falla de murete M3.

Los resultados están dados en la tabla 5.5. El murete 3 tuvo resultados extraños, por lo que no se considerará en la parte de cálculos de resistencia.

Tabla 5.5 Dimensiones y cargas máximas:

| Murete | Dimensiones (cm) | | | | P max. (KN) | P max. (Kg) |
|-----------|------------------|--------|---------|----------|----------------|----------------|
| | Largo | Altura | Espesor | Diagonal | | |
| M1 | 59 | 58.8 | 10.5 | 83.3 | 81.6 | 8316 |
| M2 | 58.5 | 58.5 | 10.5 | 82.73 | 89.9 | 9159 |
| M3 | 59 | 58.7 | 10.5 | 83.23 | 29.7 | 3022 |

5.2.4 RESISTENCIA TOTAL Y COMPARACIÓN CON LAS CARGAS REGLAMENTARIAS.

Para obtener la resistencia al corte ($v' m$) de la albañilería, se usa la siguiente fórmula:

$$v m = \frac{P \max}{diagonal \cdot espesor}$$

De acuerdo a la norma en su artículo 13.7, la $v' m$ en muretes se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar (tabla 5.6):

Tabla 5.6 Resultado de los ensayos de Compresión Diagonal:

| Murete | $V m$ (kg/cm ²) |
|-----------|--------------------------------|
| M1 | 9.508 |
| M2 | 10.544 |

De la tabla 5.6 se obtuvo la resistencia promedio $V m = 10.02$ kg/cm², la desviación estándar de 0.518 kg/cm² y la resistencia característica $V' m = 9.51$ kg/cm².

En la tabla 5.7, se puede observar la comparación de la resistencia al corte V'_{m} :

Tabla 5.7 Comparación de resultados con otras tesis:

| Autores | V'_{m} (kg/cm²) |
|-----------------|--|
| Sáenz Tenorio | 9.5 |
| Araoz-Velezmoro | 9.3 |
| Plinio Mamani | 9.0 |



CAPÍTULO 6: CONSTRUCCIÓN

6.1 CONSTRUCCIÓN DEL TABIQUE PARA ENSAYO COPLANAR.

Para la construcción del tabique enmarcado en el pórtico existente, se realizó el cartaboneo de los ladrillos, teniendo como premisa que estos tienen que seguir una forma de damero, en la cual la junta de 2 unidades cae sobre el punto medio de la inferior, garantizando así que no se forme un potencial plano de falla. En este caso se tuvo un solo tipo de corte, como se ve en la foto 29.



Foto 29. Corte de ladrillos con máquina.

Conforme se continuó con el asentado, la mezcla del mortero se fue secando, es decir iba perdiendo el temple. Esto debido a las propias características del cemento y además al calor que se presentó en el lugar de trabajo. Por lo cual, hay que retemplar la mezcla agregándole pequeñas cantidades de agua, ya que según la NTE E.070 el tiempo máximo que se puede usar el mortero es de 2 horas, tiempo luego del cual el cemento empieza a fraguar.

No se colocó armadura horizontal a este tabique, ya que este trabajaría con cargas coplanares; además, para que no se comporte como elemento estructural.

El primer día, se levantó solo la mitad del tabique, lo que equivale a 12 hiladas. Este procedimiento está contemplado por la norma, como se ve en la foto 30.



Foto 30. Primera jornada de asentado del tabique.

Ese mismo día, se volvieron a regar los ladrillos que no se usaron y los que recién se habían escogido para la jornada del día siguiente.

Al día siguiente, la jornada se inició humedeciendo ligeramente la hilada donde se quedó, luego se realizó la mezcla del mortero y se continuó con el proceso de asentado, hasta culminar con todas las hiladas y tener el pórtico completo (foto 31).



Foto 31. Segunda Jornada de Asentado del Tabique.

Luego de un par de días se procedió a realizar el tarrajeo del muro usando mortero de proporción (cemento: arena) de 1:6. El tarrajeo se realizó en una sola cara, con la finalidad de poder ubicar las fisuras y grietas que se formen al ensayarlo (foto 32).



Foto 32. Tabique finalizado y tarrajeado.

6.2 CONSTRUCCIÓN DEL TABIQUE PARA ENSAYO ORTOGONAL AL PLANO.

Teniendo completamente limpia la superficie del pórtico existente de concreto armado, se realizó el trazo de las columnetas (de dimensiones de 10.5x15 cm de ancho) y del acero. Luego se procedió a identificar los puntos donde se colocaría el refuerzo de las columnetas, utilizando un taladro y una broca de diámetro de ½” (mayor al diámetro de la espiga) y con una profundidad de 12 cm aproximadamente en la base del pórtico.

A continuación se muestra el cálculo del refuerzo vertical para cada columneta, diseño en zona de tracción:

$$\text{Momento total} = \text{Momento}_{col} + \text{Momento}_{Alb} = 92.76 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momento último} = 92.76 \times 1.25 = 116 \text{ kg.m}$$

Para determinar la cuantía del acero:

$$As = \frac{11600}{4200 \times (8 \times 0.8)} = 0.43 \text{ cm}^2$$

Finalmente, con $1\emptyset 8 \text{ mm}$ se tiene un área equivalente a 0.51 cm^2 , con lo que se cumple el diseño del refuerzo vertical.

De esta manera se procedió a armar el refuerzo vertical con dos barras de 8 mm de diámetro por columneta. Además, se colocaron los estribos cada 20 cm con alambre negro N° 8, sujetos con alambre N° 16 con la ayuda de un tortol (foto 33, 34).



Foto 33. Perforación de puntos donde va anclado el refuerzo vertical.



Foto 34. Armado de refuerzo vertical.

En este caso no se realizó el cartaboneo de los ladrillos. El asentado total del muro consistió en veinticinco hiladas de ladrillos de 1.5cm de espesor, con un mortero (cemento: arena) de 1:4, como se ve en la foto 35. La cantidad de mezcla de mortero que se preparó fue la necesaria para completar la mitad del muro, como antes se mencionó la construcción del muro se desarrolló en dos jornadas. El asentado se realizó presionando de manera vertical las unidades, permitiendo de esta manera que la pasta cementante del mortero se adhiera adecuadamente a los alveolos de las unidades.



Foto 35. Preparación de mortero de cemento para asentado de ladrillo.

Como se trata de un pórtico con tabique de relleno arriostrado, se colocó refuerzo horizontal de $\frac{1}{4}$ " de diámetro, la cual tiene una longitud de 2.15 metros. Debido a que se construyó columnetas delgadas (10.5 cm de espesor), el concreto debe poseer una alta trabajabilidad, garantizando así llenar completamente toda la columneta evitando la formación de posibles cangrejeras u otros problemas.

Para el encofrado de las columnas de arriostre se inició colocando los paneles sobre el trazo de referencia que se hizo sobre el pórtico de concreto armado, para asegurar el espaciamiento de 10.5 cm de espesor de la columneta. En el encofrado se colocaron unos retazos de fierro con longitud de 8cm y $\frac{3}{8}$ " de diámetro, los cuales fueron colocados a lo largo de la columneta. Seguidamente se procedió a apuntalar el encofrado por ambas caras paralelas al muro, para luego ser aplomado (foto 36).



Foto 36. Aplomado de encofrado para columnetas.

La mezcla de concreto tuvo la dosificación de 1:2.5:1.5 (C:A:P) con $f'c = 175$ Kg/cm² de resistencia. Se usó arena gruesa y piedra chancada ½" (comúnmente conocido como confitillo) con un slump alto de 6.5". Se usó un trompo para el mezclado, como se ve en las fotos 37, 38 y 39.



Foto 37. Mezcla de concreto en el trompo.



Foto 38. Prueba del cono de Abrams.



Foto 39. Probetas de concreto de 175 kg/cm².

Finalmente, se procedió a realizar el tarrajeo del muro usando mortero (cemento: arena) de proporción 1:6. El tarrajeo se realizó en una sola cara, pues su única finalidad es ubicar las fisuras y grietas que se formen al ensayarlo (foto 40).



Foto 40. Tabique finalizado y tarrajeado.



CAPÍTULO 7: ENSAYOS DE FUERZA SÍSMICA

7.1. ENSAYO CÍCLICO COPLANAR DEL PÓRTICO DE CONCRETO ARMADO CON TABIQUE.

7.1.1. PREPARATIVOS PARA PÓRTICO CON LADRILLO PANDERETA

El pórtico con ladrillo pandereta se trasladó desde la parte exterior hasta el lugar del ensayo dentro del laboratorio. Se colocó el apoyo del refuerzo transversal (tirante) en la cimentación del pórtico (foto 41).

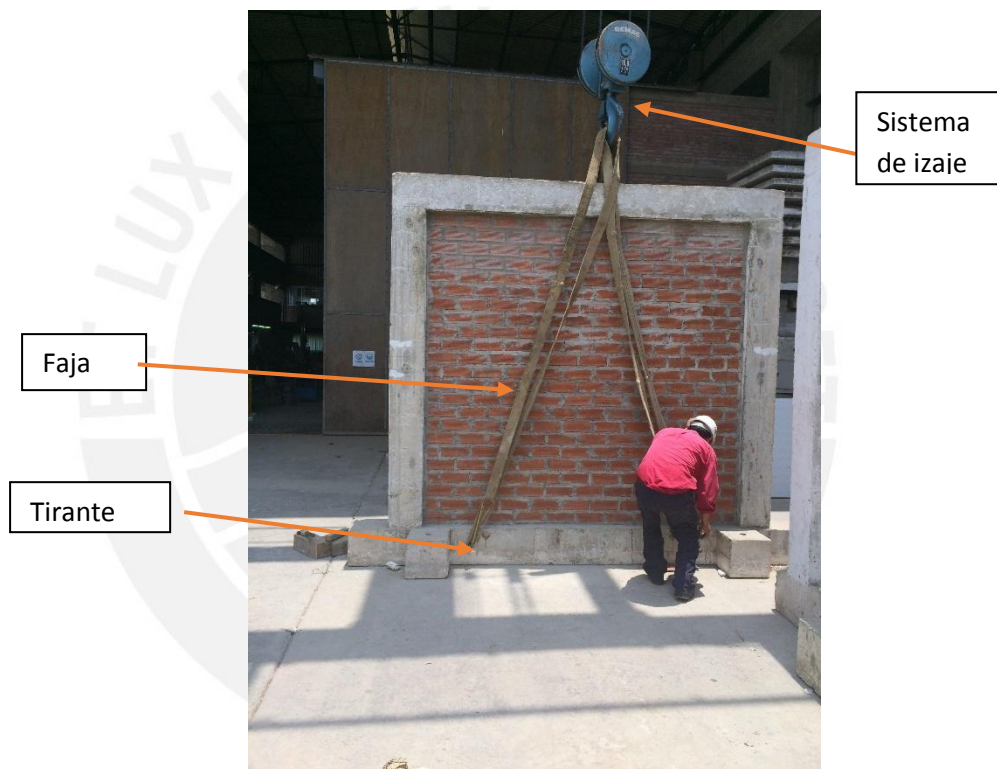


Foto 41. Izaje de pórtico con tabique de ladrillo pandereta.

7.1.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

El ensayo consistió en conocer el grado de influencia del tabique en el pórtico, así como, conocer la interacción entre ambos elementos y cuáles eran las zonas críticas; finalmente, poder conocer el comportamiento del tabique y ver si cumple lo requerido por la NTE E.030 de Diseño Sismoresistente.

Luego de haber colocado el pórtico, se ajustaron los tirantes con cierta presión para garantizar el movimiento. El actuador, gracias a estos tirantes, podrá trabajar en ambos sentidos, tanto empujando como jalando (San Bartolomé et.al., 2000).

El ensayo consistió en 9 fases, en cada una se tiene un desplazamiento máximo infringido. El actuador empuja continuamente hasta llegar al desplazamiento máximo deseado de la fase correspondiente, momento en el cual se para el ensayo para marcar las fisuras (si hubieran); luego, se empieza a jalar continuamente hasta llegar al tope en el otro sentido, momento en el cual el ensayo se detiene para marcar las fisuras. Con esto se completa un ciclo, cantidad que es determinada durante el ensayo, ya que lo que se busca es que la curva se estabilice (tabla 7.1).

Tabla 7.1 Desplazamientos máximos correspondientes a cada fase

| FASES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-------|------|--------|------|
| D1 | 1.5 mm | 2mm | 3mm | 4mm | 5mm | 7.5mm | 10mm | 12.5mm | 15mm |

7.1.3. INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación es muy importante en este tipo de ensayos, ya que es la única forma de conocer a mayor detalle el comportamiento de diferentes puntos de la interfaz pórtico-tabique, del pórtico mismo y del conjunto referente al exterior. Por ello, para este ensayo cíclico coplanar se usó 14 LVDT's.

En la figura 7.1 se muestra el detalle la ubicación de los LVDT:

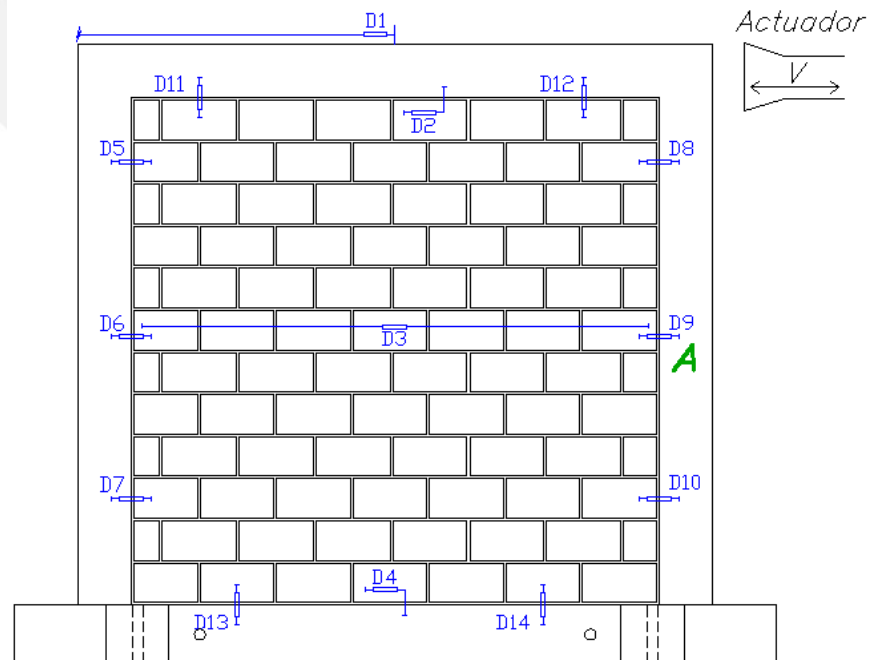


Figura 7.1
Ubicación de los Dispositivos de Medición.

Asimismo, la importancia y función de cada LVDT se detalla en la tabla 7.2:

Tabla 7.2 Función de los Dispositivos de Medición

| LVDT | FUNCIÓN E IMPORTANCIA |
|------|--|
| 1 | Indica el desplazamiento del pórtico a la altura de la viga. El desplazamiento que nos da este LVDT es de suma importancia, ya que nos ayudará a comparar los desplazamientos del pórtico con y sin tabique, y por lo tanto, podremos comparar las rigideces |
| 2 | Nos permite conocer el desplazamiento relativo que existe entre la viga y el pórtico en su punto medio. |
| 3 | Nos permite conocer el desplazamiento relativo entre un extremo y otro del tabique en la línea media del tabique. |
| 4 | Nos permite conocer el desplazamiento relativo entre el pórtico y la viga de la base en su punto medio. |
| 5 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la columna en la esquina superior izquierda del tabique. |
| 6 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la columna en el punto medio de esta al lado izquierdo. |
| 7 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la columna en la esquina inferior izquierda del tabique. |
| 8 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la columna en la esquina superior derecha del tabique. |
| 9 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la columna en el punto medio de esta al lado derecho. |
| 10 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la columna en la esquina inferior derecha del tabique. |
| 11 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la viga en la esquina superior izquierda del tabique. |
| 12 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la viga en la esquina superior derecha del tabique. |
| 13 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la viga en la esquina inferior izquierda del tabique. |
| 14 | Nos permite conocer el desplazamiento del tabique respecto a la viga en la esquina inferior derecha del tabique. |

Se colocó la instrumentación, como se ve en la foto 42.



Foto 42. Instrumentación colocada para tabique con ladrillo pandereta.

Con todos los instrumentos calibrados se procedió a realizar las 9 fases del ensayo. Las fases 2 y 3 fueron de 2 ciclos, mientras que el resto de fases de 3 ciclos. La cantidad de ciclos fue definida durante el mismo ensayo.

7.1.4. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TABIQUE CON LADRILLO PANDERETA

Una vez calibrada la instrumentación, y antes de empezar con el ensayo, se hizo una pequeña prueba para ver que la instrumentación, el actuador y la computadora estén funcionando bien. De manera que al ejecutar el movimiento de izquierda a derecha, se podía comprobar en la pantalla que los resultados llegan con éxito a la computadora.

La fuerza en la base fue de 10 Ton en cada lado para controlar desplazamientos máximos y reacciones que sobrepasen la fuerza del actuador. El actuador se calibró a una fuerza máxima de 80 KN.

En a tabla 7.3, se puede ver el comportamiento del pórtico con tabique de ladrillo pandereta:

Tabla 7.3 Comportamiento del pórtico con tabique de relleno en sus diferentes fases:

| | |
|---|--|
| <p>Fase 01 (D1= 1.5 mm): No se presentó fisuras superficiales considerables (Foto 43)</p> |  <p>Foto 43. La fisura F1 está resaltada con celeste y aparece en la parte inferior del pórtico.</p> |
| <p>Fase 02 (D1= 2 mm): La fisura F1 se hace más notable. Aparecieron grietas en las columnas, producto de que el pórtico ya había sido ensayado anteriormente (Foto 44).</p> |  <p>Foto 44. En la fase 02, la fisura F2 aparece en las columnas y en parte de la prolongación de la fisura F1.</p> |

Fase 03 (D1= 3 mm):

Se puede ver la formación de más fisuras en los nudos entre columna y viga, pero en la superficie del tabique aún no se presentaban fisuras considerables (Foto 45).

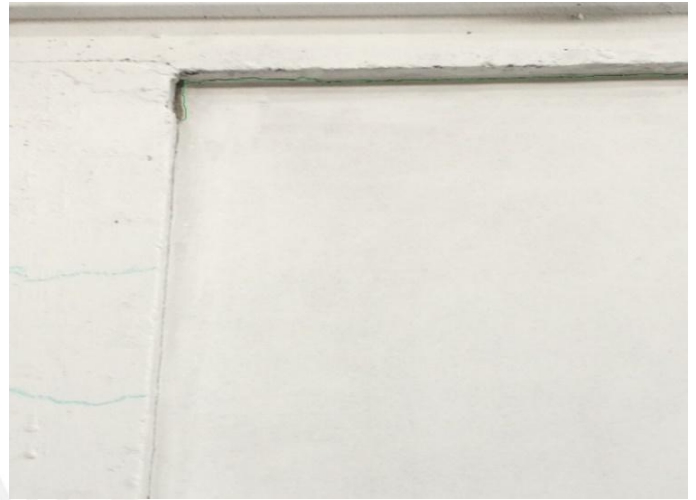


Foto 45. Primeras fisuras en el nudo entre columna y viga.

Fase 04 (D1= 4 mm):

No hubo cambios en cuanto a fisuras. Sin embargo, es lógico pensar que mientras las fases cambian las fuerzas internas de interacción del tabique-pórtico incrementan, y esos cambios se notarán en las fases finales (foto 46).



Foto 46. Desprendimiento de pasta cementante entre columna y tabique.

Fase 05 (D1= 5 mm):

Se prolonga la fisura entre tabique-pórtico en las partes laterales del tabique (Foto 47).



Foto 47. Desprendimiento en la parte lateral del tabique.

Fase 06 (D1= 7.5 mm):

Las fisuras se hacen más notorias, sobre todo las fallas diagonales (Foto 48).



Foto 48. La fisura F6 aparece diagonalmente en la parte inferior izquierda.

Fase 07 (D1= 10 mm):

Se puede ver la trituración del tarrajeo y el incremento de las fisuras F1 y de la fisura F6. Además, se empezó a notar una falla por cizalle (foto 49).



Foto 49. La falla presenta un incremento en cuanto a espesor de la fisura F1 de 3mm a 5mm.

Fase 08 (D1= 12.5 mm):

Las fisuras incrementan su espesor, se presenta mayor falla en la fisura diagonal (foto 50 y 51).

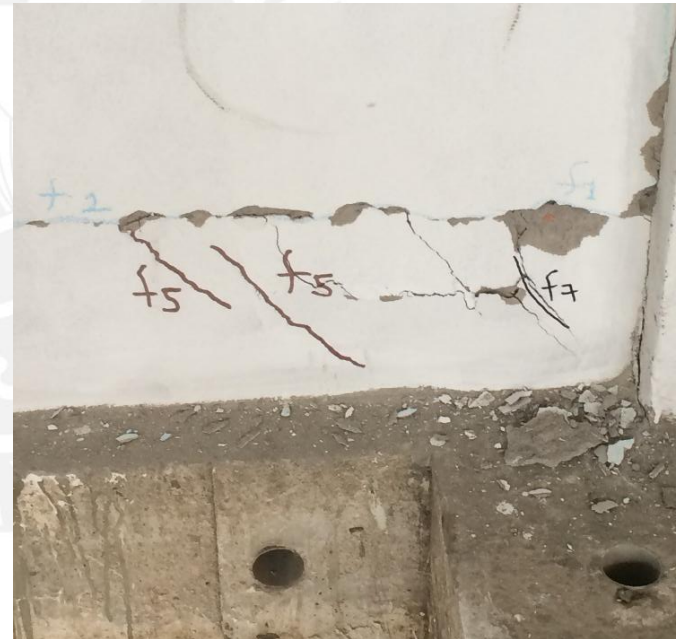


Foto 50. Desprendimiento de tarrajeo, incremento de fisura en el nudo y en la parte inferior del tabique.



Foto 51. Falla diagonal en la parte inferior del tabique

Fase 09 (D1= 15 mm):

La fisura F9 llega a tener un espesor de 2.5 cm (foto 52, 53 y 54). Además, se hace más notorio la presencia de falla por cizalle.



Foto 52. Fisura con un desprendimiento parcial de la pasta cementante.



Foto 53. *Espesor de grieta de 2.5 cm.*



Foto 54. *Tabique con fisuras diagonales en parte inferior, y falla por cizalle.*

7.2. ENSAYO SÍSMICO ORTOGONAL AL PLANO DEL TABIQUE.

7.2.1. PREPARATIVOS PARA EL PÓRTICO

Como se mencionó anteriormente, el laboratorio de estructuras proporcionó un pórtico de concreto armado, a escala natural, para ser usado en esta investigación. Dicho espécimen fue trasladado con ayuda del puente grúa al laboratorio. El traslado se realizó con la ayuda de fajas, colocadas con varillas de acero en los orificios que posee este pórtico, de igual manera que se hizo con el sistema pórtico-tabique para el ensayo cíclico coplanar (foto 55).



Foto 55. Pórtico con tabique sobre el simulador de sismos.

Se esperó 28 días para que el sistema posea la resistencia requerida, tanto el concreto de las columnetas como el de las juntas del muro (no existen ensayos al respecto).

7.2.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

El ensayo del pórtico con tabique arriostrado, se dividió en 5 fases, una vibración libre inicial y 5 vibraciones libres post fase. Se comenzó el ensayo con la vibración libre inicial, para analizar su comportamiento y máxima elongación; luego se procedió con la fase 1, en la cual se aplicó una aceleración en la base, lo que produjo aceleraciones en el pórtico; y finalmente, con la vibración libre post fase 1. Este procedimiento se realizó hasta cumplir las 5 fases.

7.2.3. INSTRUMENTACIÓN.

Se colocaron 9 acelerómetros ubicados estratégicamente. El paño se dividió en 12 áreas (a1 al a12). Las áreas laterales son simétricas, es por ello que no se usó acelerómetros en el lado derecho. Se colocaron 8 acelerómetros en las áreas laterales y centrales y uno en el punto medio del paño grande, como se ve en la figura 7.2 (A1 al A9). La aceleración de la base es A_0 .

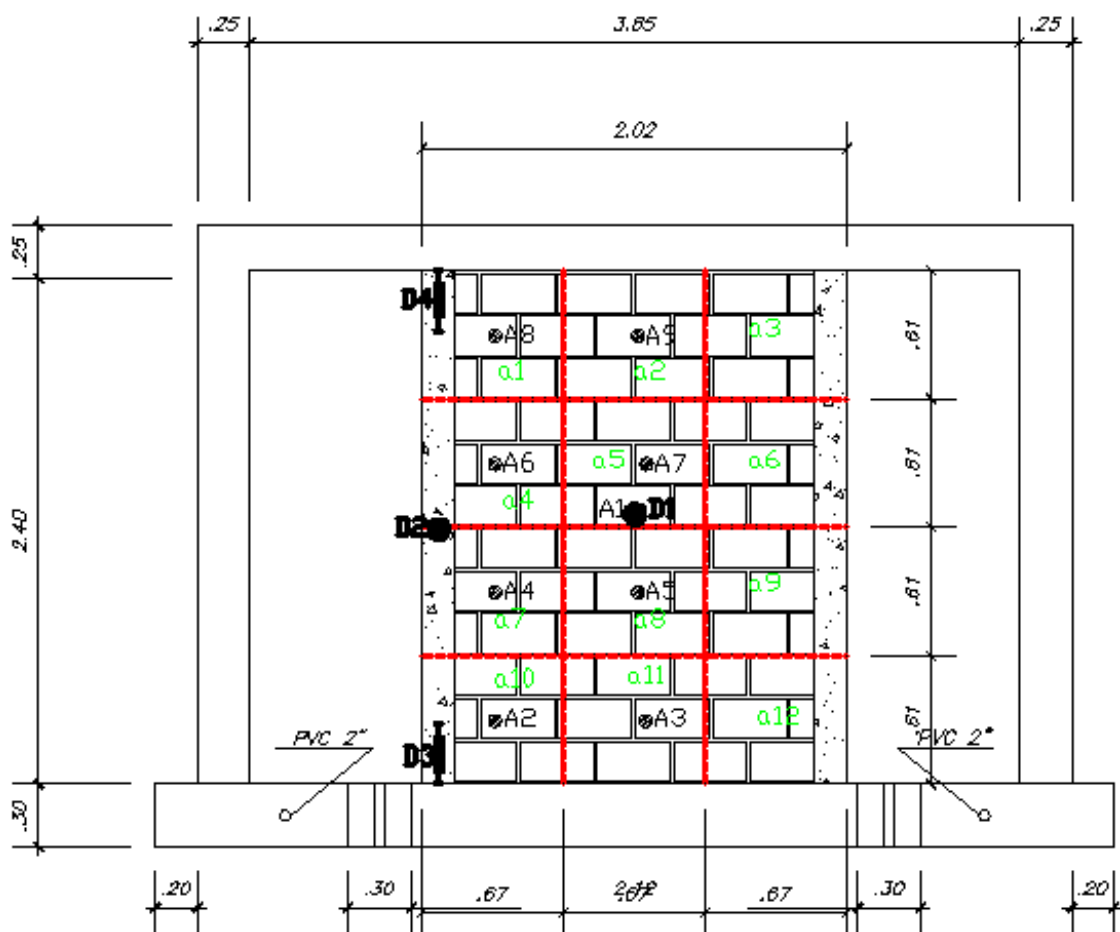




Figura 7.2. División del paño en 12 áreas, para colocar los acelerómetros.

7.2.4. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TABIQUE

A diferencia del pórtico con tabiquería de relleno, del ensayo cíclico coplanar, el comportamiento del pórtico con tabiquería arriostrada no presentó fallas considerables en la superficie ni en la estructura. Se tuvo que agregar una sexta fase de 1.5 g de aceleración para ver cómo se comportaba el espécimen, ya que no aparecían fallas considerables, como se ve en la tabla 7.4. Finalmente, el ensayo se extendió con la determinación de la capacidad final de falla, con el tabique volteado a un plano horizontal. De este modo se obtuvo la carga máxima que puede soportar la tabiquería arriostrada.

Tabla 7.4 Comportamiento del pórtico con tabique arriostrado en todas sus fases:

| | |
|--|--|
| <p>Fase 1: Aceleración $A_0 = 0.2 \text{ g}$.</p> <p>No presenta daños en la superficie ni en la estructura del pórtico (foto 56).</p> |  <p>Foto 56. Fase 1 sin fallas.</p> |
| <p>Fase 2: Aceleración $A_0 = 0.4 \text{ g}$.</p> <p>No presenta daños en la superficie ni en la estructura del pórtico (foto 57).</p> |  <p>Foto 57. Fase 2 sin fallas.</p> |

Fase 3:

Aceleración $A_0 = 0.8 \text{ g}$.

No presenta daños en la superficie ni en la estructura del pórtico (foto 58).



Foto 58. Fase 3 sin fallas.

Fase 4:

Aceleración $A_0 = 1.2 \text{ g}$.

No presenta daños en la superficie ni en la estructura del pórtico (foto 59).



Foto 59. Fase 4 sin fallas.

Fase 5:

Aceleración $A_0 = 1.35 \text{ g}$.

Se observó desprendimiento de pasta cementante entre columneta y viga (foto 60 y 61).



Foto 60. Fase 5, desprendimiento de pasta cementante.

Además, se pudo apreciar la aparición de fisuras en los ladrillos pandereta y en las juntas (foto 62).



Foto 61. Desprendimiento de pasta cementante



Foto 62. Fisuras en ladrillos.

7.2.5. PRUEBA DE CARGA PARA TABIQUE ARRIOSTRADO

El tabique se colocó en posición horizontal sobre unos apoyos de armaduras y luego se dividió el área en 20 recuadros, en los cuales se ubicarían las bolsas de arena de 30 kg cada una (foto 63).

Foto 63. Tabique con recuadros marcados.



Luego se procedió con la colocación de las primeras 20 bolsas de arena, a la cual se denominó como primera hilada (foto 64).



Foto 64. Colocación de primera hilada.

Culminada la colocación de la primera hilada, se detuvo el ensayo para observar las primeras fisuras que se hayan presentado. En este caso no hubo fisuras apreciables (foto 65).

Foto 65. No se presentan fisuras con la primera hilada de bolsas de arena.



En seguida se procedió, de la misma manera, con la segunda hilada. Se colocaron las bolsas de arena sobre el tabique recostado en donde se presentaron las primas fisuras (foto 66 y 67).



Foto 66. Segunda hilada de bolsas de arena.



Foto 67. Falla en junta entre columneta y viga.

De igual manera se procedió con la tercera hilada. En esta etapa del ensayo, las grietas se hicieron más visibles (foto 68 y 69).



Foto 68. Bolsas de arena en la tercera hilada.



Foto 69. Presencia de fisuras en la cara tarrajada, el peso de las bolsas de arena empiezan a ocasionar problemas de falla por flexión.

Era necesario colocar una hilada más para lograr su carga máxima y su capacidad final antes de la falla. Por lo que se procedió con la cuarta hilada, la cual no iba a soportar muchas bolsas de arena. La colocación de las bolsas fue muy minuciosa hasta que se produjo la falla por flexión, al colocar 4 bolsas de arena en la cuarta hilada (foto 70).



Foto 70. Colocación final bolsas en la cuarta hilada.

En la foto 71, se puede ver el estado final del tabique con 64 bolsas de arena sobre él.



Foto 71. Falla por flexión con 64 bolsas de arena.

La carga máxima que soportó el tabique arriostrado, con 64 bolsas de arena de 30 kg cada una, fue 471 kg/m² (tabla 7.5). La secuencia de carga se graficó en la figura 7.3.

Tabla 7.5 Secuencia de carga máxima que soporta el tabique:

| Hilada | N° de bolsas | Carga total (kg) | Carga por unidad de área (kg/m ²) |
|--------|--------------|------------------|---|
| 1 | 20 | 600 | 147 |
| 2 | 40 | 1200 | 294 |
| 3 | 60 | 1800 | 441 |
| 4 | 64 | 1920 | 471 |

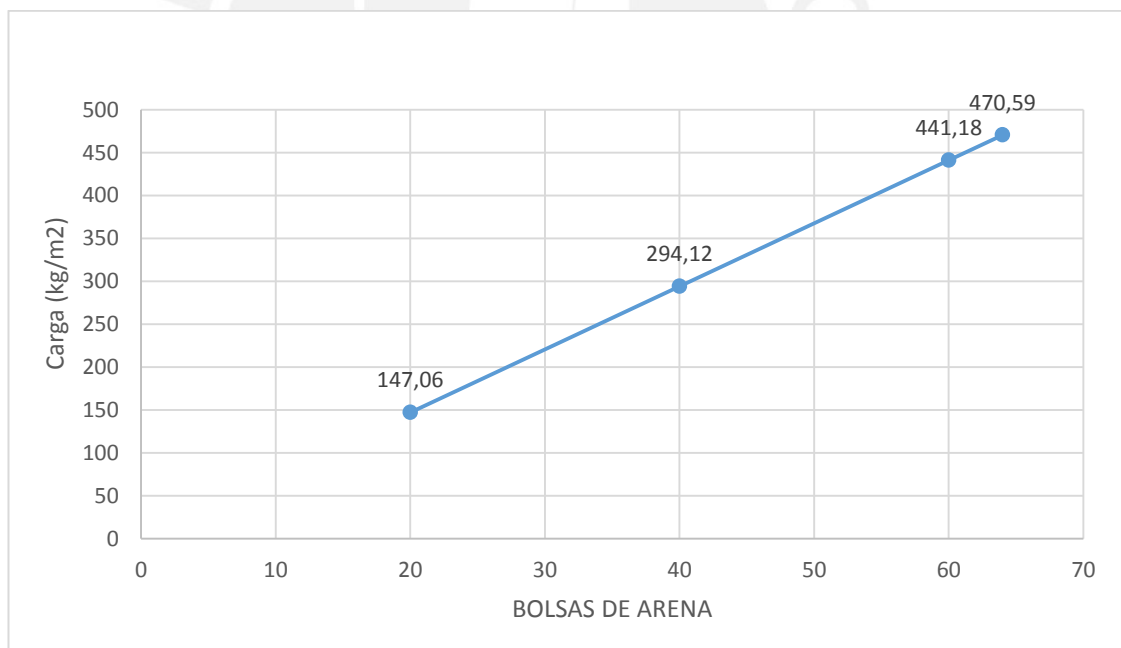


Figura 7.3. Gráfico de carga vs las cantidades de bolsas de arena.

CAPÍTULO 8: PROCESAMIENTO DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

8.1. RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL ENSAYO CÍCLICO COPLANAR DEL PÓRTICO CON TABIQUE

8.1.1. LAZOS HISTERÉTICOS Y SU ENVOLVENTE

De este ensayo se pudo obtener la gráfica del diagrama fuerza V – desplazamiento ($D1$), del cual se puede observar que los lazos histeréticos pasan por el origen de coordenadas, figura 8.1. Esto es común en sistemas que disipan poca energía. Además, se puede ver que conforme aumenta el desplazamiento, la pendiente de los lazos histeréticos va disminuyendo; lo cual indica que hay degradación de la rigidez lateral conforme los daños se incrementan. Por otro lado, según la Norma Sísmica E.030, la deriva máxima permitida es de 0.005 para albañilería y 0.007 para concreto, cuyos alcances se muestran en la tabla 8.1.

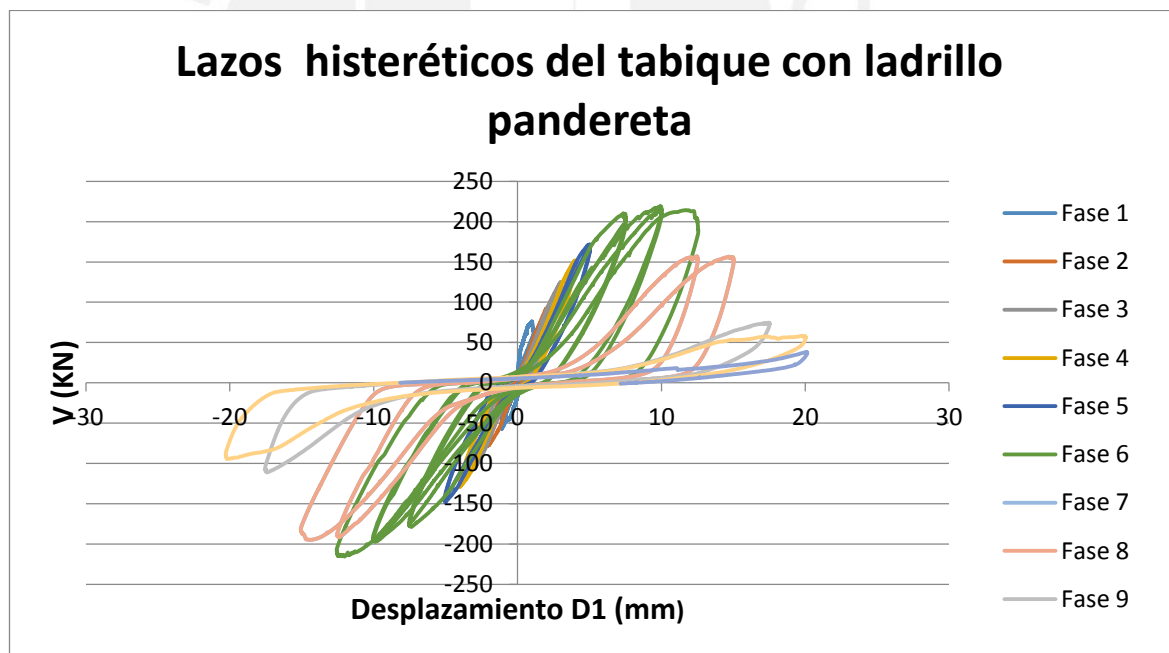


Figura 8.1. Lazos histeréticos del tabique.

La envolvente del diagrama de lazos histeréticos se construye seleccionando los datos asociados a la mayor fuerza cortante (positiva y negativa) de cada fase (figura 8.2).

Para fines prácticos, se resumió en la tabla 8.1 los puntos para graficar la curva envolvente.

Tabla 8.1 Datos asociados a la mayor fuerza cortante y desplazamiento D1 en cada fase:

| Fase | V (kN) | D1 (mm) | Deriva (D1/h) |
|------|--------|---------|---------------|
| 1 | 76.2 | 1.5 | 0.0006 |
| 2 | 92.2 | 2.0 | 0.0008 |
| 3 | 125.1 | 3.0 | 0.0013 |
| 4 | 151.9 | 4.0 | 0.0017 |
| 5 | 171.9 | 5.0 | 0.0021 |
| 6 | 219.6 | 7.5 | 0.0031 |
| 7 | 156.9 | 10.0 | 0.0042 |
| 8 | 122.7 | 12.5 | 0.0052 |
| 9 | 74.7 | 15.0 | 0.0063 |

Según la tabla 8.1, en la fase 8 se supera la deriva máxima permitida por la norma, con una deriva de $0.0052 > 0.005$. Sin embargo, no se llega a superar en ninguna fase la máxima deriva indicada por la norma para el concreto (Deriva= 0.007).

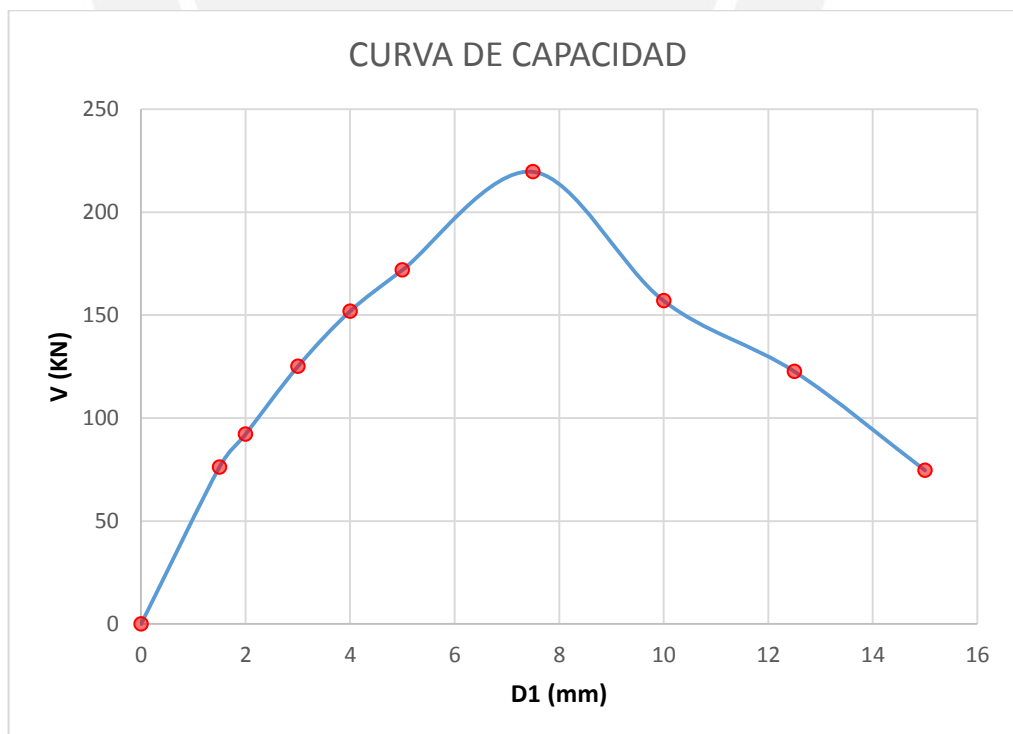
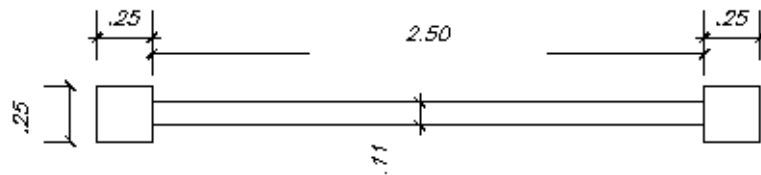


Figura 8.2. Envolvente de lazos histeréticos

8.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL TABIQUE

Según la norma E.070, el cálculo del módulo de elasticidad del tabique E_a , se realiza mediante el modelaje de la sección transformada (figura 8.3). La rigidez del conjunto tabique-pórtico se determinó en la fase 2 en donde empezó a presentarse la fisura diagonal (Fase 2, $K = \frac{V}{D} = 4699.29 \text{ Ton/m}$).

Sección en planta



Sección transformada

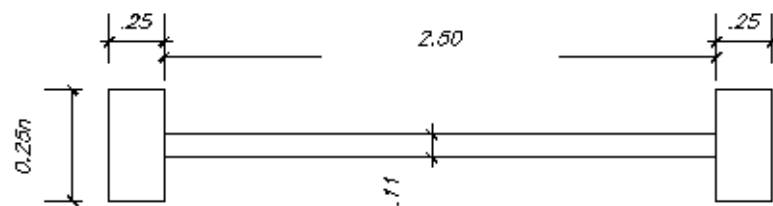


Figura 8.3. Modelaje de la sección transformada.

Para el modelaje de la sección transformada, se usó como valor típico $n = 8$.

Al tener la rigidez del conjunto-pórtico, podemos igualarla a la rigidez proporcionada por la ecuación siguiente para un muro en voladizo

$$K = \frac{E_a}{\frac{h^3}{3I} + \frac{fh}{A} \frac{E_a}{G_a}}$$

Donde:

- K: Rigidez lateral del conjunto
 Ea: Modulo de elasticidad de la albañilería
 h: Altura de la columna
 I: Momento de Inercia de la sección transformada
 A: Área axial de la sección transformada
 F: Factor de forma de la sección transformada
 Ga: Módulo de corte.

De manera que:

- $I = 0.0772 \text{ m}^4$
- $f = \frac{A_{axial}}{A_{corte}} = 4.23$
- $G_a = 0.4 E_a \text{ ton/m}^2$
- $K = 4699.29 \text{ ton/m}$
- $h = 2.4 \text{ m}$
- $A = 1.33 \text{ m}^2$

Despejando Ea, se obtiene que el módulo de elasticidad es:

$$E_a = 369755 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

Se analizó con el programa SAP el sistema pórtico-tabique, con el pórtico de concreto y el tabique modelado como un puntal diagonal (figura 8.4 y 8.5). Para el material del tabique se empleó el módulo de elasticidad $E_a = 369755 \text{ ton/m}^2$. La carga lateral que produjo la grieta diagonal del tabique fue obtenida en la Fase 2, $V=92.2 \text{ kN}$.

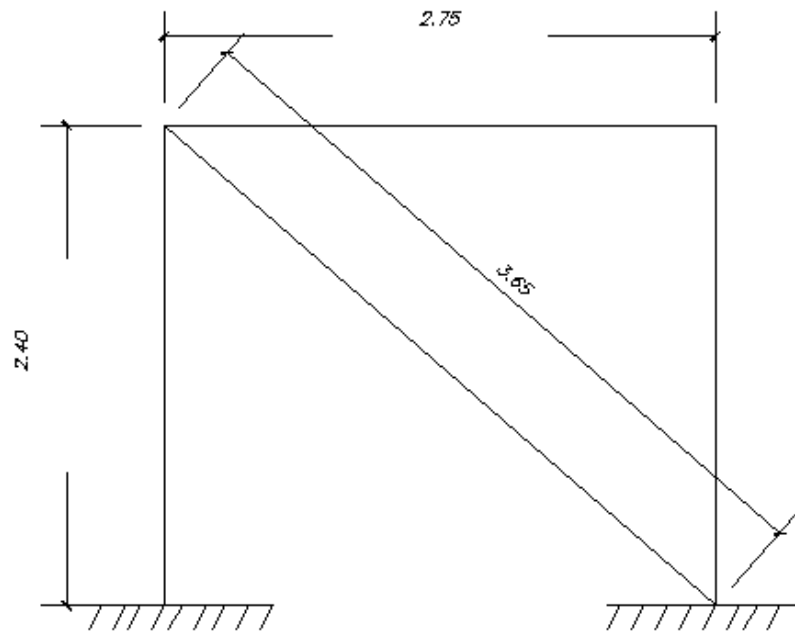


Figura 8.4. Sistema pórtico- tabique.

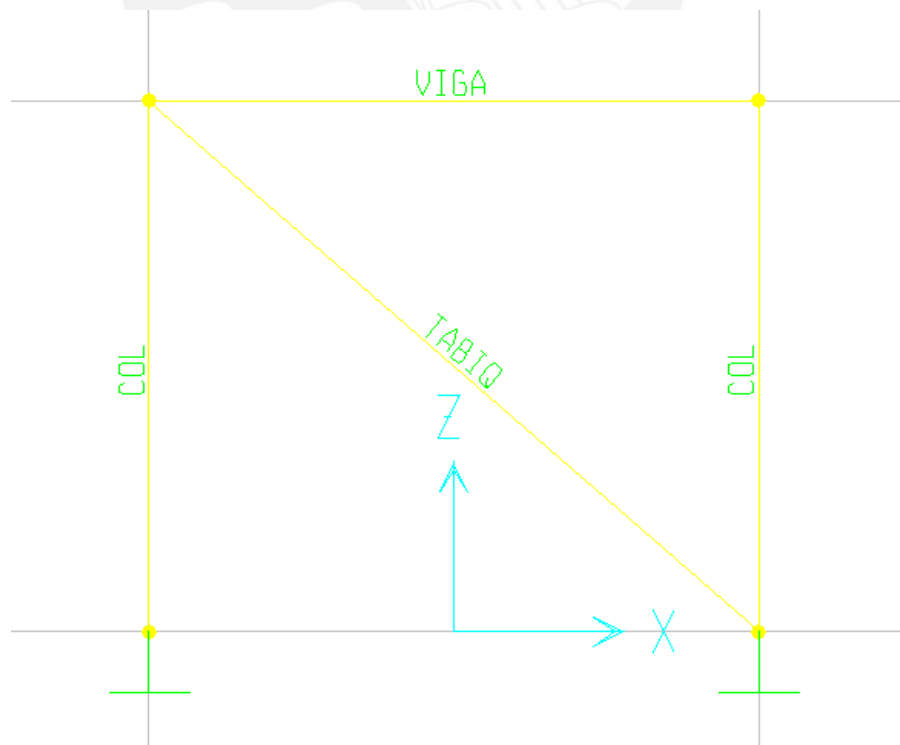


Figura 8.5. Tabique modelado como puntal diagonal.

Se obtuvo la deformada y el diagrama de fuerza axial (figura 8.6 y 8.7):

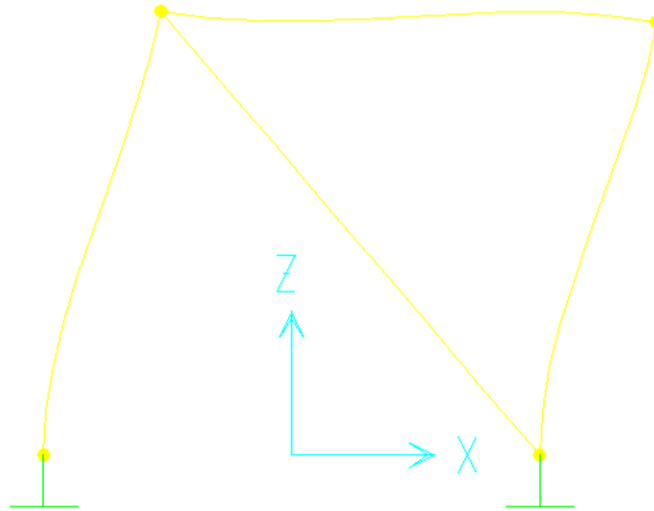


Figura 8.6. Deformada del sistema pórtico – tabique.

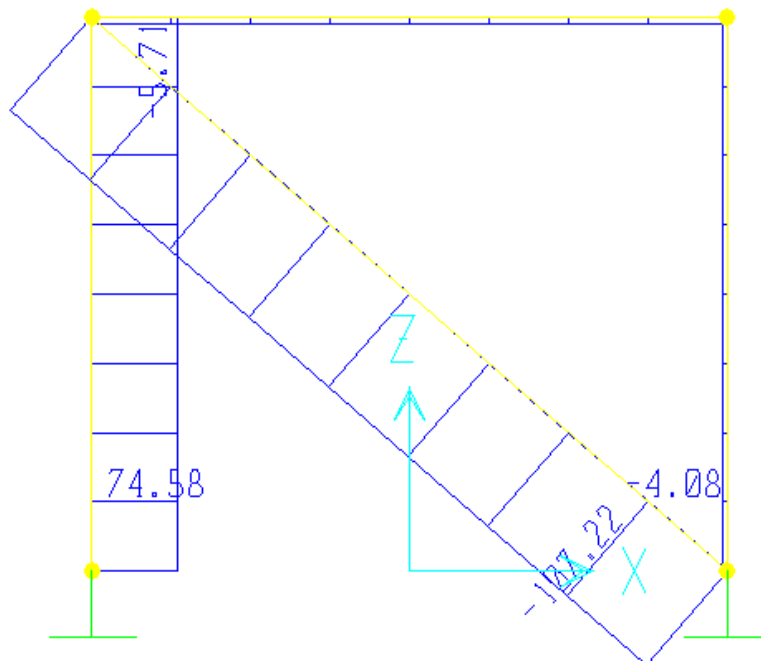


Figura 8.7. Diagrama de fuerza axial.

Finalmente, se obtuvo la carga axial de compresión en el tabique ($V_{\text{puntal}} = 107.22$ kN = 10.93 ton).

8.1.3. COMPARACIÓN DE LA CARGA PUNTAL CON LAS RESISTENCIAS DE LA NORMA (R_c , R_t y R_s):

Las resistencias de tabiques de albañilería de la norma E.070 están relacionadas directamente con el tipo de falla que se ha producido en los tabiques.

La resistencia R_c se obtiene por falla de aplastamiento, la cual se presenta triturando los ladrillos en las esquinas del tabique. La fórmula para calcularlo es:

$$R_c = 0.12x f_{m'} x D x t$$

La resistencia R_t se obtiene por falla de tracción diagonal, la cual se presenta por una grieta diagonal en el tabique. La fórmula para calcularlo es:

$$R_t = 0.85x f_{m'} x D x t$$

La resistencia R_s se obtiene por falla de cizalle, la cual se produce en la mitad de la altura de tabique, y se manifiesta a través de una grieta horizontal. La fórmula para calcularlo es:

$$R_s = \frac{f_s \cdot t \cdot D}{1 - 0.4h/L}$$

Dónde:

D= Longitud de la diagonal

t= Espesor del tabique

L= Longitud del tabique

h= Altura del tabique

f_s = Resistencia última a cizalle = 4 kg/cm²

$f_{m'}$ = Resistencia característica a compresión axial = 13 kg/cm² (Tabla 5.3)

Al reemplazar los datos en cada fórmula presentada líneas arriba, se obtiene las resistencias de la norma, las cuales se muestran en la tabla 8.2.

Tabla 8.2 Comparación de la carga del puntal y las resistencias de la norma.

| | |
|----------|-----------|
| V puntal | 10.93 ton |
| Rc | 5.98 ton |
| Rt | 11.75 ton |
| Rs | 23.55 ton |

En este caso, la falla observada fue una combinación de las 3. En un principio se presentó falla por trituración en los ladrillos superiores; luego, falla diagonal en la parte inferior el tabique; y finalmente, falla por cizalle entre el tabique y el pórtico (caras laterales).

8.2. RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL ENSAYO SÍSMICO ORTOGONAL AL PLANO DEL TABIQUE.

8.2.1. DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo sísmico ortogonal al plano del tabique en la mesa vibradora (la ubicación se mostró en la figura 7.2).

FASE 1-0.2g

| SENSOR | ACELERÓMETRO i | | | | | | | | | | DESPLAZAMIENTO RELATIVO i | | | |
|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) | Dr1 (mm) | Dr2 (mm) | Dr3 (mm) | Dr4 (mm) |
| MAX (+) | 0.15 | 0.34 | 0.17 | 0.17 | 0.28 | 0.27 | 0.30 | 0.35 | 0.42 | 0.43 | 1.22 | 1.04 | 15.16 | 15.17 |
| MIN (-) | 0.19 | 0.36 | 0.22 | 0.21 | 0.31 | 0.29 | 0.36 | 0.38 | 0.46 | 0.46 | 0.79 | 0.79 | 19.69 | 19.69 |

FASE 2-0.4g.

| SENSOR | ACELERÓMETRO i | | | | | | | | | | DESPLAZAMIENTO RELATIVO i | | | |
|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) | Dr1 (mm) | Dr2 (mm) | Dr3 (mm) | Dr4 (mm) |
| MAX (+) | 0.31 | 0.60 | 0.32 | 0.31 | 0.50 | 0.52 | 0.55 | 0.61 | 0.72 | 0.72 | 2.23 | 1.65 | 29.59 | 29.62 |
| MIN (-) | 0.38 | 0.60 | 0.41 | 0.41 | 0.55 | 0.50 | 0.59 | 0.63 | 0.76 | 0.73 | 1.75 | 1.41 | 38.67 | 38.65 |

FASE 3-0.8g.

| SENSOR | ACELERÓMETRO i | | | | | | | | | | DESPLAZAMIENTO RELATIVO i | | | |
|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | A0 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A3 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) | Dr1 (mm) | Dr2 (mm) | Dr3 (mm) | Dr4 (mm) |
| MAX (+) | 0.59 | 1.05 | 0.66 | 0.66 | 0.81 | 0.83 | 0.99 | 1.13 | 1.36 | 1.34 | 4.71 | 4.70 | 61.36 | 61.60 |
| MIN (-) | 0.89 | 1.15 | 0.93 | 0.9 | 1.01 | 0.99 | 1.11 | 1.28 | 1.55 | 1.58 | 4.65 | 4.05 | 80.07 | 79.89 |

FASE 4-1.2g.

| SENSOR | ACELERÓMETRO i | | | | | | | | | | DESPLAZAMIENTO RELATIVO i | | | |
|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) | Dr1 (mm) | Dr2 (mm) | Dr3 (mm) | Dr4 (mm) |
| MAX (+) | 0.89 | 1.32 | 0.95 | 0.94 | 1.34 | 1.26 | 1.45 | 1.43 | 1.78 | 1.69 | 9.23 | 6.96 | 90.92 | 91.09 |
| MIN (-) | 1.25 | 1.75 | 1.31 | 1.35 | 1.6 | 1.52 | 1.65 | 1.82 | 2.05 | 2.17 | 7.06 | 5.32 | 118.43 | 118.31 |

FASE 5-1.35g.

| SENSOR | ACELERÓMETRO i | | | | | | | | | | DESPLAZAMIENTO i | | | |
|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|---------|---------|---------|
| | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) | D1 (mm) | D2 (mm) | D3 (mm) | D4 (mm) |
| MAX (+) | 1.05 | 1.30 | 1.07 | 1.07 | 1.29 | 1.14 | 1.45 | 1.42 | 1.69 | 1.60 | 186.9 | 185.2 | 102.4 | 102.4 |
| MIN (-) | 1.40 | 1.89 | 1.42 | 1.45 | 1.51 | 1.65 | 1.73 | 1.99 | 2.19 | 2.23 | 195.8 | 191.2 | 132.8 | 132.7 |

8.2.2. DETERMINACIÓN DEL PERIODO (Tn)

El periodo varia conforme la fase va incrementando, como se puede ver en tabla 8.3:

Tabla 8.3 Valores que representan el comportamiento del pórtico con tabique arriostrado, con la ayuda del acelerómetro A1:

| Variación sobre Aceleraciones (Acelerómetro A1, centro del tabique) | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Parámetro | Fase 0 | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 4 | Fase 5 |
| ξ (%) | 2.28 | 2.52 | 3.08 | 3.31 | 3.61 | 4.39 |
| Td(seg) | 0.109 | 0.114 | 0.116 | 0.118 | 0.12 | 0.12 |
| Tn(seg) | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |

Además, de la figura 8.8 se puede obtener el periodo como:

$$T = \frac{t \text{ seg}}{\# \text{ ciclos}} = 0.075 \text{ seg}$$

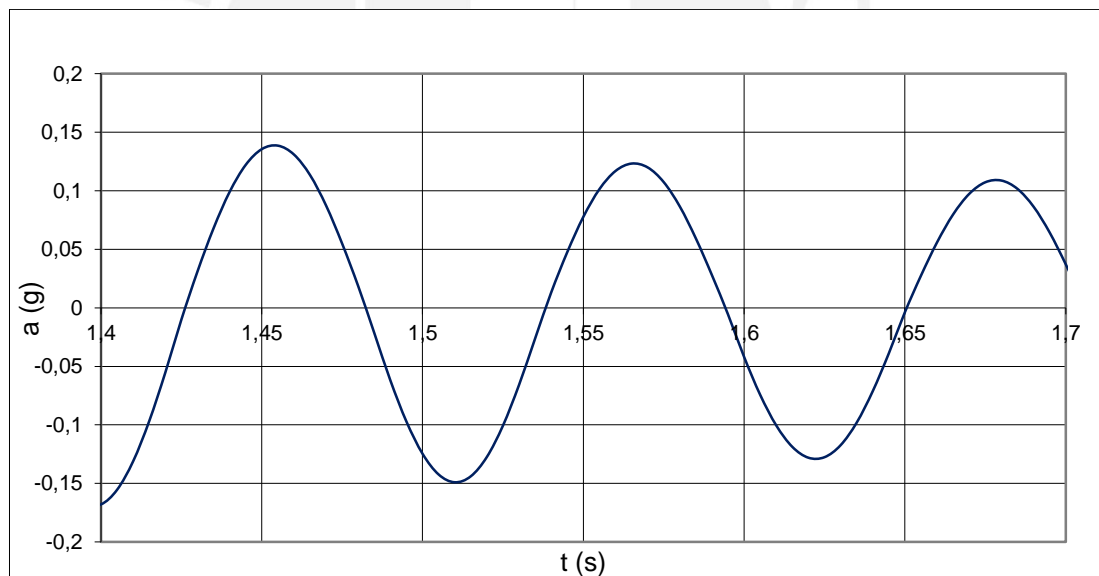


Figura 8.8. Función de aceleración vs tiempo que captó el acelerómetro A1.

8.2.3. ACELERACIONES MÁXIMAS EN VIBRACIONES LIBRES.

Las aceleraciones máximas absolutas se presentan en las vibraciones libres. Este ensayo tuvo 6 vibraciones libres (VL0, VL1, VL2, VL3, VL4 y VL5), y para cada acelerómetro se obtuvo un máximo negativo y un máximo positivo, como se ve en la tabla 8.4.

Tabla 8.4 Aceleraciones para cada acelerómetro y cada vibración libre:

| VL | Inst. | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | Máx: | 0.156 | 0.248 | 0.185 | 0.189 | 0.211 | 0.213 | 0.210 | 0.242 | 0.331 | 0.349 |
| | Mín: | -0.154 | -0.245 | -0.182 | -0.185 | -0.221 | -0.221 | -0.206 | -0.236 | -0.327 | -0.329 |
| | Abs.: | 0.156 | 0.248 | 0.185 | 0.189 | 0.221 | 0.221 | 0.210 | 0.242 | 0.331 | 0.349 |

| VL | Inst.: | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | Máx: | 0.156 | 0.254 | 0.187 | 0.191 | 0.212 | 0.219 | 0.218 | 0.249 | 0.324 | 0.343 |
| | Mín: | -0.154 | -0.264 | -0.178 | -0.181 | -0.231 | -0.229 | -0.223 | -0.255 | -0.319 | -0.324 |
| | Abs.: | 0.156 | 0.264 | 0.187 | 0.191 | 0.231 | 0.229 | 0.223 | 0.255 | 0.324 | 0.343 |

| VL | Inst.: | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2 | Máx: | 0.159 | 0.231 | 0.185 | 0.193 | 0.213 | 0.216 | 0.216 | 0.248 | 0.315 | 0.334 |
| | Mín: | -0.161 | -0.269 | -0.178 | -0.182 | -0.222 | -0.238 | -0.211 | -0.253 | -0.308 | -0.318 |
| | Abs.: | 0.161 | 0.269 | 0.185 | 0.193 | 0.222 | 0.238 | 0.216 | 0.253 | 0.315 | 0.334 |

| VL | Inst.: | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3 | Máx: | 0.158 | 0.225 | 0.174 | 0.177 | 0.171 | 0.176 | 0.205 | 0.249 | 0.272 | 0.282 |
| | Mín: | -0.157 | -0.197 | -0.172 | -0.178 | -0.175 | -0.177 | -0.179 | -0.198 | -0.265 | -0.279 |
| | Abs.: | 0.158 | 0.225 | 0.174 | 0.178 | 0.175 | 0.177 | 0.205 | 0.249 | 0.272 | 0.282 |

| VL | Inst.: | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4 | Máx: | 0.154 | 0.208 | 0.167 | 0.172 | 0.172 | 0.178 | 0.186 | 0.227 | 0.251 | 0.263 |
| | Mín: | -0.149 | -0.195 | -0.166 | -0.169 | -0.174 | -0.177 | -0.168 | -0.198 | -0.251 | -0.255 |
| | Abs.: | 0.154 | 0.208 | 0.167 | 0.172 | 0.174 | 0.178 | 0.186 | 0.227 | 0.251 | 0.263 |

| VL | Inst.: | A0 (g) | A1 (g) | A2 (g) | A3 (g) | A4 (g) | A5 (g) | A6 (g) | A7 (g) | A8 (g) | A9 (g) |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 5 | Máx: | 0.155 | 0.202 | 0.173 | 0.176 | 0.173 | 0.183 | 0.177 | 0.218 | 0.254 | 0.267 |
| | Mín: | -0.155 | -0.188 | -0.163 | -0.172 | -0.172 | -0.173 | -0.164 | -0.192 | -0.252 | -0.249 |
| | Abs.: | 0.154 | 0.202 | 0.173 | 0.176 | 0.173 | 0.183 | 0.177 | 0.218 | 0.254 | 0.267 |

8.2.4. CARGA SÍSMICA DEL TABIQUE SEGÚN LA NORMA E.070

Según la Norma Peruana E.070 de Albañilería, un sistema constituido por un pórtico de concreto armado y por un tabique de albañilería corresponde a un sistema con muro no portante; es decir, según la norma el tabique es un elemento no estructural, por lo que la fuerza sísmica transversal al tabique se supondrá que actúa como una losa simplemente apoyado en sus arriostres, sujeta a cargas sísmicas uniformemente distribuidas, la magnitud de esta carga (w , en kg/m^2) para un metro cuadrado de muro, se calculará mediante la siguiente expresión:

$$w = 0,8 \cdot Z \cdot U \cdot C_1 \cdot \gamma \cdot e$$

Donde:

Z: factor de zona especificado en la NTE E.030. Diseño Sismorresistente.

U: factor de importancia especificado en la NTE E.030. Diseño Sismorresistente.

C_1 : coeficiente sísmico especificado en la NTE E.030. Diseño Sismorresistente.

e: espesor bruto del muro (incluyendo tarrajeos), en metros.

γ : peso volumétrico de la albañilería.

Para este caso, se utilizaron los valores:

$$Z = 0.4 \text{ (Costa del Perú).}$$

$$U = 1 \text{ (Edificaciones comunes).}$$

$$C_1 = 0.9 \text{ (Muros dentro de una edificación).}$$

$$e = 0.105\text{m.}$$

$$\gamma = 1400 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ (Según norma).}$$

Entonces:

$$W = 0.8 \times 0.4 \times 1 \times 0.9 \times 0.105 \times 1400 = 42.34 \text{ kg}/\text{m}^2$$

8.2.5. CARGA SÍSMICA DEL TABIQUE SEGÚN EL ENSAYO DINÁMICO:

Como se mencionó en el capítulo 7, el tabique fue dividido en 12 áreas tributarias (a_1 : a_{12}), según los acelerómetros colocados (A_1 : A_9), como se ve en la figura 8.9. A cada área le corresponde una masa y una aceleración, y la sumatoria de la multiplicación de estas nos proporciona la fuerza total dinámica en cada fase.

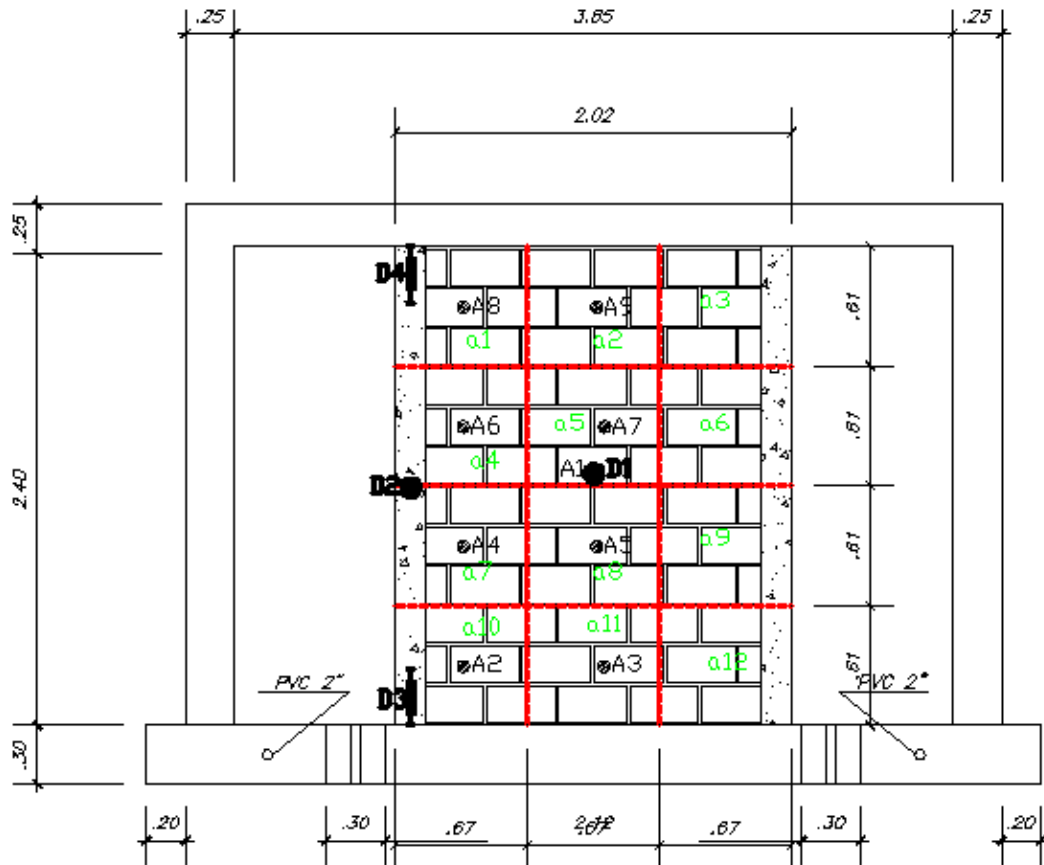


Figura 8.9. División de muro en áreas tributarias.

Para obtener la carga sísmica en cada fase, se debe dividir la fuerza total dinámica entre el área del muro:

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{12} m_i x a_i$$

$$w = F_{total} / A$$

Dónde:

F total = Fuerza total dinámica

W = Carga sísmica en cada fase

A = Área del muro

En la tabla 8.5 se muestra los pesos de cada área que representa a una parte del tabique:

Tabla 8.5 Masa de cada área en kg.s2/m:

| ÁREA | TABIQUE + COLUMNETAS |
|------|----------------------|
| | MASA (kg.s2/m) |
| 1 | 5.84 |
| 2 | 4.83 |
| 3 | 5.84 |
| 4 | 5.84 |
| 5 | 4.83 |
| 6 | 5.84 |
| 7 | 5.84 |
| 8 | 4.83 |
| 9 | 5.84 |
| 10 | 5.84 |
| 11 | 4.83 |
| 12 | 5.84 |

Luego de calcular la sumatoria de las fuerzas de cada área en cada fase, se puede resumir los resultados en la tabla 8.6, en dónde se presenta el incremento de la carga sísmica W :

Tabla 8.6 Obtención de carga sísmica en cada fase:

| | Fase 1 (0.2g) | Fase 2 (0.4g) | Fase 3 (0.8g) | Fase 4 (1.2g) | Fase 5 (1.35g) |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| $F_{máx(+)} (kg)$ | 34.73 | 62.55 | 110.32 | 141.99 | 137.27 |
| $F_{máx(-)} (kg)$ | -38.36 | -63.68 | -126.72 | -188.05 | -199.70 |
| $F_{máx} (kg)$ | 38.36 | 63.68 | 126.72 | 188.05 | 199.70 |
| $A(m^2)$ | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 4.8 |
| $W (kg/m^2)$ | 8 | 13.27 | 26.40 | 39.18 | 41.60 |

No se alcanzó la carga de diseño de la norma ($W = 42.34 \text{ kg/m}^2$), la falla ocurrió con $W = 471 \text{ kg/m}^2$ en el ensayo con bolsas de arena.

Se presenta en la figura 9.1 el crecimiento de la carga sísmica conforme las fases cambian.

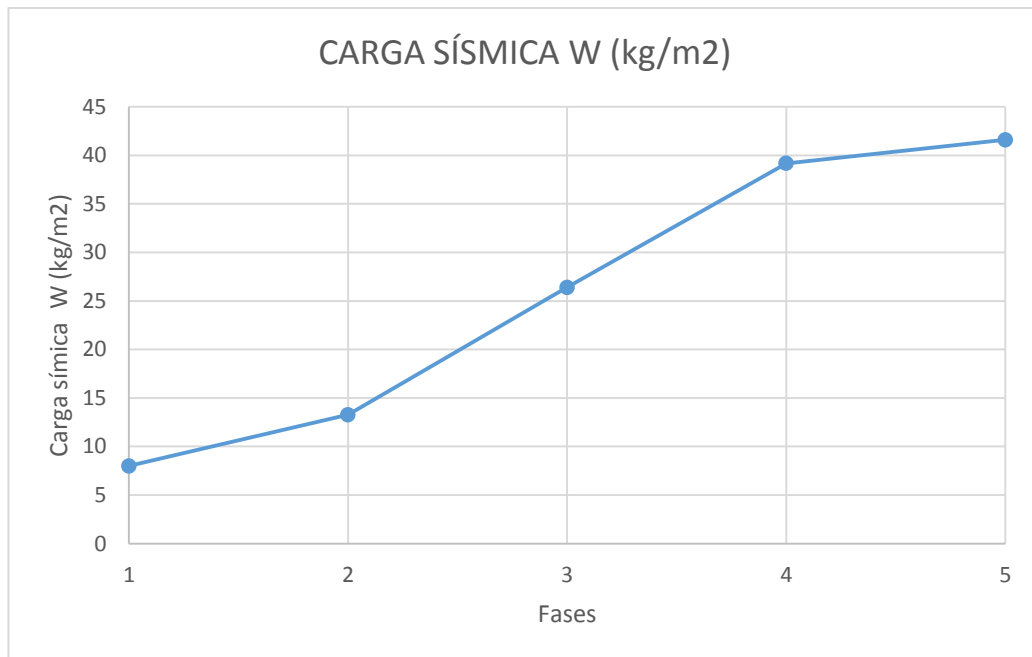


Figura 9.1. Incremento de carga sísmica.

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De la construcción, no hubo problemas para usar pórticos existentes en el LEDI. Ambos pórticos fueron resanados con concreto líquido en las fisuras superficiales que tenían las columnas, antes de ser utilizadas para esta tesis.
- La albañilería hecha con ladrillo pandereta es no estructural y la resistencia es muy variable.
- El ensayo de compresión axial en las pilas se realizó hasta su rotura. La resistencia característica obtenida en este tema de investigación es $f'm = 13 \text{ kg/cm}^2$, la cual es menor a las resistencias obtenidas por Araoz- Velezmoro ($f'm = 24 \text{ kg/cm}^2$) y Mamani ($f'm = 57 \text{ kg/cm}^2$). De lo que se puede concluir que el comportamiento del ladrillo pandereta es impredecible y no es confiable para el uso de muros portantes, consideración importante para futuras investigaciones.
- En cuanto a la falla ideal, en las pilas se debe buscar que la falla sea por expansión lateral. En este caso, las 3 pilas tuvieron una falla frágil en diferentes momentos.
- La gráfica de la pila 3 (Fuerza vs Desplazamiento) presenta un desarrollo más lineal que las otras pilas, alcanzando una mayor fuerza axial; esto se debe a que el capping no se trituró rápidamente, lo que contribuyó a que las fuerzas axiales se distribuyan a lo largo del prisma, provocando finalmente su falla por trituración completa.
- En los muretes, la falla ideal, debe de seguir la trayectoria de la diagonal sin que se pierda adherencia entre el mortero y el ladrillo. La falla ideal no ocurrió en este ensayo, pues en los dos primeros muretes la falla fue mixta, ya que presentaron falla por tracción diagonal y falla escalonada por la baja adherencia en las juntas; y en el tercer murete, solo se presentó la falla escalonada por la baja adherencia en las juntas. Se tuvo que obviar los resultados obtenidos en este ensayo, pues no se obtuvo una falla ideal.
- Del ensayo cíclico coplanar, en el comportamiento global se notó cierto desprendimiento entre muro y columnas, las grietas se apreciaban más en el sector central pero no cubrían toda la diagonal. La fisura diagonal empezó a aparecer en la fase 2, y más adelante tuvo un incremento lento hasta la última fase.

- Para determinar el módulo de elasticidad del tabique (E_m), en el ensayo cíclico coplanar, se asumió un módulo de corte $G_m = 0.4 E_m$ como indica la norma E.070. Además, se trabajó la sección transformada con el máximo valor de $n=8$.
- Del ensayo cíclico coplanar la carga de agrietamiento del tabique es mayor a la capacidad indicada por la norma. Este resultado no es un buen indicador, ya que podrían presentarse serios problemas en la estructura al desaparecer la acción de puntal, como problemas de piso blando en donde la fuerza del sismo se daría con mayor fuerza (San Bartolomé A., Quiun D. y Silva W., 2011).
- La carga sísmica de diseño perpendicular al plano, usando la norma, equivale a 42.34 kg/m². La carga sísmica experimental no supera dicho valor, teniendo un alcance máximo de 41.60 kg/m², correspondiente a la fase 5 con una aceleración de 1.35 g. El sistema pórtico con tabique arriostrado no presentó fallas considerables por no superar la carga sísmica de diseño.
- El sistema pórtico con tabique arriostrado, del ensayo sísmico con carga perpendicular al plano, fue sometido a una prueba de carga máxima en plano horizontal con $W = 471$ kg/m². Con esta carga, el sistema falló por flexión con casi 10 veces la carga sísmica obtenida en la fase 5. Para este caso particular, lo señalado en la norma E.070 no aplica, y esto se puede deber a que el sistema ha estado sobredimensionado.
- En general, el ladrillo pandereta se puede usar como tabiquería, pero sin esperar que tenga un comportamiento como muro portante. Como se puede evidenciar en los ensayos de prismas y muretes, el ladrillo pandereta tiene baja resistencia a la compresión.
- Finalmente, esta tesis demuestra que el ladrillo pandereta sí se puede usar como tabiques de relleno y como tabiques de división en ambientes, con un sistema de pórtico con tabique arriostrado, pues se comportó correctamente.

REFERENCIAS:

- San Bartolomé, A. y Urdaneta, Vinicio (1999). Interacción Tabique-Pórtico. Lima: Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP.
- Lostaunau Neira, D. y San Bartolomé, A. (2000). Comportamiento sísmico de los paneles de Drywall. Ensayo cíclico coplanar. Lima: Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP.
- Del Águila Herrera, R. y San Bartolomé, A (2000). Comportamiento sísmico de los paneles de Drywall. Ensayo sísmico ortogonal al plano. Lima: Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP.
- Kahhat Abedrabbo, R. y San Bartolomé, A. (2000). Comportamiento sísmico de los paneles de Drywall. Ensayo sísmico coplanar. Lima: Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP.
- San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, W. (2011). Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Araoz, T. y Velezmoro, J. (2012). Reforzamiento de Viviendas Existentes Construidas con Muros Confinados Hechos Con Ladrillos Pandereta. Lima: Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP.
- Mamani, P. (2015). Comportamiento Mecánico de Muros de Albañilería Tubular Confinada Reforzados con Malla Electrosoldada Ante Cargas Sísmicas y Gravitacionales. Lima: Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y Sensico (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.070 “Albañilería”. Norma E.060 “Concreto Armado”. Norma E.030 “Diseño Sismorresistente”. Norma E.020 “Cargas”. Lima: Gráfica El Porvenir S.A.
- INDECOPI (2006). Normas Técnicas Peruanas. Lima: INDECOPI.
- American Society for Testing And Materials (2000). ASTM Standards source (recurso electrónico). West Conshohocken, PA: ASTM.