

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**“ENSAYO DE RESISTENCIA POR ACCIONES PERPENDICULARES AL PLANO PARA  
VERIFICAR LO ESTIPULADO EN LA NORMA E.070 DE ALBAÑILERIA PARA LA  
PROPUESTA ESTRUCTURAL DE UN MURO DISEÑADO CON FINES  
ARQUITECTÓNICOS”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**LINEA DE INVESTIGACION: ESTRUCTURAS**

**AUTOR:**

**Br. Collantes Yupanqui, Ewdis Marlon**

**ASESOR:**

**Ing. Galicia Guarníz William Conrad**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2016**

## PRESENTACIÓN

Tengo la oportunidad y dicha de presentar mi tesis, que con esfuerzo y dedicación he logrado desarrollar, con la intención de contribuir a nuestra sociedad realizando un ensayo de resistencia por acciones perpendiculares al plano para verificar lo estipulado en la Norma E.070 de Albañilería para la propuesta estructural de un muro diseñado con fines arquitectónicos.

El presente trabajo trata de demostrar que las mejoras estructurales en cualquier tipo de edificación son necesarias para salvaguardar la integridad física de las personas, ya que el Perú se encuentra entre los países que conforman el llamado cinturón de fuego haciéndonos por ende propicios a soportar sismos de gran magnitud.

Espero que este trabajo cumpla con las expectativas y quede a disposición de quienes estén interesados en saber más sobre los temas aquí descritos.

## DEDICATORIA

*“Porque el conocimiento crece más, mientras más se comparte”*

|              |   |
|--------------|---|
| A mi madre   | Por el apoyo incondicional, por su sacrificio, su paciencia y todo su esfuerzo brindado a mi persona. |
| A mi padre   | Por mostrarme siempre el camino del bien, de las buenas costumbres y de la perseverancia.             |
| A mi familia | Por el apoyo brindado durante toda la vida universitaria.   |

*E. Marlon Collantes Yupanqui.*

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres por el esfuerzo que dieron y siguen dando para ser de mi cada día una mejor persona y un excelente profesional.

A mi asesor el Ing. William Conrad Galicia Guarníz por su apoyo, su preocupación y su disposición prestada durante la ejecución de este trabajo.

Al Arq. Luis Pérez Santamaría por su creatividad y habilidad en el diseño arquitectónico, para así poder hacer posible este proyecto.

A mis profesores e ingenieros que a lo largo de mi carrera me han inculcado valores y conocimiento los cuales me han hecho la persona de bien que soy ahora.

## RESUMEN EJECUTIVO

Los cercos y parapetos de albañilería trabajan a carga sísmica perpendicular a su plano. Cuando estos elementos carecen de arriostre o reforzamiento en su estructura, terminan volcándose ante los sismos. Incluso ha podido observarse que arriostres verticales hechos de concreto simple (no reforzado), o de mochetas de albañilería simple no son efectivos para soportar el sismo. Estos arriostres o reforzamientos deben ser diseñados de acuerdo al DISEÑO POR ACCIONES PERPENDICULARES AL PLANO DE UN MURO, aquí se presenta los principales fundamentos e hipótesis de la Norma E. 070 y su capítulo 9: “Diseño por cargas ortogonales al muro” en lo relacionado al diseño estructural por acciones perpendiculares al plano de los muros de albañilería no portante, específicamente en su artículo 29.6.

La arquitectura moderna y los cada vez más exigentes diseños arquitectónicos nos obligan a realizar ensayos de diversos tipos de acuerdo a las solicitudes de cada proyecto, para poder brindar seguridad tanto en el proceso constructivo como el producto final, es por esta razón que es necesario realizar el ensayo de resistencia a cargas laterales de un muro diseñado con fines arquitectónicos para brindar y salvaguardar la integridad física de las personas.

## ABSTRACT

Fences and masonry parapets work to seismic load perpendicular to its plane. When these elements lack bracing or reinforcement structure, pouring end to earthquakes. It has even been found that vertical bracing made of simple concrete (unreinforced), mochetas or simple masonry are not effective to withstand the quake. These bracings or reinforcements should be designed according to DESIGN BY PLANE PERPENDICULAR TO ACTIONS OF A WALL, here the main foundations and assumptions of the Standard E. 070 and Chapter 9 presents: "Design by orthogonal loads to the wall" in relation to the structural design actions perpendicular to the plane of the non-bearing masonry walls, specifically Article 29.6.

Modern architecture and the increasingly demanding architectural designs require us to perform tests of various types according to the requests of each project, to provide security both in the construction process and the final product, it is for this reason that it is necessary the test for resistance to lateral loads of a wall designed for architectural purposes to provide and safeguard the physical integrity of persons.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |    |
|--|----|
| PRESENTACION   |    |
| DEDICATORIA  |    |
| AGRADECIMIENTOS  |    |
| RESUMEN  |    |
| ABSTRACT   |    |
| 1. INTRODUCCION  |    |
| 1.1 Planteamiento del Problema .....                               | 11 |
| 1.1.1 Formulación del Problema.....                                | 12 |
| 1.2 Antecedentes y Justificación.....                              | 12 |
| 1.3 Objetivos.....   | 13 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA  |    |
| 2.1 Marco Teórico .....  | 14 |
| 2.1.1 Breve historia de la Mampostería .....                       | 20 |
| 2.1.2 Construcción de Albañilería .....                            | 20 |
| 2.1.3 Albañilería Estructural .....                                | 20 |
| 2.1.4 Tipos de Albañilería y Especificaciones Reglamentarias ..... | 22 |
| 2.1.5 Componentes de la Albañilería .....                          | 31 |
| 2.1.6 Comportamiento Sismico Real de Muros no Portantes .....      | 54 |
| 2.2 Materiales y Métodos .....                                     | 61 |
| 2.2.1 Materiales .....   | 61 |
| 2.2.2 Métodos .....  | 61 |
| 2.2.2.1 Tipo de Investigación .....                                | 61 |
| 2.2.2.2 Diseño de investigación .....                              | 61 |
| 2.2.2.3 Variables de estudio y Operacionalizacion .....            | 62 |
| 2.2.2.4 Instrumentos de recolección de Datos .....                 | 62 |
| 2.2.2.5 Procedimientos y Análisis de Datos .....                   | 63 |
| 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS   |    |
| 3.1 Análisis .....   | 73 |
| 3.2 Toma de Datos.....   | 78 |
| Muros Reforzados .....   | 79 |
| Muros No Reforzados.....   | 81 |
| Esfuerzo admisible en tracción por flexión .....                   | 85 |
| Distorsión .....   | 88 |
| Cuantía proporcionada .....  | 90 |
| 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....                                   | 91 |
| 5. RECOMENDACIÓN.....  | 94 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....                                 | 95 |
| 7. ANEXOS .....  | 96 |
| - Fotografías del proyecto real.                                   |    |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA | PÁGINA  |
|--------|---|
| 01     | Unidad de albañilería de barro secada al sol (Jericó 7350 años a.C.). 15            |
| 02     | Ollantaytambo. Cusco, Perú (siglo XIV) ..... 15                                     |
| 03     | Torre de Babel ..... 17   |
| 04     | Zigurat de Ur ..... 17  |
| 05     | Piramide de Giza y Partenón ..... 18  |
| 06     | Rio Támesis en Londres ..... 19   |
| 07     | Edificio de Albañilería con Pórticos (mixto)..... 21                                |
| 08     | Muros No Portantes ..... 23   |
| 09     | Albañilería No Reforzada ..... 24   |
| 10     | Albañilería armada ..... 26   |
| 11     | Albañilería de junta seca ..... 27  |
| 12     | Albañilería Laminar ..... 28  |
| 13     | Albañilería Confinada ..... 28  |
| 14     | Ladrillos Nacionales de arcilla, para edificios de albañilería confinada 31         |
| 15     | Bloques Nacionales de arcilla, para edificaciones de albañilería<br>armada ..... 32 |
| 16     | Ladrillos artesanales de arcilla ..... 33   |
| 17     | Fabricación industrial de ladrillos de arcilla ..... 33                             |
| 18     | Cantera ..... 34  |
| 19     | Tamizado artesanal ..... 35   |
| 20     | Tamizador Industrial ..... 35   |
| 21     | Molienda ..... 35   |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 22 | Moldeado artesanal .....                                    | 36 |
| 23 | Variedad de ladrillos sílico-calcáreos .....                | 38 |
| 24 | Ladrillo hueco y sólido .....                               | 39 |
| 25 | Prueba de variación dimensional .....                       | 43 |
| 26 | Prueba de alabeo .....                                      | 44 |
| 27 | Transmisión de la carga sísmica hacia los arriostres .....  | 59 |
| 28 | Cargas sobre un cerco de Albañilería .....                  | 60 |
| 29 | Dimensiones del sobrecimiento .....                         | 63 |
| 30 | Armado del sobrecimiento .....                              | 64 |
| 31 | Vaciado del sobrecimiento .....                             | 64 |
| 32 | Disposición del acero vertical en el muro .....             | 65 |
| 33 | Disposición del acero vertical en el muro .....             | 66 |
| 34 | Muro No Reforzado .....                                     | 67 |
| 35 | Pórtico Metálico .....                                      | 68 |
| 36 | Transportador de Madera .....                               | 68 |
| 37 | Cadenas más tecele .....                                    | 68 |
| 38 | Huincha .....   | 68 |
| 39 | Señalando el eje del muro .....                             | 69 |
| 40 | Señalando el eje del muro proyectado al sobrecimiento ..... | 69 |
| 41 | Pórtico anclado para ejecutar el ensayo .....               | 70 |
| 42 | Muro Inclinado .....  | 71 |
| 43 | Colapso de Muro No Reforzado .....                          | 72 |
| 44 | Colapso de Muro Reforzado .....                             | 74 |
| 45 | Angulo $\alpha$ .....                                       | 74 |
| 46 | Determinando el ángulo $\alpha$ .....                       | 74 |

## ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICO

| TABLA   | PÁGINA |
|---|--------|
| 01 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales .....                        | 42     |
| 02 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines<br>estructurales ..... | 46     |
| 03 Granulometría de la arena gruesa .....   | 49     |
| 04 Tipos de Mortero .....   | 50     |
| 05 Granulometría del confitillo .....   | 53     |
| 06 Composición volumétrica del concreto liquido o grout .....                           | 53     |
| 07 Valores del coeficiente de momentos “m” y dimensión crítica “a” .....                | 57     |

| GRAFICOS   | PÁGINA |
|--|--------|
| 01 Resistencia de Muros Reforzados .....   | 83     |
| 02 Resistencia de Muros No Reforzados .....                                      | 84     |
| 03 Cuadro comparativo de Muros Reforzados y No Reforzados .....                  | 84     |
| 04 Cuadro comparativo de Distorsión de Muros Reforzados y<br>No Reforzados. .... | 89     |

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Nuestro país, está ubicado dentro del “Cinturón de Fuego” y casi al borde del encuentro de dos placas tectónicas. La Sudamericana y la de Nazca, las que como explican los especialistas, alternan entre ellas, produciéndose un efecto llamado de subducción, el que ha provocado en los últimos años un gran número de sismos de gran poder destructivo en la parte occidental de nuestro territorio.

A nivel local:

Ocho distritos y 30 mil edificaciones ubicadas a lo largo de nuestra provincia sufrirían terribles daños o quedarían destruidas, respectivamente, si ocurriese un sismo de 7,5 grados en la escala de Richter que azotaría Trujillo.

Los puntos de amenaza más serios se encuentran en La Esperanza, Salaverry, Alto Trujillo, Alto Salaverry, Alto Moche, El Milagro y Cerro Pesqueda. Ello debido a que las viviendas están construidas sobre suelos arenosos y colapsarían con facilidad. Otro problema se presenta en El Golf, pues la zona es pantanosa.

Adicionalmente a la problemática de un eventual sismo en nuestra localidad, está presente la constante y emergente evolución Arquitectónica que cada vez es más exigente y no es suficiente aplicar los conocimientos ya adquiridos para diferentes tipos de construcciones, sino que también con los nuevos modelos arquitectónicos es necesario realizar nuevos ensayos para así poder brindar la seguridad necesaria y cumplir con lo estipulado en las diferentes Normas y reglamentos de nuestro país.

Es por estas razones que nace la necesidad de realizar el ENSAYO DE RESISTENCIA POR ACCIONES PERPENDICULARES AL PLANO PARA VERIFICAR LO ESTIPULADO EN LA NORMA E.070 DE ALBAÑILERIA

PARA LA PROPUESTA ESTRUCTURAL DE UN MURO DISEÑADO CON FINES ARQUITECTÓNICOS.

### **1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Logrará la propuesta estructural de un muro diseñado con fines arquitectónicos cumplir lo estipulado en la norma E.070 de albañilería con el ensayo de resistencia por acciones perpendiculares a su plano?

## **1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

La Ingeniería Estructural es parte muy importante dentro de la formación de un ingeniero civil y más aún en nuestra región que vive en un creciente desarrollo económico que requiere de proyectos constructivos que ayuden a este desarrollo, además sabiendo que nuestro país está ubicado en un territorio sísmico, continuamente azotado por fuertes sismos que han dejado lamentables consecuencias; es necesario aplicar correctamente las normas dadas por el Reglamento Nacional de Edificaciones para lograr que el proyecto cumpla con las metas establecidas durante su vida útil.

El propósito principal de este trabajo de suficiencia profesional, es el de garantizar el cumplimiento de lo estipulado en nuestra Norma Técnica Peruana, la E.070 de Albañilería, para lo cual se tendrá que diseñar un ensayo que nos permita medir y cuantificar las fuerzas de falla y poder comparar los resultados obtenidos con los de la Norma E.070 de albañilería.

Es necesario mencionar también que existen numerosas investigaciones, sobre el Sistema de Albañilería Confinada en nuestro medio, siendo las más importantes: “Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería” del ingeniero Ángel San Bartolomé y “Albañilería Estructural” del ingeniero Héctor Gallegos, a la fecha continúan las investigaciones, siendo este trabajo un aporte más a las investigaciones para desarrollar mejor la ingeniería estructural.

### **1.3 OBJETIVOS:**

#### **Objetivo General:**

Demostrar que la influencia del Acero de refuerzo mejorará la resistencia por acciones perpendiculares al plano del muro.

#### **Objetivos Específicos:**

- Aplicar el ensayo apropiado que nos permita cuantificar las variables.
- Realizar las pruebas para observar y medir las deformaciones y fuerzas de falla.
- Construcción de los muretes que describan adecuadamente el diseño arquitectónico real.
- Realizar las comparaciones de los resultados obtenidos en los muretes reforzados vs la Norma E.070 de Albañilería.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 MARCO TEÓRICO:

Con el propósito de alcanzar más conocimientos, es necesario estudiar el comportamiento de las edificaciones de albañilería en todas sus formas, ante los terremotos ocurridos en el pasado, así como la influencia de diversos parámetros que han sido investigados a nivel teórico y experimental. Los resultados de estos estudios permitieron renovar en el Perú la Norma de Albañilería E.070 (SENCICO 2006), cuyas especificaciones aplicadas en la construcción y en el diseño estructural permiten que estas edificaciones puedan soportar todo tipo de solicitaciones, principalmente sismos moderados sin fisurarse (comportamiento elástico) y quedar en un estado reparable ante los sismos severos.

#### 2.1.1 Breve Historia de la Mampostería.

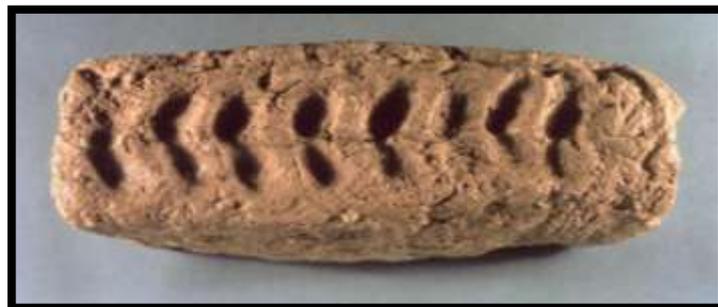
Es probable que la albañilería haya sido inventada por un nómada recolector de alimentos, antepasado nuestro, hace unos 15,000 años. Podemos imaginar que al no encontrar un refugio natural para protegerse del frío y de las bestias salvajes, el decidió apilar piedras para formar un lugar donde guarecerse. Sin embargo, como la transmisión de técnicas o ideas era, en esas épocas, muy lenta o simplemente no ocurría, la “invención” seguramente tuvo que repetirse innumerables veces.

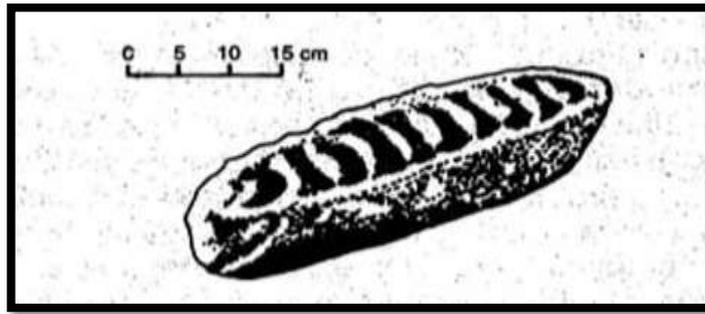
El paso siguiente en el proceso de desarrollo de la albañilería debió ser la utilización del mortero de barro. Este permitía ya no solo apilar, sino también acomodar o asentar con más facilidad y, ciertamente, a más altura, las irregulares piedras naturales. Los

cierres del recinto así formado tenían la virtud de proteger a sus habitantes del aire y de la lluvia, y de ser más resistentes y estables.

Este paso se dio, seguramente, cuando se comenzaron a integrar las primeras aldeas. El hombre había descubierto los principios del cultivo de la tierra y de la cría de ganado, con lo que conquistó la primera gran transformación de sus condiciones de existencia; al lograr el control sobre su propia provisión de alimentos, accediendo así a los inicios de la vida civilizada. Existen vestigios de poblados prehistóricos construidos con piedras asentadas con barro desde las Islas Aran, en Irlanda, hasta Catal Hüyük, en Anatolia; también en otro lugar distante y en otro momento, unos 10,000 años después, el mismo sistema constructivo fue empleado por los incas en Ollantaytambo, en el valle del Urubamba, cerca del Cusco, donde quedan construcciones importantes, con muros de piedra natural asentada con mortero de barro y techos de rollizos de madera cubiertos con una gruesa capa de paja, muchas de las cuales son habitadas hasta hoy.

La **primera unidad de albañilería** artificial consistió en una masa amorfa de barro secada al sol; vestigios de esta unidad han sido encontrados en las ruinas de Jericó (Medio Oriente), 7350 años a.C. Es interesante destacar que antiguamente las unidades no tenían una forma lógica, y se han encontrado unidades de forma cónica en lugares y épocas distintas: en Mesopotamia (7000 años de antigüedad) y en Huaca Prieta, Perú (5000 años de antigüedad).





**Fig. 2.1.** *Unidad de albañilería de barro secada al sol (Jericó 7350 años a.C.)*



**Fig. 2.2.** *Ollantaytambo. Cusco, Perú (siglo XIV). Esquema de las edificaciones en las laderas. Los muros son de piedra; has sido asentados con barro y recubiertos luego con enlucidos de barro.*

El **molde** empleado para la elaboración de las unidades artificiales de tierra, lo que hoy denominamos “adobe”, fue creado en Sumeria (región ubicada en el Valle del Éufrates y Tigris, en Baja Mesopotamia) 4000 a.C. A raíz de aquel acontecimiento, empezaron a masificarse las construcciones de albañilería en las primeras civilizaciones.

El adobe fue llevado al horno unos 3000 años a.C. en la ciudad de Ur, tercera ciudad más antigua del mundo (después de Eridú y

Uruk, Pertenecientes a la cultura Sumeria, lo que hoy es Irak), y se formó así lo que ahora se denomina el **ladrillo de arcilla o cerámico**. A partir de entonces, se levantaron enormes construcciones de ladrillos asentados con betún o alquitrán, como la torre de Babel (Fig. 2.3; “Etemenanki”, Zigurat de 8 pisos, Fig. 2.4); y en la época del Rey Nabucodonosor II (Babilonia, 600 a.C.), se construyeron edificios hasta de 4 pisos.



**Fig. 2.3.** Torre de Babel



**Fig. 2.4.** Zigurat de Ur.

Fue en Babilonia que el Rey Hammurabi (1700 a.C.) creó **el primer reglamento de construcción**, donde se especificaba que, si por causas atribuibles al constructor fallecía el propietario de una

vivienda, se debía dar muerte al constructor de la misma, y si fallecía el hijo del propietario, había que dar muerte al hijo del constructor.

Por aquella época, pero en otras civilizaciones, se efectuaron construcciones de albañilería aprovechando la materia prima existente en la zona. Por ejemplo (Fig. 2.5) en Egipto se asentaban rocas con mortero de Yeso y arena (como las pirámides de Giza, con unos 4000 años de antigüedad); mientras que en Grecia se asentaron piedras con mortero de cal, revestidas con mármol (como el templo a la diosa Atenea, “Partenón”, 440 a.C.)



**Fig. 2.5.** Pirámide de Giza y Partenón.

El **mortero de cemento puzolánico** fue inventado por Vitruvio (arquitecto romano, 25 a.C.), quien mezcló con cal y agua la “arena volcánica” del Vesubio (actualmente denominada “puzolana”). Fue a partir de aquel entonces que hubo una gran innovación en las formas estructurales, y se construyeron enormes estructuras con arcos, bóvedas y lucernarios, tal como el “Panteón” en Roma.

Después de la caída del Imperio Romano, el mortero puzolánico paso al olvido, hasta que Smeaton (ingeniero británico) lo rescató en el año 1756 para construir un faro en Inglaterra. En el siglo XVIII, en conjunto con la Revolución Industrial (que comenzó en Inglaterra), empezó la industrialización en la fábrica de ladrillos, y se inventaron maquinas como trituradoras, mezcladoras y prensas para

moldear mecánicamente el ladrillo; aunque se cree que se empleaban 2 Kg de carbón para hornear 1 Kg de arcilla. En Perú, los ladrillos de arcilla llegaron en la época de la colonia española, y la primera fábrica de ladrillos fue construida en Lima en el año 1856.

La **primera obra de albañilería reforzada** data del año 1825, En Inglaterra. Brunel (ingeniero británico) construyó 2 accesos verticales a un túnel bajo el río Támesis (Londres, Fig. 2.6), de 15 m de diámetro y 20 m de profundidad, con paredes hechas de albañilería de 75cm de espesor, reforzadas verticalmente con pernos de hierro forjado y horizontalmente con zunchos metálicos.



**Fig. 2.6.** *Río Támesis en Londres*

La **albañilería confinada** fue creada por ingenieros italianos, después de que el sismo de Messina, Sicilia, en 1908 arrasara con las viviendas no reforzadas. En Perú, la albañilería confinada ingresó después del terremoto de 1940; mientras que la armada lo hizo en la década del 60, pese a que esta había sido creada antes.

Cerrando la historia, se debe indicar que el estudio racional de la albañilería se inició recién a partir de los ensayos llevados a cabo en los Estados Unidos (1913) y en la India (1920). En Perú, los primeros ensayos en albañilería se realizaron en la década del 70 y los escasos resultados alcanzados hasta el año 1982 fueron utilizados

en la elaboración de nuestro primer reglamento específico de albañilería (Norma E.070, ININVI, 1982).

Finalmente, los múltiples ensayos realizados, así como las investigaciones teóricas y las enseñanzas dejadas por los sismos, permitieron elaborar en Perú una moderna Norma E.070, publicada en el año 2006 como parte del Reglamento Nacional de Edificaciones. A diferencia de otros materiales (como el acero o concreto armado), debe indicarse que la adaptación; de Normas de diseño extranjeras resultan inaplicables al caso de la albañilería peruana; esto se debe a la gran diferencia de los materiales de construcción, así como en la mano de obra y las técnicas de construcción empleadas en otros países.

### **2.1.2 Construcción de Albañilería.**

Se define como construcción de albañilería a todo aquel sistema donde se ha empleado básicamente elementos de albañilería (muros, vigas, pilastras, etc.). Estos elementos a su vez están compuestos por unidades de albañilería (bloques o ladrillos) de arcilla, sílice-cal o de concreto, adheridas con mortero de cemento o concreto fluido (**"Grout"**).

Estas construcciones pueden tener diferentes fines, como, por ejemplo: viviendas, tanques de almacenamiento de agua, muros de contención, etc. Sin embargo, debe indicarse que la Norma E.070 y las actuales investigaciones están orientadas a aportar conocimientos al tema de la vivienda; en consecuencia, para construcciones distintas a edificios, las disposiciones de la Norma se aplicaran en la medida que sea posible.

### **2.1.3 Albañilería Estructural.**

Son las construcciones de albañilería que han sido diseñadas racionalmente, de manera que las cargas actuantes durante su vida

útil se transmitan adecuadamente a través de los elementos de albañilería (convenientemente reforzados) hasta el suelo de cimentación.

En cuanto a **edificios**, el sistema estructural de albañilería puede emplearse solo cuando estos contengan abundancia de muros; por ejemplo, en viviendas uni o multifamiliares, etc. Esto no quiere decir que toda la estructura debe de ser únicamente de albañilería, sino que pueden existir columnas y placas de concreto armado o de cualquier otro material, que ayuden a los muros a transmitir la carga vertical, o que en conjunto con la albañilería tomen la fuerza sísmica; sin embargo, el sistema estructural predominante estará conformado por los muros de albañilería.



**Fig. 2.7.** Edificio de Albañilería con Pórticos (mixto)

## 2.1.4 Tipos de Albañilería y Especificaciones Reglamentarias.

La albañilería se clasifica de dos maneras:

- Por la función estructural.
- Por la distribución del refuerzo.

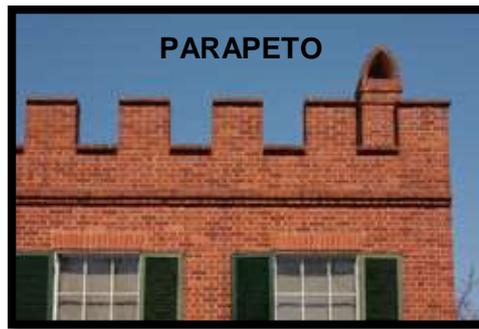
### 2.1.4.1 Clasificación por la Función Estructural.

Por la función que desempeñan los muros, se clasifican en **Portantes y No Portantes**.

**Muros No Portantes**, Son los que no reciben carga vertical, son por ejemplo los cercos, parapetos y tabiques (Fig. 2.8). Estos muros deben **diseñarse básicamente para cargas perpendiculares a su plano**, originadas por viento, sismos u otras cargas de empuje. No se diseñan para acciones sísmicas coplanares porque su masa es pequeña y genera fuerzas de inercia mínimas en comparación con su resistencia a fuerza cortante.

Mientras que los cercos son empleados como elementos de cierre en los linderos de una edificación (o de un terreno), los tabiques son utilizados como elementos divisorios de ambientes en los edificios; en tanto que los parapetos son usados como barandas de escaleras, cerramientos de azoteas, etc.





**Fig. 2.8.** *Muros No Portantes*

En nuestro medio, los **tabiques** generalmente son hechos de albañilería debido a sus buenas propiedades térmicas, acústicas, resistentes e incombustibles. Por lo general, en estos elementos se emplea mortero de baja calidad y ladrillos tubulares (perforaciones paralelas a la cara del asentado), denominados “pandereta”, cuya finalidad es aligerar el peso del edificio, con la consiguiente reducción de fuerzas sísmicas. Sin embargo, si los tabiques no han sido cuidadosamente aislados de la estructura principal, haciéndolos “**flotantes**”, ocurrirá la interacción tabique-estructura en el plano del pórtico.

**Muros Portantes**, Son los que se emplean como elementos estructurales de un edificio. Estos muros están sujetos a todo tipo de sollicitación, tanto contenida en su plano como perpendicular al mismo, tanto vertical como lateral, así como permanente o eventual.

#### 2.1.4.2 Clasificación por la Distribución del Refuerzo.

De acuerdo a la distribución del refuerzo, los muros se clasifican en:

- A. Muros no reforzados o de albañilería simple.
- B. Muros reforzados (armados, albañilería de junta seca, laminares y confinados)

##### **A. Muros No reforzados o de Albañilería Simple.**

Son aquellos muros que carecen de refuerzo o que, teniéndolo, no cumplen con las especificaciones mínimas reglamentarias que debe tener todo muro reforzado.

De acuerdo a la Norma E.070, este tipo de edificación no debe emplearse, por el carácter frágil de su falla ante los sismos (Fig. 2.9).



**Fig. 2.9.** *Albañilería No Reforzada.*

Sin embargo, en Lima existen muchos edificios antiguos de albañilería no reforzada, incluso de 5 pisos, ubicados sobre suelos de buena calidad y con alta densidad de muros en sus dos direcciones, razones por las que estos sistemas se han comportado elásticamente (sin ningún tipo de daño) ante los terremotos ocurridos en los años de 1966, 1970 y 1974.

Un edificio ubicado en Lima (de pisos) fue estudiado por Rafael Cestti, en su tesis de investigación (PUCP-1992), quien demostró (usando el programa "TODA" de análisis dinámico

paso a paso) que ante las acciones de los sismos de 1966, 1970 y 1974, el edificio se comportaba elásticamente, debido no solo a su alta resistencia, sino también por su elevada rigidez lateral otorgada por los muros y el alféizar de las ventanas; sin embargo, ante la acción de sismos más severos, la estructura era insegura y podía colapsar.

Cabe destacar que un muro de albañilería no reforzada presenta prácticamente la misma resistencia a fuerza cortante que un muro confinado de iguales características; sin embargo, las columnas de confinamiento incrementan la rigidez lateral del muro confinado, reduciendo el periodo de vibrar de la edificación correspondiente y la fuerza sísmica actuante. Aparte, las columnas de confinamiento proporcionan ductilidad después de que la albañilería confinada se agrieta por corte y, además, las columnas proporcionan arriostres verticales al muro confinado ante acciones sísmicas perpendiculares a su plano.

## **B. Muros Reforzados.**

De acuerdo a la disposición del refuerzo, los muros se clasifican en:

**B.1** Muro de albañilería armada (muro armado)

**B.2** Muro de albañilería de junta seca.

**B.3** Muro laminar (“Sandwich”)

**B.4** Muro de albañilería confinada (muro confinado)

### **B.1 Muro de albañilería armada (muro armado).**

Los muros armados se caracterizan por llevar el refuerzo en el interior de la albañilería (Fig. 2.10). Este refuerzo esta generalmente distribuido a lo largo de la altura del muro (refuerzo horizontal) como de su longitud (refuerzo vertical). Para integrar el refuerzo con la albañilería, es necesario llenar los alvéolos (o celdas) de los bloques con concreto liquido (grout).



**Fig. 2.10.** *Albañilería armada.*

Estos muros requieren de la fabricación de unidades con alvéolos donde se puedan colocar el refuerzo vertical; en tanto que, dependiendo del diámetro del refuerzo horizontal, este se coloca en los canales de la unidad (cuando el diámetro es mayor de  $\frac{1}{4}$ "), o en la junta horizontal (cuando el diámetro es menor o igual  $\frac{1}{4}$ "). El diámetro de refuerzo horizontal depende de la magnitud de la fuerza cortante que tiene que ser soportada íntegramente por el acero.

### **B.2 Muro de albañilería de junta seca.**

Una variedad de los muros armados son los muros de **junta seca** o **apilables**. Estos son muros que no requieren el uso de mortero en las juntas verticales u horizontales (Fig. 2.11).



**Fig. 2.11.** *Albañilería de junta seca.*

### B.3 Muro Laminar (“Sandwich”).

Este muro está constituido por una placa delgada de concreto (dependiendo si el espesor es de 1 a 4 pulgadas, se usa Grout o concreto normal) reforzado con una malla de acero central, y por dos muros de albañilería simple que sirven como encofrados de la placa (Fig. 2.12).

Debido a la adherencia que se genera entre el concreto y los muros de albañilería, así como por el refuerzo transversal (en forma de “Z”) que se emplea para conectar los dos muros y como apoyo del refuerzo horizontal, se logra la integración de todo el sistema.

Sin embargo, en la única investigación experimental realizada en el Perú por el Ing. Héctor Gallegos, utilizando ladrillos sílico - calcáreos en la albañilería, se observó un buen comportamiento elástico del muro laminar, con una elevada rigidez lateral y resistencia al corte; pero después de producirse el agrietamiento diagonal de la placa, ocurrió una fuerte degradación de resistencia y rigidez (falla frágil), debido principalmente a que los muros de albañilería se separaron de la placa, “soplándose”.

Este tipo de albañilería no se utiliza en el Perú, por lo que no figura en la Norma E.070, pero es necesario conocerlos.

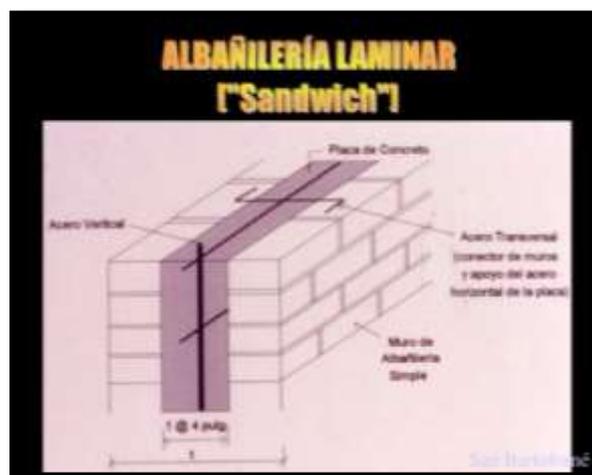
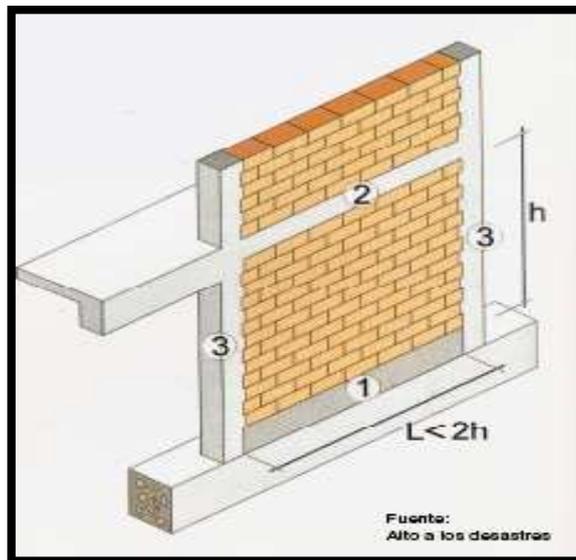


Fig. 2.11. Albañilería Laminar.

#### B.4 Muro de Albañilería Confinada (Muro Confinado).

Este es el sistema que tradicionalmente se emplea en casi toda Latinoamérica para la construcción de edificios hasta de 5 pisos.

La albañilería confinada se define como aquella que se encuentra íntegramente bordeada por elementos de concreto armado (exceptuando la cimentación que puede ser de concreto ciclópeo), vaciado después de haberse construido el muro de albañilería y con una distancia entre columnas que no supere en más de 2 veces la altura del piso (Fig. 2.13).



**Fig. 2.13.** *Albañilería Confinada.*

Es importante seguir la secuencia constructiva indicada para que los confinamientos se adhieran a la albañilería y formen un conjunto que actúe de manera integral. Cuando se construye primero las columnas y después la albañilería, ante los sismos la albañilería se separa de las columnas, como si existiese una junta vertical entre ambos materiales, quedando los muros sin arriostres verticales en sus bordes y ante las acciones sísmicas perpendiculares al plano de los muros, terminan volcándose.

También es necesario que la albañilería este completamente bordeada por los confinamientos. De otro modo, por ejemplo, cuando existe una sola columna en el muro, el grosor de las grietas diagonales producidas en la albañilería sometida a terremotos se torna incontrolable. De acuerdo a la Norma E.070, este tipo de muro califica como **no confinado**.

Los elementos de concreto armado que rodean al muro sirven principalmente para ductilizar el sistema; esto es, para otorgarle capacidad de deformación inelástica, incrementando levemente su resistencia por el hecho de que la viga y las columnas de confinamiento son elementos de dimensiones pequeñas y con escaso refuerzo. Adicionalmente, esta especie de pórtico funciona como elemento de arriostre cuando la albañilería se ve sujeta a acciones perpendiculares a su plano. La acción de confinamiento que proporciona el “pórtico” de concreto puede interpretarse físicamente mediante el ejemplo siguiente: *Supóngase un camión sin barandas, que transporta cajones montados unos sobre otros. Si el camión acelera bruscamente, es posible que los cajones salgan desperdigados hacia atrás por efecto de las fuerzas de inercia, lo que no ocurrirá si el camión tuviese barandas resistentes.*

Haciendo una semejanza entre ese ejemplo y la albañilería confinada sujeta a sismos, la aceleración del camión correspondería a la aceleración sísmica, los cajones sueltos serían los trozos de la albañilería simple ya agrietada y las barandas del camión corresponderían al marco de concreto, el que evidentemente tiene que ser especialmente diseñado a fin de que la albañilería simple continúe trabajando, incluso después de haberse fragmentado.

El comportamiento sísmico de un tabique en el interior de un pórtico de concreto armado es totalmente diferente al comportamiento de los muros confinados.

La razón fundamental de esa diferencia se debe al procedimiento (secuencia) de construcción, al margen del tipo de unidad o mortero que se emplee en cada caso.

Mientras que, en caso de los tabiques, primero se construye la estructura de concreto armado (incluyendo el techo que es sostenido por el pórtico) y después de desencofrar el pórtico se construye el tabique de albañilería; en el caso de los muros confinados el proceso constructivo es al revés, esto es, primero se construye la albañilería, posteriormente se procede con el vaciado de las columnas y luego se vacía el concreto de las soleras en conjunto con la losa del techo. De esta manera, el muro confinado es capaz de soportar y transmitir cargas verticales, función que no pueden hacer los tabiques.

Esta técnica constructiva permite a los muros confinados desarrollar una gran adherencia en la interface columna-muro y solera-muro, integrándose todo el sistema, incluso después de haberse producido el agrietamiento diagonal. Estos elementos trabajan en conjunto, como si fuese una placa de concreto armado sub-reforzada (con refuerzo solo en los extremos), con otras características elásticas y resistentes.

Lo expresado en el párrafo anterior no ocurre en los tabiques, ya que la zona de interconexión concreto-albañilería es débil (la interface pórtico-tabique es usualmente rellena con mortero), lo que hace que incluso ante la acción de sismos leves, ambos elementos se separen, trabajando la albañilería como un puntal en compresión; esto se debe a que la zona de interacción (contacto) solo se presenta en las esquinas, al deformarse el tabique básicamente por corte ("panel de corte"), mientras

que el pórtico (más flexible que el tabique) se deforma predominantemente por flexión.

## 2.1.5 Componentes de la Albañilería.

### 2.1.5.1 Unidades de Albañilería.

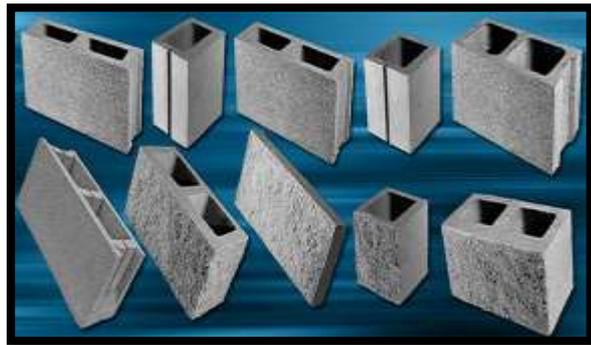
Las unidades empleadas en las construcciones de albañilería son diversas, por lo que es necesario establecer clasificaciones de acuerdo a sus principales propiedades.

#### 2.1.5.1.1 Clasificación por sus dimensiones.

De acuerdo a las dimensiones o por su tamaño, las unidades se clasifican en **ladrillos y bloques**. Se le llaman ladrillos cuando pueden ser manipulados y asentados con una mano; y bloques, cuando por su peso y mayores dimensiones se deben emplear ambas manos. Los ladrillos se usan en la construcción de la albañilería confinada y sus dimensiones comunes son: ancho = 11 a 14 cm, largo = 23 a 29 cm, altura = 6 a 9 cm, y su peso oscila entre 3 y 6 Kg. Los bloques se utilizan en las edificaciones de albañilería armada y para el caso de los bloques de concreto vibrado, las dimensiones comunes son: 14 o 19 cm de espesor, 19 o 39 cm de longitud y 19 cm de altura, aunque comercialmente se les añade 1 cm de junta para identificarlos (por ejemplo, bloque con dimensiones nominales de 20x20x40 cm). El peso, de estos bloques pueden variar entre 12 y 20 Kg.



**Fig. 2.14.** *Ladrillos Nacionales de arcilla, para edificios de albañilería confinada.*



**Fig. 2.15.** *Bloques Nacionales de arcilla, para edificaciones de albañilería armada.*

#### **2.1.5.1.2 Clasificación por sus materia prima y fabricación.**

Por su **materia prima**, las unidades de albañilería son básicamente hechas de arcilla (o unidades cerámicas), de sílice-cal (o unidades sílico-calcáreas) y de concreto. Las dimensiones (ancho x largo x alto) de un bloque sílico-calcáreo son: 12 x 29 x 14 cm, y las de un bloque de arcilla son: 12 x 39 x 19 cm.

Por su fabricación, las unidades pueden ser **artesanales o industriales**. Las unidades de arcilla y de concreto admiten ambas modalidades, mientras que las unidades sílico-calcáreas son únicamente de fabricación industrial. En algunos casos, la fabricación incluye aspectos de ambas modalidades y se denomina entonces semi-industriales.

La figura 2.16 muestra un horno abierto de quemado artesanal de ladrillos de arcilla. Este proceso de quemado artesanal hace que aquellos ladrillos ubicados en la parte alta del horno salgan crudos, mientras que los ubicados en la parte baja salgan vitrificados (quemados). En el primer caso, es necesario proteger a los muros de la acción de la intemperie tartajeándolos. En el segundo caso, es recomendable desechar esos ladrillos, ya que la vitrificación impermeabiliza las caras de la unidad e impide la absorción

del material cementante del mortero, lo que disminuye considerablemente la adherencia unidad-mortero.

La Fig. 2.17 muestra en cambio el proceso industrial de fabricación de ladrillos de arcilla.



Fig. 2.16. Ladrillos artesanales de arcilla.

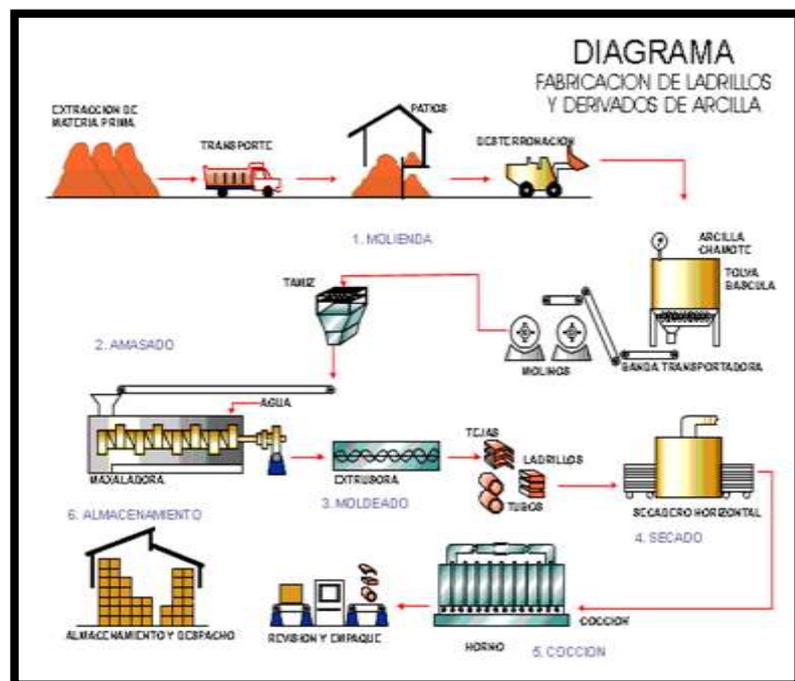


Fig. 2.17. Fabricación industrial de ladrillos de arcilla.

## A. Unidades de arcilla.

### A.1 Materia Prima.

Las arcillas empleadas como materia prima para la fabricación de los ladrillos se clasifican en calcáreas y no calcáreas. Las primeras contienen un 15% de carbonato de calcio, que da lugar a unidades de color amarillento; en la segunda, predomina el silicato de alúmina con un 5% de óxido de hierro, que le proporciona un tono rojizo.

Las mejores arcillas tienen arena y limo; es necesario que contengan arena para reducir los efectos de contracción por secado de arcilla, que podría generar fisuras en los ladrillos.

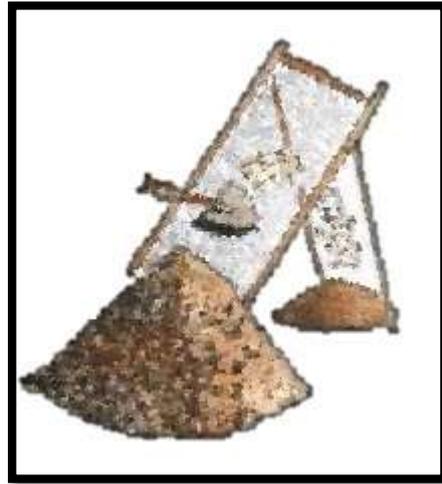


**Fig. 2.18** *Cantera.*

### A.2 Fabricación.

Este proceso es muy variado, lo que da lugar a unidades artesanales, semi-industriales e industriales, con una gran diferencia en sus formas, resistencias y dimensiones.

La **extracción** del material en la cantera se hace con picos, lampas y carretillas (proceso artesanal); o usando palas mecánicas (proceso industrial). Posteriormente, se tamiza el material, empleando mallas metálicas, para de este modo eliminar las piedras y otras materias extrañas.



**Fig. 2.19.** *Tamizado artesanal.*



**Fig. 2.20.** *Tamizador Industrial.*

La **Molienda** de la materia prima puede ser apisonándola (proceso artesanal) o con molinos (proceso industrial).



**Fig. 2.21.** *Molienda.*

El **mezclado** de la materia prima con agua y arena se realiza dejando dormir la tierra durante un día (proceso artesanal), o empleando maquinas dosificadoras al peso y amasadoras (proceso industrial).

El **Moldeado** se efectúa artesanalmente echando con fuerza la mezcla sobre moldes de madera, o semi-industrialmente con prensas manuales, o industrialmente con prensas hidráulicas que aplican más de 500 TON de carga, o con extrusoras; en este último caso, la masa plástica es obligada a pasar por una boquilla con la sección transversal del producto terminado, que luego es cortado con una sierra eléctrica.



**Fig. 2.22.** *Moldeado artesanal.*

El proceso de **secado** se realiza artesanalmente colocando las unidades en un tendal, o industrialmente introduciéndolas en un horno con temperatura regulable que va desde la del medio ambiente hasta los 200°C, para volver a la temperatura ambiental.

El **quemado** se efectúa en hornos abiertos con quemadores de leña o petróleo (colocados en la base). Esto da lugar a diferencias de más del 100% entre las resistencias de las unidades ubicadas en la parte baja y

alta del horno. También hay hornos tipo túnel con quemadores de petróleo o de carbón molido, con cámara de temperatura regulables desde la del medio ambiente hasta 1200°C. Este proceso tiene una duración de entre 3 y 5 días.

Es destacable señalar que, en países industrializados como Inglaterra y Japón, el control de calidad de las unidades de albañilería es exhaustivo. Además, en las fábricas existen: 1. cámaras de limpieza con cepillos y aire comprimido, así no es necesario limpiar las unidades en obra y, 2. Maquinas empaquetadoras, por lo que, la pérdida o deterioro de las unidades durante su transporte y colocación en obra es mínima, aparte que esto mejora el rendimiento en la construcción.

En cambio, en Perú el **transporte** desde el horno hacia el almacén de la fábrica, de allí hacia el pie de la obra y luego en la obra misma, se hace unidad por unidad, “boleándolas” y usando carretillas, lo que genera grandes pérdidas y deterioro de las unidades de albañilería, aparte de ser un trabajo sumamente lento y laborioso.

## **B. Unidades sílico-calcáreas.**

En Perú solo existe una fábrica que produce unidades sílico-calcáreas en varias modalidades, como: bloques, ladrillos (huecos y macizos) y unidades apilables para la albañilería de junta seca.

La materia prima consiste de un 10% de cal hidratada normalizada y un 90% de arena (con un 75% de sílice), lo que da lugar a unidades de color blanco grisáceo, aunque puede añadirse pigmentos que le cambien el color.

Una vez mezclados con agua los materiales, se deja reposar la mezcla en unos silos (“reactores”) durante aproximadamente 3 horas, con la finalidad de hidratar a la cal. Para el moldeo de las unidades, se utilizan prensas

hidráulicas que aplican unas 500 toneladas de carga. Luego, las unidades se endurecen curándolas a vapor en cámaras “autoclave” con elevada presión (entre 8 a 17 atmosferas). Durante este proceso, la cal reacciona químicamente con el silicio, formando un agente cementante (silicato cálcico hidratado) que une las partículas de arena, formando unidades de alta resistencia a la compresión.

La ventaja de estas unidades sobre las de arcilla es que sus dimensiones entre el estado crudo y terminado prácticamente no varían. Así mismo, por el proceso mecanizado de su fabricación, tiene muy poca variación en su resistencia a compresión. La principal desventaja de estas unidades es que su textura es lisa, con poros muy cerrados, lo que reduce la adherencia mortero-unidad. Por esta razón, se han producido unidades sílico-calcáreas mejoradas con estrías y perforaciones en su superficie de asentado.



**Fig. 2.23.** Variedad de ladrillos sílico-calcáreos.

#### **2.1.5.1.3 Clasificación por sus huecos (alvéolos).**

En la Norma peruana de Albañilería E.070 y también en las normas de otros países, las unidades se clasifican por el porcentaje de huecos (alvéolos o perforaciones) que tienen

en su superficie de asentado y por la disposición que estos tengan.

#### **A. Unidades sólidas y unidades huecas.**

Las **Unidades Sólidas** son las que no tienen huecos o, en todo caso, presentan ranuras o perforaciones perpendiculares a la superficie de asiento, que ocupan un área no mayor al 30% del área bruta (Norma E.070, SENCICO 2006). Cuando se excede este porcentaje, la unidad se clasifica como **hueca**, La Norma de Albañilería anterior (ININVI 1982) exigía que las perforaciones no cubran un área mayor que 25%, para que las unidades se clasifiquen como sólidas, similar a lo que establecen la mayoría de normas internacionales.



**Fig. 2.24.** Ladrillo hueco y sólido.

En la Norma de Albañilería E.070 (SENCICO 2006) se estableció el porcentaje indicado, luego de muchos ensayos de carga lateral cíclica hechos en muros confinados, donde pudo notarse la trituración de los ladrillos huecos para derivas menores que el límite máximo (0.005) establecido por la Norma Sísmica E.030 para las edificaciones de albañilería confinada. Por ello, en la Norma E.070 se especifica que las unidades solidas o macizas son las que se deben emplear para la

construcción de muros portantes confinados. Usualmente, los ladrillos artesanales carecen de huecos, mientras que los industriales presentan entre 18 y 24 perforaciones pequeñas, o ranuras en el caso de los ladrillos de concreto.

#### **B. Unidades alveolares.**

De acuerdo a la Norma de Albañilería E.070 (SENCICO 2006), las unidades alveolares son aquellas que presentan grandes huecos perpendiculares a las superficies de asiento. En esta categoría se clasifican los bloques de arcilla, sílice-cal y de concreto empleado en las edificaciones de **albañilería armada rellena con grout**. Estos bloques no deben emplearse en las construcciones de albañilería confinada por que se trituran ante los sismos.

#### **C. Unidades tubulares.**

Las unidades tubulares son las que tienen perforaciones dispuestas en paralelo a la superficie de asiento; en este tipo se clasifican los ladrillos pandereta, que se utilizan en los muros no portantes; su uso en muros portantes es un error frecuente. No se deben emplear en muros portantes por que se trituran ante los sismos, además que la lechada de cemento del concreto de las columnas se introduce por las perforaciones del ladrillo debilitando al concreto.

#### **2.1.5.1.4 Propiedades Físicas y Mecánicas. Ensayos de Laboratorio.**

Conocer las propiedades de las unidades es necesario, básicamente para tener una idea sobre la resistencia de la albañilería, así como de su durabilidad ante la intemperie.

Sin embargo, no se puede afirmar que la mejor unidad proporcione necesariamente la mejor albañilería.

Las propiedades de la unidad asociadas con la **resistencia de la albañilería** son:

- Resistencia a la compresión y tracción.
- Variabilidad dimensional y alabeo.
- Succión.

Las propiedades de la unidad relacionadas con la **durabilidad de la albañilería** son:

- Resistencia a la compresión y densidad.
- Eflorescencia, absorción y coeficiente de saturación.

Las Normas Técnicas Peruanas (INDECOPI) que se deben emplear para determinar estas propiedades son:

- Unidades de arcilla NTP 399.613 (2005).
- Bloques de concreto NTP 399.602, NTP 399.604 (2002)
- Unidades sílico-calcáreas ITINTEC 311.032, 331.033 y 331.034

La Norma E.070 indica que por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccione al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo. Luego, cinco de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras cinco a absorción. La Norma E.070 define en su tabla 1 las características requeridas para el diseño estructural, las que dependen de: 1. La variación de dimensiones; 2. El alabeo; y 3. La resistencia a compresión de la unidad.

| TABLA 1<br>CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERIA PARA FINES ESTRUCTURALES |   |              |               |                          |  |
|--|---|--------------|---------------|--------------------------|--|
| CLASE  | VARIACIÓN DE LA DIMENSION<br>(máxima en porcentaje) |              |               | ALABEO<br>(máximo en mm) | RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN<br>$f_b$ mínimo en MPa<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta |
|  | Hasta 100 mm  | Hasta 150 mm | Más de 150 mm |                          |  |
| Ladrillo I   | ± 8   | ± 6          | ± 4           | 10                       | 4,9 (50)   |
| Ladrillo II  | ± 7   | ± 6          | ± 4           | 8                        | 6,9 (70)   |
| Ladrillo III   | ± 5   | ± 4          | ± 3           | 6                        | 9,3 (95)   |
| Ladrillo IV  | ± 4   | ± 3          | ± 2           | 4                        | 12,7 (130)   |
| Ladrillo V   | ± 3   | ± 2          | ± 1           | 2                        | 17,6 (180)   |
| Bloque P <sup>(1)</sup>  | ± 4   | ± 3          | ± 2           | 4                        | 4,9 (50)   |
| Bloque NP <sup>(2)</sup>   | ± 7   | ± 6          | ± 4           | 8                        | 2,0 (20)   |

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes  
(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

**Tabla N°1. De la Norma E.070-2006**

Daremos algunos alcances, sin mayor detalle, la manera de cómo se hacen estos ensayos. Lo importante es saber cómo repercuten los resultados sobre el comportamiento de la albañilería. Al respecto, INDECOPI (Norma NTP), entidad encargada de velar por la calidad de los productos, clasifica a las unidades desde el punto de vista cualitativo, usando solo la resistencia a compresión, sin contemplar el producto final que es la albañilería.

Además cabe señalar que para clasificar a una unidad de acuerdo a la Tabla 1 se utiliza el criterio más desfavorable; por ejemplo, es posible que de acuerdo a los ensayos de compresión un ladrillo clasifique como clase V, pero si este mismo ladrillo presentase alta variabilidad dimensional que lo lleve a la clase IV y grandes alabeos que lo conduzca a la clase III, entonces ese ladrillo se clasifica como clase III.

Las pruebas clasificatorias se dan de la siguiente manera:

### A. Variación dimensional.

La prueba de variación dimensional es necesario efectuarla para determinar el espesor de las juntas de la albañilería. Debe hacerse notar que por cada incremento de 3mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo requerido de 10mm), la resistencia a la compresión de la albañilería disminuye en un 15%; asimismo, disminuye la resistencia al corte.



**Fig. 2.25.** Prueba de variación dimensional.

### B. Alabeo.

El mayor alabeo (concavidad o convexidad) del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta. Asimismo, puede disminuir el área de contacto con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas; o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad por el peso existente en las hiladas superiores de la albañilería. Esta prueba se realiza colocando la superficie de asiento de la unidad sobre una mesa plana, para luego introducir una cuña metálica graduada al milímetro en la zona más alabeada; también debe colocarse una regla que conecte los extremos

diagonalmente opuestos de la unidad, para después introducir la cuña en el punto de mayor deflexión. El resultado promedio se expresa en milímetros.



**Fig. 2.26.** *Prueba de alabeo.*

### **C. Resistencia a la compresión ( $f'b$ ).**

En el cálculo de la resistencia a compresión antiguamente (Norma E.070 de 1982) se trabajaba con el área neta de la unidad. Ello daba cabida a que las fabricas produzcan ladrillos huecos, lo cual elevaba la resistencia a compresión. Actualmente, la resistencia se calcula con el área bruta, con lo cual esas unidades huecas se clasifican en un rango inferior. Debe remarcarse que las unidades huecas son muy frágiles.

Debe hacerse notar también que la resistencia a la compresión ( $f'b$ ) expresa solo la calidad de la unidad empleada, ensayada bajo las mismas condiciones. Por ejemplo, a mayor resistencia se obtendrá mayor densidad y una mejor durabilidad de la unidad. Esto se debe a que el valor  $f'b$  depende de la altura de la probeta (a menor altura, mayor resistencia), del capping empleado y de la restricción al desplazamiento lateral impuesto por los cabezales de la máquina de ensayos (acción de confinamiento transversal a la carga aplicada).

Así, es posible que un bloque de concreto vibrado de alta calidad, con altura de 19cm, presente una resistencia menor a la de un ladrillo King-Kong de 9cm de altura, y que este ladrillo presente una resistencia más baja que la de un ladrillo cara-vista de 6cm de altura, a pesar de que su materia prima sea la misma y que se hayan cocinado en simultaneo, Es decir, para fines comparativos debe analizarse unidades que presenten la misma geometría.

Así como hay pruebas clasificatorias, ya mencionadas, también es necesario mencionar las pruebas no clasificatorias por el mismo hecho de que algunas de las propiedades de la albañilería pueden ser controladas en obra, por ejemplo, la alta succión de un ladrillo puede ser controlada mediante un tratamiento de humedecimiento, previo al asentado:

- **Succión (S), Absorción (A), Absorción máxima (Am), Coeficiente de saturación (CS) y Densidad (D).**
- **Resistencia a tracción por flexión ( $f'_t$ ) o módulo de ruptura,** Su evaluación debería realizarse cuando se esté en la incertidumbre de utilizar unidades de la misma clase, pero provenientes de fábricas distintas, o cuando se tenga un alto alabeo que puede conducir a la unidad a una falla de tracción por flexión durante el asentado.
- **Eflorescencia,** Se debe a la presencia de sales (básicamente sulfatos) en la misma unidad o en la arena del mortero, que atacan químicamente a la unidad, afectando su durabilidad, su adherencia con el mortero y destruyendo su superficie. Se produce cuando las sales se derriten al entrar en contacto con el agua y afloran por los poros de la unidad o del mortero hacia la superficie.

#### D. Uso estructural de la unidad.

La tabla 2 de la Norma E.070 establece limitaciones en el uso de las unidades desde el punto de vista estructural. Sin embargo, estas limitaciones pueden dejar de cumplirse si el ingeniero estructural demuestra lo contrario a lo especificado. Por ejemplo, en la Tabla 2 se especifica que los ladrillos artesanales no pueden emplearse para edificaciones de más de 2 pisos ubicadas en la zona sísmica 3, por que la experiencia a demostrado la trituración de estas unidades ante los terremotos; sin embargo, dependiendo de la densidad de muros que presente la edificación, es posible que su comportamiento ante los sismos severos sea en el rango elástico (sin fisuras), con lo cual se pueden utilizar esas unidades. Lo propio para el resto de unidades.

| <b>TABLA 2<br/>LIMITACIONES EN EL USO DE LA UNIDAD DE<br/>ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES</b> |   |  |  |
|--|---|--|--|
| TIPO   | ZONA SÍSMICA 2 Y 3                          |  | ZONA SÍSMICA 1                               |
|  | Muro portante en edificios de 4 pisos a más | Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos    | Muro portante en todo edificio               |
| Sólido Artesanal *   | No  | Si, hasta dos pisos                          | Si   |
| Sólido Industrial  | Si  | Si   | Si   |
| Alveolar   | Si<br>Celdas totalmente rellenas con grout  | Si<br>Celdas parcialmente rellenas con grout | Si<br>Celdas parcialmente rellenas con grout |
| Hueca  | No  | No   | Si   |
| Tubular  | No  | No   | Si, hasta 2 pisos                            |

\*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

**Tabla N°2.** De la Norma E.070-2006.

## E. Mortero.

La función principal del mortero en la albañilería es adherir las unidades, corrigiendo las irregularidades geométricas de altura que estas tienen, así como sellar las juntas contra la penetración del aire y de la humedad. Cuando el muro de albañilería es portante de carga vertical, el mortero cumple además una función resistente, por lo que es conveniente que las resistencias a compresión de las unidades y del mortero sean parecidas.

El mortero generalmente está compuesto por cemento portland tipo I o puzolánico IP, arena gruesa y agua. El uso de cal hidratada normalizada es recomendable, pero optativo, Sin embargo, para unidades que deben asentarse en su estado natural (secas), como las de concreto y de sílice-cal, es conveniente emplear cal, ya que ella actúa como un aditivo que plastifica la mezcla y evita que se endurezca rápidamente. El cemento y la cal funcionan como aglomerantes, mientras que la arena es un agregado inerte.

La función del cemento es proporcionar resistencia a la mezcla, la de la cal es proporcionar trabajabilidad y retentividad (retarda la evaporación del agua) y la de la arena es proporcionar estabilidad volumétrica a la mezcla, permitiendo el asentado de varias hiladas en una jornada de trabajo. Debe eliminarse el polo de la arena, tamizándola por la malla ASTM N°200, ya que este acelera la contracción del secado del mortero. La función del agua es proporcionar trabajabilidad a la mezcla, así como hidratar al cemento.

En cuanto a la **adherencia unidad-mortero**, esta se logra cuando los solubles del cemento (básicamente la **etringita**) son absorbidos por la unidad, cristalizándose (como agujas) en sus poros. La adherencia se ve

favorecida cuando el mortero penetra en las perforaciones de la unidad, formando una especie de llave de corte entre las hiladas; al respecto, ensayos realizados en la PUCP sobre muretes en compresión diagonal, indicaron que cuando el mortero se compacto especialmente en cada una de las 18 perforaciones de la unidad (lo que no es posible realizar en obra), la resistencia al corte se incrementó en 50%.

De otro lado es necesario extender el mortero sobre toda la superficie (vertical y horizontal) de la unidad por asentar, por lo que debe ser trabajable.

Definamos los componentes del **mortero**:

- **Cemento**, Se utiliza normalmente cemento normalizado Portland tipo I y cemento adicionado (puzolánico); excepcionalmente se emplea el cemento portland tipo II (resistente a los sulfatos). El peso volumétrico del cemento es  $1500 \text{ Kg/m}^3$ , y se comercializa en bolsas de 1 pie cúbico ( $0.0283\text{m}^3$ ) con 42.5Kg de peso. En el Perú hubo 2 intentos para introducir **cemento de albañilería** (mezcla de cemento portland, puzolana, escorias, cal hidráulica, con piedra caliza, tiza, talco, arcilla, conchas marinas, etc.), sin éxito, con dichos cementos, las mezclas usadas 1:4 tuvieron resistencias compresión diez veces menores que las obtenidas con cemento Portland tipo I.
- **Cal hidratada normalizada**, de emplearse cal en el mortero, esta debe ser hidratada y normalizada. La razón por la cual la cal debe ser normalizada obedece a que pueden existir partículas muy finas, que en vez de funcionar como aglomerante lo hacen como residuos inertes. El peso volumétrico de la cal es del orden de  $640 \text{ Kg/m}^3$ .

- **Arena gruesa**, es ideal que se use arena gruesa, con granos redondeados y de una granulometría completa (con variedad en el tamaño de las partículas), que permitan llenar los espacios vacíos con el material cementante, formando un mortero denso y resistente a la intemperie. La Norma E.070 indica en la Tabla N° 3 la granulometría requerida, similar a la de la norma ASTM D-75, caracterizada por la variedad en el tamaño de las partículas. La Norma E.070 indica que no debe quedar retenido más del 50% de la arena entre 2 mallas ASTM E-11 consecutivas; y que el módulo de fineza (suma de los porcentajes retenidos por las mallas 100, 50, 30, 16, 8 y 4, dividido entre 100) debe estar comprendido entre 1.6 y 2.5. Finalmente, no debe usarse arena de playas marinas, en vista de que las sales que ellas contienen producirían la eflorescencia del mortero y la corrosión del refuerzo.

| TABLA 3<br>GRANULOMETRÍA DE LA ARENA GRUESA |            |
|---|------------|
| MALLA ASTM                                  | % QUE PASA |
| N° 4 (4,75 mm)                              | 100        |
| N° 8 (2,36 mm)                              | 95 a 100   |
| N° 16 (1,18 mm)                             | 70 a 100   |
| N° 30 (0,60 mm)                             | 40 a 75    |
| N° 50 (0,30 mm)                             | 10 a 35    |
| N° 100 (0,15 mm)                            | 2 a 15     |
| N° 200 (0,075 mm)                           | Menos de 2 |

**Tabla N°3** De la Norma E.070-2006.

- **Agua**, deberá ser potable, libre de materias orgánicas y de sustancias deletéreas (aceites, ácidos, etc.) El uso del agua de mar debe evitarse

pues produce eflorescencia en el mortero por las sales que contiene y la corrosión del refuerzo en caso este existiese.

**E.1 Clasificación del mortero:**

En la Tabla N° 4 de la Norma E.070, se especifica las proporciones volumétricas de la mezcla, clasificándola con las siglas “P” para su empleo en muros portantes y “NP” para los muros no portantes, y se deja como alternativa emplear cal en el mortero. En ensayos sísmicos de muros a escala natural ha podido notarse que el empleo de cal en el mortero plastifica la mezcla, y la vuelve más trabajable y retentiva de agua; sin embargo, no ha podido apreciarse incrementos de la resistencia a compresión o a fuerza cortante de la albañilería.

| TABLA 4<br>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 |

**Tabla N° 4 De la Norma E.070-2006.**

Por la forma como se prepara la mezcla, los morteros se clasifican en artesanales e industriales:

**a. Morteros Artesanales.**

Son aquellos que se preparan a mano en obra sobre una superficie limpia, revolviendo la mezcla seca cemento-arena (opcionalmente se adiciona cal) hasta

lograr un color uniforme, para después echarle agua a criterio del albañil, hasta obtener una mezcla trabajable.

#### **b. Morteros Industriales.**

En el Perú, los morteros industriales vienen en dos modalidades: embolsados (en seco) y premezclados (incluida el agua).

El cuidado del mortero embolsado es el mismo que el dado al cemento embolsado: debe colocarse en rumas de no más de 10 bolsas sobre una tarima de madera, protegerlos de la lluvia y no debe pasar de 6 meses de edad.

### **F. Concreto Fluido (“Grout”).**

El concreto fluido, o “grout”, se emplea para rellenar los alveolos o celdas de las unidades que forman un muro de albañilería en un solo conjunto estructural, denominado “albañilería armada”. Este material debe ser preparado mecánicamente en una sola mezcladora y su revenimiento, medido en el cono de Abrams ASTM C-1019, debe ser alrededor de 10 pulgadas, pudiendo estar comprendido entre 225 y 275 mm, con una consistencia simialr a la de una sopa de sémola espesa.

#### **F.1 Clasificación del Grout y componentes.**

La dosificación de los materiales que componen el Grout se hace en volumen siguiendo las especificaciones indicadas en la Tabla 6 de la Norma E.070. dependiendo del tamaño de los alveolos de los bloques, el Grout se clasifica en: **Grout grueso y Grout Fino**. En ambos casos debe emplearse cemento Portland Tipo I o II, o cemento adicionado (puzolánico IP), cal hidratada normalizada (opcional), arena gruesa, agua potable y, dependiendo si el grout

es grueso o fino, “confitillo” comercializado como piedra chancada de  $\frac{1}{4}$  “.

**El grout fino**, se usa para rellenar los alveolos grandes (dimensión mayor a 60mm), típicos de las unidades de arcilla y sílico-calcareas. El grout fino carece de confitillo y la proporción volumétrica cemento-arena usual es 1:3.

**El grout grueso**, se emplea para rellenar los alveolos grandes (dimensión mayor a 60mm), típicos de los bloques de concreto vibrado. Este material, a diferencia del grout fino, contiene confitillo con la granulometría especificada en la Tabla 5 de la Norma E.070 y su dosificación cemento-arena-confitillo usual es  $1:2\frac{1}{2} : 1\frac{1}{2}$

De existir muchos finos (polvo, que genera una alta contracción por secado) en el confitillo, este deberá eliminarse, por tamizado o por lavado a través de la malla 200.

El cemento Portland, el cemento adicionado y la cal hidratada, deben ser materiales normalizados de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas correspondientes. El agregado fino es la arena gruesa natural, con las características indicadas en la Tabla N° 3 de la Norma E.070, y el agua debe ser potable y libre de sustancias extrañas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

| TABLA 5<br>GRANULOMETRÍA DEL CONFITILLO |            |
|---|------------|
| MALLA ASTM                              | % QUE PASA |
| ½ pulgada                               | 100        |
| 3/8 pulgada                             | 85 a 100   |
| N° 4 (4,75 mm)                          | 10 a 30    |
| N° 8 (2,36 mm)                          | 0 a 10     |
| N° 16 (1,18 mm)                         | 0 a 5      |

Tabla N° 5 De la Norma E.070-2006.

| TABLA 6<br>COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA DEL<br>CONCRETO LIQUIDO o GROUT |         |          |  |   |
|--|---------|----------|--|---|
| CONCRETO LIQUIDO   | CEMENTO | CAL      | ARENA  | CONFITILLO                              |
| FINO   | 1       | 0 a 1/10 | 2 1/4 a 3 veces la suma de los volúmenes de los aglomerantes | —                                       |
| GRUESO   | 1       | 0 a 1/10 | 2 1/4 a 3 veces la suma de los aglomerantes                  | 1 a 2 veces la suma de los aglomerantes |

Tabla N° 5 De la Norma E.070-2006.

Cabe señalar que el concreto liquido (grout) deberá tener una resistencia mínima a compresión de 140 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad, determinada de acuerdo a la NTP 399.623.

### G. Concreto Fluido (“Grout”).

La albañilería y el concreto son muy débiles para resistir esfuerzos de tracción, en particular los causados por momentos flectores generados por fuerzas sísmicas tanto en el plano del muro como en la dirección perpendicular a su plano. Para suplir esta deficiencia, se emplea el acero corrugado como refuerzo.

En la albañilería confinada, el acero va colocado en forma concentrada en los elementos de confinamiento

(columnas y vigas), formando canastillas compuestas por barras longitudinales y estribos; en ciertos casos, se requiere de barras de acero continuas horizontalmente en algunas hiladas del muro. En la albañilería armada, el acero se distribuye en barras verticales alojadas en los alveolos (celdas) de los bloques, y en posición horizontal en las hiladas (mallas electro-soldadas) o en el eje del muro.

En general, las barras deben ser corrugadas rectas y dúctiles, con escalón de fluencia definido y con una elongación mínima a la rotura de 9% (Norma E.070). Se permite el uso de varillas lisas solo en estribos y en mallas electro-soldadas. Por otro lado, una varilla curvada pierde eficiencia al trabajar por tracción después que se endereza.

#### **2.1.6 Comportamiento Sísmico Real de Muros no Portantes.**

La ocurrencia de terremotos en nuestro país ha generado daños importantes en algunas edificaciones de albañilería, especialmente en aquellas construidas sin asistencia técnica. Cuando el suelo es de baja calidad, los daños han sido mayores.

El comportamiento estructural observado en sismos pasados ha servido para calibrar la norma de diseño sísmico E.030 y la de albañilería E.070. Sin embargo, la adecuación de las construcciones a las exigencias de las normas vigentes es aún incipiente, lo que da lugar a edificaciones que presentan un inadecuado comportamiento sísmico.

##### **a. Cercos y Parapetos.**

Los cercos y parapetos de albañilería trabajan a **carga sísmica perpendicular a su plano**, cuando estos elementos carecen de arriostre, terminan volcándose ante los sismos. Incluso ha podido observarse que arriostres verticales hechos de concreto simple (no

reforzados), o de mochetas de albañilería simple no son efectivos para soportar el sismo.

El colapso de parapetos y cercos no arriostrados o reforzados de alguna manera, son muy peligrosos, tanto para las personas que transitan por la zona, como para la familia que trata de escapar de sus viviendas durante la ocurrencia del sismo.

#### **2.1.6.1 DISEÑO POR ACCIONES PERPENDICULARES AL PLANO DEL MURO.**

Trataremos los principales fundamentos e hipótesis de la Norma E.070 en lo relacionado al diseño estructural por acciones perpendiculares al plano de los muros de albañilería portante o no portante.

##### **A. Muros No Portantes.**

Para el caso de la Albañilería no portante (cercos, tabiques y parapetos), queda a criterio del ingeniero estructural emplear criterios elásticos o de rotura para el diseño de la albañilería. Este tipo de Muro, por su poca masa y alta resistencia al corte en su plano, prácticamente no trabaja ante acciones sísmicas coplanares. Por ejemplo, podría emplearse el método de líneas de rotura para calcular las fuerzas internas en la albañilería. Sin embargo, por la experiencia adquirida por ensayos realizados en el Perú por el Ing. Ángel San Bartolomé se ha observado que se debe aplicar métodos elásticos de diseño para el caso de albañilería simple (sin refuerzo interno) y de rotura para la albañilería armada. En este último caso, el refuerzo es imprescindible para absorber los efectos de secado del **grout** o cambios de temperatura. Por tanto, al existir refuerzo, este puede ser aprovechado para soportar las acciones sísmicas perpendiculares, aparte que este refuerzo integra a los bloques después de haberse fisurado la albañilería.

## B. Carga Sísmica.

La carga sísmica perpendicular al plano del muro (portante o no portante) en condición de rotura ante sismos severos, es proporcionada por la Norma Sísmica E.030, a través de la expresión:  $V = ZUC1P$ . Sin embargo, para efectos de diseño elástico, esta carga fue dividida por un factor de 1.25 en la Norma E.070, quedando la expresión:

$$w = 0.8ZUC1\gamma t \text{ (} w \text{ en unidades de fuerza por unidad de área, Como Kg/m}^2\text{)}$$

Donde:

*Z, es el factor de zona sísmica*

*U, es el factor de uso o importancia.*

*C1, es el coeficiente sísmico que depende de la función y ubicación del*

*Muro:*

*Cercos: C1 = 0.6*

*Parapetos y tabiques externos que se pueden precipitar: C1 = 1.3*

*Muros portantes y tabiques internos: C1 = 0.9 (se entiende que el muro portante está de alguna manera arriostrado por la losa, por lo que no interesa su ubicación.*

*$\gamma$ , es el peso volumétrico de la albañilería:*

*Ladrillo de arcilla o sílico-calcáreo:  $\gamma = 1800 \text{ Kg/m}^3$*

*Ladrillo de concreto, tarrajeo y albañilería parcialmente rellena:*

*$\gamma = 2000 \text{ Kg/m}^3$*

*Albañilería armada totalmente rellena con Grout:  $\gamma = 2300 \text{ Kg/m}^3$*

*t, espesor del muro.*

Para efectos de calcular la carga “w”, debe incluirse el peso del tarrajeo en caso exista. Para efectos de diseño, debe emplearse el espesor efectivo del muro, salvo que el tarrajeo se aplique sobre una malla que este adecuadamente conectada a la albañilería.

Una vez calculada esta carga “w”, se procede a calcular el momento flector distribuido por unidad de longitud ( $M_s$ , en Kg-

m/ml), producido por la carga sísmica “w”, y esta se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M_s = m \cdot w \cdot a^2$$

Donde:

*m* = coeficiente de momento (adimensional) indicado en la tabla 12.

*a* = dimensión crítica del paño de albañilería (ver la tabla 12)

| TABLA 12<br>VALORES DEL COEFICIENTE DE<br>MOMENTOS «m» y DIMENSION CRITICA «a» |        |        |        |        |        |        |       |       |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| CASO 1. MURO CON CUATRO BORDES ARRIOSTRADOS                                    |        |        |        |        |        |        |       |       |
| a = Menor dimensión  |        |        |        |        |        |        |       |       |
| b/a =  | 1,0    | 1,2    | 1,4    | 1,6    | 1,8    | 2,0    | 3,0   | ∞     |
| m =  | 0,0479 | 0,0627 | 0,0755 | 0,0862 | 0,0948 | 0,1017 | 0,118 | 0,125 |
| CASO 2. MURO CON TRES BORDES ARRIOSTRADOS                                      |        |        |        |        |        |        |       |       |
| a = Longitud del borde libre   |        |        |        |        |        |        |       |       |
| b/a =  | 0,5    | 0,6    | 0,7    | 0,8    | 0,9    | 1,0    | 1,5   | 2,0   |
| m =  | 0,060  | 0,074  | 0,087  | 0,097  | 0,106  | 0,112  | 0,128 | 0,133 |
| CASO 3. MURO ARRIOSTRADO SOLO EN SUS BORDES<br>HORIZONTALES                    |        |        |        |        |        |        |       |       |
| a = Altura del muro  |        |        |        |        |        |        |       |       |
| m = 0,125  |        |        |        |        |        |        |       |       |
| CASO 4. MURO EN VOLADIZO   |        |        |        |        |        |        |       |       |
| a = Altura del muro  |        |        |        |        |        |        |       |       |
| m = 0,5  |        |        |        |        |        |        |       |       |

Tabla N° 6 De la Norma E.070-2006.

Luego se verificara el esfuerzo admisible en tracción por flexión ( $f_t$ ) de la albañilería, se supondrá igual a:

- $f_t = 0.15\text{MPa}$  ( $1.50 \text{ kg/cm}^2$ ) para albañilería simple.
- $f_t = 0.30\text{MPa}$  ( $3.00 \text{ Kg/cm}^2$ ) para albañilería armada rellena de concreto liquido.

### **C. Arriostres.**

Ante cargas sísmicas perpendiculares al plano (“ $w$ ”), la albañilería de muros portantes o no portantes trabaja como una losa simplemente apoyada sobre sus arriostres (o amarres), ubicados usualmente en los bordes.

Para el caso de la albañilería confinada, los elementos de confinamiento trabajan como elementos de arriostre de la albañilería, al igual que las losas del techo. Para la albañilería armada, podrían construirse columnas con los mismos bloques; sin embargo, muchas veces las exigencias de arquitectura no permiten esta solución por la protuberancia que tendría la pared, por lo que generalmente los arriostres están compuestos por las losas de techo y los muros transversales debidamente conectados al muro de análisis (conexión dentada y refuerzo horizontal).

Para la albañilería no portante, el uso de columnas de albañilería simple (mochetas), o de concreto no reforzado, o la simple conexión dentada entre muros transversales, no constituye elementos de arriostre suficientes. En el caso de tabiques, una manera de amarrarlos a la estructura principal, para evitar su volcamiento ante acciones transversales, puede ser mediante mallas de alambre que estén adecuadamente conectadas al muro o mediante columnetas.

Es necesario mencionar que la albañilería simple (no reforzada internamente) presenta poca resistencia al punzonamiento. Por ejemplo, empujes causados por la losa de descanso de una escalera apoyada sobre el muro deberán ser absorbidos por columnetas colocadas en los bordes del descanso. En el caso de muros armados, este empuje debe ser absorbido por el refuerzo vertical y horizontal.

También es necesario precisar que cuando se aísla el tabique de la estructura principal, los elementos que sujetan al tabique, tales como perfiles metálicos angulares, o columnetas, deben ser diseñados como para transmitir la fuerza sísmica desde la

albañilería hacia el pórtico, de otro modo, tanto el tabique como sus arriostres podrían colapsar.

#### D. Diseño de Arriostres.

La carga “ $w$ ” actuante en la dirección perpendicular al plano de la albañilería (de muros portantes o no portantes) se transmiten hacia los arriostres en proporción a su área tributaria, lo que se evalúa siguiendo la regla del sobre. A esta carga se agrega el efecto del peso propio, que para el caso de arriostres de concreto armado, es una carga uniforme:

$wI = 0.8ZUCI \gamma c Ac$ , donde  $\gamma c = 2400\text{Kg/m}^3$  y  $Ac$  es el área de la sección transversal del arriostre (columna o viga).

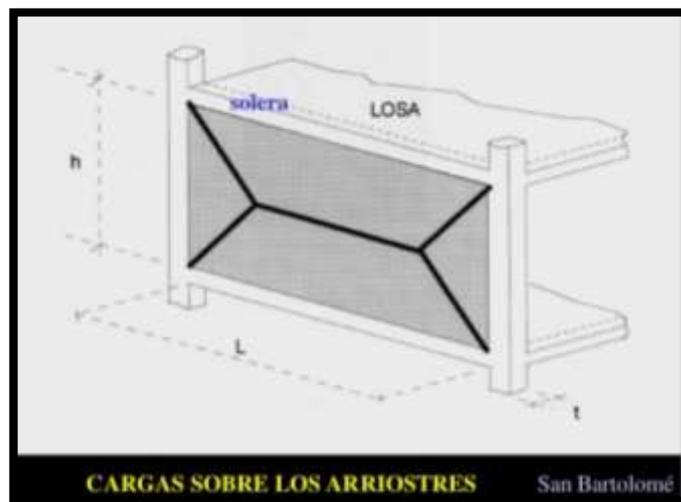


Fig. 2.27. Transmisión de la carga sísmica hacia los arriostres.

#### E. Cimentación de los Cercos.

Es recomendable profundizar la cimentación de los cercos (como postes) a fin de que se desarrolle empuje pasivo del suelo que contrarreste a las fuerzas sísmicas perpendiculares al plano del cerco. Para el caso del cerco mostrado en la Fig. 2.28, las fuerzas sísmicas por unidad de longitud, actuantes en el centroide de cada elemento ( $i = \text{solera, albañilería, sobre-cimiento o cimentación}$ ), se determina como  $H_i = 0.8 Z U C_1 P_i$ . Los pesos “ $P_i$ ” se calcula como  $P_i = \gamma_i A_i$ , Donde “ $A_i$ ” es el área de la sección transversal del elemento “ $i$ ”,

y “ $\gamma_i$ ” es el peso volumétrico correspondiente. Las fuerzas que contrarrestan el momento volcante producido por “ $H_i$ ” en torno al punto “O” son:  $P_i$  y  $H_p$ , mientras que las fuerzas que contrarrestan el deslizamiento generado por “ $H_i$ ” son  $H_p$  y  $\mu \sum P_i$ , donde “ $\mu$ ” es el coeficiente de fricción concreto suelo. De acuerdo a la Norma E.070, los factores de seguridad para evitar la falla por volcamiento y deslizamiento del cerco son 2 y 1.5, respectivamente.

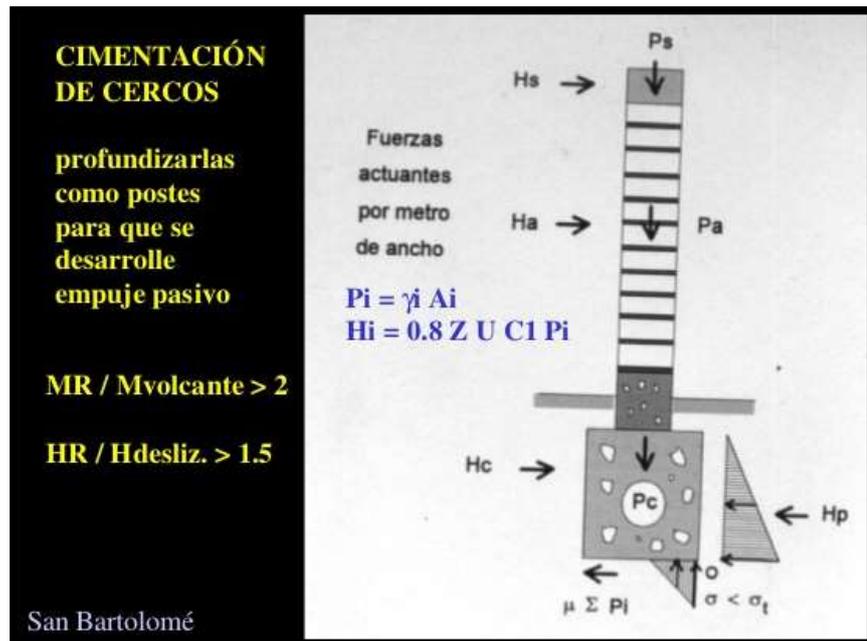


Fig. 2.28. Cargas sobre un cerco de Albañilería.

## **2.2 MATERIALES Y MÉTODOS:**

### **2.2.1 MATERIALES:**

- Norma Peruana de Albañilería E 0.70.
- Norma Peruana de Diseño Sismo Resistente E 0.30.
- Diseño y Construcción de Estructuras Sismo Resistentes de Albañilería de Ángel San Bartolomé.
- Pórtico más tecla, para ensayo de resistencia por acciones perpendiculares al plano.
- Transportador de madera de 5° de precisión.
- Huincha de 1mm de precisión.

### **2.2.2 MÉTODO:**

#### **2.2.2.1 Tipo de Investigación.**

##### **Por la clase de medios utilizados para obtener los datos**

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL: Recibe este nombre la investigación que obtiene su información de la actividad intencional (laboratorio), realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga.

#### **2.2.2.2 Diseño de Investigación.**

##### **• Información de la Estructura:**

- a) Altura de Muro : 1.25m.
- b) Ancho de Muro : 1.43m.
- c) Uso : Cerco perimétrico en vivienda.
- d) Unidad usada : King Kong 18 huecos.

### 2.2.2.3 Variables de estudio y Operacionalización.

- **Variable Independiente:**

- Ensayo de resistencia por acciones perpendiculares al plano de un muro de albañilería.

- **Variable Dependiente:**

- Comportamiento estructura del muro diseñado con fines arquitectónicos.
- Calidad de la albañilería.

### 2.2.2.4 Instrumentos de recolección de Datos.

- ✓ **Datos Generales:**

- **Unidad de Albañilería:**

- a) Denominación de la unidad: King Kong 18 Huecos.
- b) Dimensiones: 9 x 12 x 23 cm.
- c) Peso: 2.70 Kg.
- d) Resistencia a la compresión: 143.17 Kg/cm<sup>2</sup>.
- e) Absorción: 14.20%
- f) Esfuerzo de Fluencia del Acero:  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ .

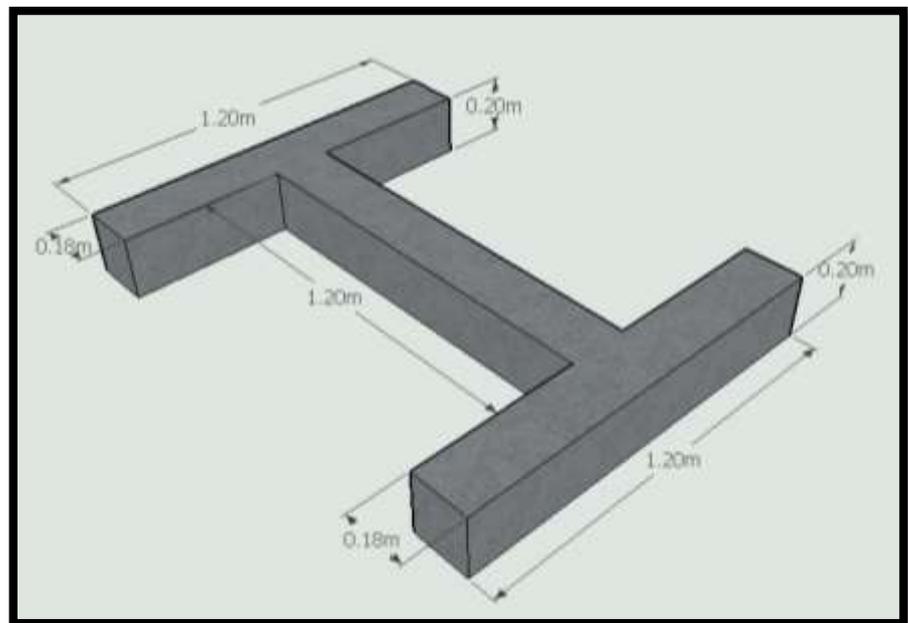
- ✓ **Parámetros Sísmicos:**

- a) Factor de Zona:  **$Z = 0.45$**
- b) Factor de uso de edificación:  **$U = 1.0$**
- c) Coeficiente sísmico para cercos:  **$C1 = 0.6$**
- d) Peso volumétrico:  **$\gamma = 823 \text{ kg/m}^3$** .
- e) Espesor de muro:  **$t = 12 \text{ cm}$** .

### 2.2.2.5 Procedimientos y Análisis de Datos.

#### a) Elaboración de la plataforma de ensayo.

Para poder asentar las unidades de albañilería se construyó una base de concreto armado cuya forma en planta fue de "I", Se construyó este elemento el cual nos sirvió como base para encimar el muro reforzado y el muro no reforzado, con las siguientes dimensiones:



**Fig. 2.29.** Dimensiones del sobrecimiento.

Esta base se construyó con unas viguetas de 0.18 x 0.20 con 4 varillas de 12mm y para el estribaje se utilizó acero de ¼" cada 15cm, y un vaciado de  $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ .



**Fig. 2.30.** *Armado del sobrecimiento.*



**Fig. 2.31.** *Vaciado del sobrecimiento.*

**b) Mortero para asentado de muros.**

En la Tabla N° 4 de la Norma E.070, se especifica las proporciones volumétricas de la mezcla, clasificándola con las siglas “P” para su empleo en muros portantes y “NP” para los muros no portantes, y se deja como alternativa emplear cal en el mortero. Entonces basándonos en lo estipulado en la Norma, utilizaremos para el mortero una mezcla C: A de 1:5, ya que nuestra Norma E.070 te da un rango, C: A de hasta 1:6.

**c) Construcción de los prototipos de ensayo, Tipo “A” y “B”**

Se construirá 5 muestras del prototipo de ensayo, **Tipo “A”**, será los muros reforzados con varillas de  $\frac{1}{4}$ ” (6mm), dispuestos de manera vertical anclados al sobrecimiento aproximadamente de 4 a 5cm. Las unidades de albañilería se asentarán con un espacio de 6cm entre ellos y con un mortero de 1.5cm, la primera hilada de este prototipo se realizará luego de vaciado del sobrecimiento y antes de su secado, para evitar que el acero se mueva.



**Fig. 2.32.** *Disposición del acero vertical en el muro.*

El acero se colocó en el alveolo central de la unidad de albañilería tal como se muestra en la siguiente figura:



**Fig. 2.33.** *Disposición del acero vertical en el muro.*

Luego se construirá también 5 muestras del prototipo de ensayo del **Tipo “B”**, será los muros no reforzados, los cuales fueron asentados con una separación de 6cm entre cada unidad y con un mortero de 1.5cm, para su construcción fue necesario esperar el secado del sobrecimiento, como se muestra en la figura:



**Fig. 2.34.** *Muro No Reforzado.*

**d) Ensayo de Volteo para falla por corte.**

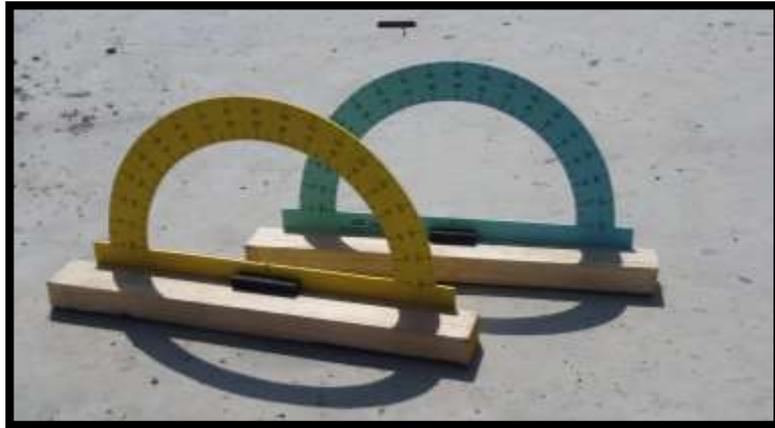
**• Equipos:**

- ✓ Pórtico Metálico.



**Fig. 2.35.** *Pórtico Metálico.*

- ✓ 2 Transportador de madera.



**Fig. 2.35.** *Transportador de Madera.*

- ✓ Cadenas y Teclé.



**Fig. 2.36.** *Cadenas más Teclé.*

✓ Huincha



**Fig. 2.37.** *Huincha.*

• **Ensayo de Muros:**

- a) Para realizar los ensayos, primero se señaló los ejes de los muros en el sobrecimiento.



**Fig. 2.40.** *Señalando el eje del muro.*



**Fig. 2.41.** Señalando el eje del muro proyectado al sobrecimiento.

- b) Luego se colocó el pórtico el cual tenía como función levantar la estructura de un solo lado como se muestra en la figura.



**Fig. 2.42.** Pórtico anclado para ejecutar el ensayo.

- c) Una vez colocado el pórtico y los equipos como el teclé y las cadenas en su lugar, se procedió a jalar las cadenas del teclé que permiten levantar progresivamente la estructura; Mientras la estructura se elevaba, con la ayuda de los transportadores se tomaba lectura del ángulo. Los

datos se tomaron hasta el colapso del muro, tanto como para el Tipo "A" como para el Tipo "B".



**Fig. 2.42.** *Muro Inclinado.*

- d) La inclinación del muro se realizó hasta su colapso tomando las medidas en ambos lados de la estructura con sus respectivos transportadores.



**Fig. 2.43.** *Colapso de Muro No Reforzado.*



**Fig. 2.43.** *Colapso de Muro Reforzado.*

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS:

#### 3.1. ANÁLISIS:

Luego de Realizar los 10 ensayos, 5 de los cuales eran del **Tipo “A”** (Muros Reforzados) y los 5 restantes del **Tipo “B”** (Muros No Reforzados), y haciendo las mediciones correspondientes con la huincha y con los transportadores, procesando los datos obtenemos lo siguiente:

- **DETERMINACIÓN DEL PESO Y ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA ESTRUCTURA.**

- **Peso de la Estructura (método directo).**

- Peso de unidad de albañilería : 2.80 kg.
- Peso volumétrico del mortero : 2000 kg/m<sup>3</sup>.
- Unidades de albañilería usadas : 54 Unidades.
- Dimensiones del mortero : 12 x 8 x 1.5 cm
- Porciones de mortero usados : 88 porciones.

$$P = (2.80 \times 54) + ((0.12 \times 0.08 \times 0.015) \times 88 \times 2000)$$

$$P = 176.60 \text{ kg}$$

- **Determinamos el ángulo de Inclinación.**

El ángulo “ $\alpha$ ” lo obtuvimos proyectando el eje del muro y colocando un transportador de madera en ambos extremos de la estructura para poder medir el ángulo de inclinación tal como se muestra en la figura 3.2:

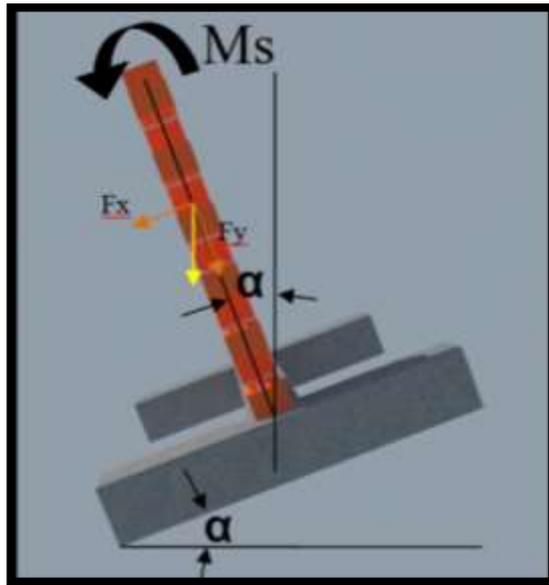


Fig. 3.1. *Angulo  $\alpha$ .*



Fig. 3.2. *Determinando el ángulo  $\alpha$ .*

Luego para obtener la fuerza con la que colapsa la estructura, se utilizara los conceptos básicos del “plano inclinado” quedando la fórmula:

$$\text{Fuerza Perpendicular} = \text{Peso Módulo} \times \text{Sen } \alpha$$

▪ **Carga sísmica.**

Es proporcionada por la Norma Sísmica E.030, a través de la expresión:  $V = ZUC1P$ . Sin embargo, para efectos de diseño elástico, esta carga fue dividida por un factor de 1.25 en la Norma E.070, quedando la expresión:

$$w = 0.8ZUC1\gamma t \text{ (} w \text{ en unidades de fuerza por unidad de área, Como Kg/m}^2\text{)}$$

Donde:

- *Z, es el factor de zona sísmica*
- *U, es el factor de uso o importancia.*
- *C1, es el coeficiente sísmico que depende de la función y ubicación del*

- *Muro:*

*Cercos: C1 = 0.6*

*Parapetos y tabiques externos que se pueden precipitar: C1 = 1.3*

*Muros portantes y tabiques internos: C1 = 0.9 (se entiende que el muro portante está de alguna manera arriostrado por la losa, por lo que no interesa su ubicación.*

- *$\gamma$ , es el peso volumétrico de la albañilería:*

- *Ladrillo de arcilla o sílico-calcáreo:  $\gamma = 1800 \text{ Kg/m}^3$*

- *Ladrillo de concreto, tarrajeo y albañilería parcialmente rellena:*

- *$\gamma = 2000 \text{ Kg/m}^3$*

- *Albañilería armada totalmente rellena con Grout:  $\gamma = 2300 \text{ Kg/m}^3$*

- *t, espesor del muro.*

Para efectos de calcular la carga “w”, debe incluirse el peso del tarrajeo en caso exista. Para efectos de diseño, debe emplearse el espesor efectivo del muro, salvo que el tarrajeo se aplique sobre una malla que este adecuadamente conectada a la albañilería.

- Para  $C1 = 0.6$  → Cercos:

$$w = 0.8ZUC1\gamma t$$

Donde:

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.0$$

$$C1 = 0.6$$

$$\gamma = 823 \text{ kg/m}^3.$$

$$t = 0.12 \text{ cm}$$

$$w = 0.8 \times 0.45 \times 1 \times 0.6 \times 823 \times 0.12$$

$$w = 21.34 \text{ kg/m}^2$$

- Para  $C1 = 1.3$  → Parapetos y Tabiques:

$$w = 0.8ZUC1\gamma t$$

Donde:

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.0$$

$$C1 = 1.3$$

$$\gamma = 823 \text{ kg/m}^3.$$

$$t = 0.12 \text{ cm}$$

$$w = 0.8 \times 0.45 \times 1 \times 1.3 \times 823 \times 0.12$$

$$w = 46.24 \text{ kg/m}^2$$

- Para  $C1 = 0.9$  → Muros portantes y tabiques internos:

$$w = 0.8ZUC1\gamma t$$

Donde:

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.0$$

$$C1 = 0.9$$

$$\gamma = 823 \text{ kg/m}^3.$$

$$t = 0.12 \text{ cm}$$

$$w = 0.8 \times 0.45 \times 1 \times 0.9 \times 823 \times 0.12$$

$$w = 32.01 \text{ kg/m}^2$$

- **Calculamos el MOMENTO FLECTOR SISMICO (Ms):**

- **Cuando C1 = 0.6 (cercos)**

$$Ms = m \cdot w \cdot a^2$$

**Donde:**

$$m = 0.5$$

$$w = 21.34 \text{ kg/m}^2$$

$$a = 1.25\text{m.}$$

$$Ms = 0.5 \times 21.34 \times 1.25^2$$

$$Ms = 16.67 \text{ Kg. m/ml}$$

- **Cuando C1 = 1.3 (parapetos y tabiques)**

$$Ms = m \cdot w \cdot a^2$$

**Donde:**

$$m = 0.5$$

$$w = 46.24 \text{ kg/m}^2$$

$$a = 1.25\text{m.}$$

$$Ms = 0.5 \times 46.24 \times 1.25^2$$

$$Ms = 36.12 \text{ Kg. m/ml}$$

- **Cuando C1 = 0.9 (Muros portantes y tabiques internos)**

$$Ms = m \cdot w \cdot a^2$$

**Donde:**

$$m = 0.5$$

$$w = 32.01 \text{ kg/m}^2$$

$$a = 1.25\text{m.}$$

$$Ms = 0.5 \times 32.01 \times 1.25^2$$

$$Ms = 25.01 \text{ Kg. m/ml}$$

- **Momento de falla del Muro (Mfalla):**

$$M_{falla} = \frac{F_p \times \frac{h}{2}}{L}$$

**Donde:**

***F<sub>p</sub>*** = Fuerza Perpendicular

***h*** = Altura del muro.

***L*** = Longitud del muro.

### **3.2. TOMA DE DATOS:**

Aplicando las formulas descritas, líneas arriba, y comparando con el RNE E.070 de Albañilería obtenemos el siguiente cuadro, donde las medidas de los ángulos son los tomados al momento de la ruptura del muro.

|          |      |                         |
|----------|------|-------------------------|
| C1 = 0.6 | w =  | 21.34 Kg/m <sup>2</sup> |
|          | Ms = | 16.67 Kg f.m/ml         |

#### MURO REFORZADO

| DESCRIPCION      | Angulo 1 | Angulo 2 | PROMEDIO | $\alpha$ | F. Perp. | M falla | VERIFICACIÓN |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------------|
| Muro Reforzado 1 | 25.5     | 26.0     | 25.75    | 25.75    | 76.72    | 33.53   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 2 | 30.1     | 29.6     | 29.85    | 29.85    | 87.90    | 38.42   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 3 | 28.5     | 29.3     | 28.90    | 28.90    | 85.35    | 37.30   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 4 | 28.1     | 28.6     | 28.35    | 28.35    | 83.86    | 36.65   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 5 | 33.2     | 31.9     | 32.55    | 32.55    | 95.02    | 41.53   | CUMPLE       |

|          |      |                 |
|----------|------|-----------------|
| C1 = 0.6 | Ms = | 16.67 Kg f.m/ml |
|----------|------|-----------------|

#### MURO NO REFORZADO

| DESCRIPCION         | Angulo 1 | Angulo 2 | PROMEDIO | $\alpha$ | F. Perp. | M falla | VERIFICACIÓN |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------------|
| Muro No Reforzado 1 | 4.0      | 5.0      | 4.50     | 4.50     | 13.86    | 6.06    | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 2 | 17.5     | 17.0     | 17.25    | 17.25    | 52.37    | 22.89   | CUMPLE       |
| Muro No Reforzado 3 | 18.2     | 18.0     | 18.10    | 18.10    | 54.87    | 23.98   | CUMPLE       |
| Muro No Reforzado 4 | 18.3     | 19.6     | 18.95    | 18.95    | 57.35    | 25.07   | CUMPLE       |
| Muro No Reforzado 5 | 14.5     | 15.2     | 14.85    | 14.85    | 45.26    | 19.78   | CUMPLE       |

- Con los resultados obtenidos en los cuadros obtenemos la Resistencia para “C1 = 0.6”:

| <b>C1 = 0.6</b>  | <b>Resistencia=M. Falla/Ms.Diseño</b> |             |
|------------------|---------------------------------------|-------------|
| MURO REFORZADO 1 | 33.53                                 | <b>2.01</b> |
| MURO REFORZADO 2 | 38.42                                 | <b>2.30</b> |
| MURO REFORZADO 3 | 37.30                                 | <b>2.24</b> |
| MURO REFORZADO 4 | 36.65                                 | <b>2.20</b> |
| MURO REFORZADO 5 | 41.53                                 | <b>2.49</b> |
| <b>PROMEDIO</b>  |                                       | <b>2.25</b> |

| <b>C1 = 0.6</b>     | <b>Resistencia=M. Falla/Ms.Diseño</b> |             |
|---------------------|---------------------------------------|-------------|
| MURO NO REFORZADO 1 | 6.06                                  | <b>0.36</b> |
| MURO NO REFORZADO 2 | 22.89                                 | <b>1.37</b> |
| MURO NO REFORZADO 3 | 23.98                                 | <b>1.44</b> |
| MURO NO REFORZADO 4 | 25.07                                 | <b>1.50</b> |
| MURO NO REFORZADO 5 | 19.78                                 | <b>1.19</b> |
| <b>PROMEDIO</b>     |                                       | <b>1.17</b> |

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| <b>C1 = 1.3</b> | <b>w = 46.24 Kg/m<sup>2</sup></b> |
|                 | <b>Ms = 36.12 Kg f.m/ml</b>       |

#### MURO REFORZADO

| DESCRIPCION      | Angulo 1 | Angulo 2 | PROMEDIO | $\alpha$ | F. Perp. | M falla | VERIFICACIÓN     |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|------------------|
| Muro Reforzado 1 | 25.5     | 26.0     | 25.75    | 25.75    | 76.72    | 33.53   | <b>NO CUMPLE</b> |
| Muro Reforzado 2 | 30.1     | 29.6     | 29.85    | 29.85    | 87.90    | 38.42   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 3 | 28.5     | 29.3     | 28.90    | 28.90    | 85.35    | 37.30   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 4 | 28.1     | 28.6     | 28.35    | 28.35    | 83.86    | 36.65   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 5 | 33.2     | 31.9     | 32.55    | 32.55    | 95.02    | 41.53   | <b>CUMPLE</b>    |

|          |                      |
|----------|----------------------|
| C1 = 1.3 | Ms = 36.12 Kg f.m/ml |
|----------|----------------------|

**MURO NO REFORZADO**

| DESCRIPCION         | Angulo 1 | Angulo 2 | PROMEDIO | $\alpha$ | F. Perp. | M falla | VERIFICACIÓN |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------------|
| Muro No Reforzado 1 | 4.0      | 5.0      | 4.50     | 4.50     | 13.86    | 6.06    | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 2 | 17.5     | 17.0     | 17.25    | 17.25    | 52.37    | 22.89   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 3 | 18.2     | 18.0     | 18.10    | 18.10    | 54.87    | 23.98   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 4 | 18.3     | 19.6     | 18.95    | 18.95    | 57.35    | 25.07   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 5 | 14.5     | 15.2     | 14.85    | 14.85    | 45.26    | 19.78   | NO CUMPLE    |

- Con los resultados obtenidos en los cuadros obtenemos la Resistencia para “C1 = 1.3”:

| <b>C1 = 1.3</b>  | <b>Resistencia=M. Falla/Ms.Diseño</b> |             |
|------------------|---------------------------------------|-------------|
| MURO REFORZADO 1 | 33.53                                 | <b>0.93</b> |
| MURO REFORZADO 2 | 38.42                                 | <b>1.06</b> |
| MURO REFORZADO 3 | 37.30                                 | <b>1.03</b> |
| MURO REFORZADO 4 | 36.65                                 | <b>1.01</b> |
| MURO REFORZADO 5 | 41.53                                 | <b>1.15</b> |
| <b>PROMEDIO</b>  |                                       | <b>1.04</b> |

| <b>C1 = 1.3</b>     | <b>Resistencia=M. Falla/Ms.Diseño</b> |             |
|---------------------|---------------------------------------|-------------|
| MURO NO REFORZADO 1 | 6.06                                  | <b>0.17</b> |
| MURO NO REFORZADO 2 | 22.89                                 | <b>0.63</b> |
| MURO NO REFORZADO 3 | 23.98                                 | <b>0.66</b> |
| MURO NO REFORZADO 4 | 25.07                                 | <b>0.69</b> |
| MURO NO REFORZADO 5 | 19.78                                 | <b>0.55</b> |
| <b>PROMEDIO</b>     |                                       | <b>0.54</b> |

|          |      |                         |
|----------|------|-------------------------|
| C1 = 0.9 | w =  | 32.01 Kg/m <sup>2</sup> |
|          | Ms = | 25.01 Kg f.m/ml         |

**MURO REFORZADO**

| DESCRIPCION      | Angulo 1 | Angulo 2 | PROMEDIO | $\alpha$ | F. Perp. | M falla | VERIFICACIÓN |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------------|
| Muro Reforzado 1 | 25.5     | 26.0     | 25.75    | 25.75    | 76.72    | 33.53   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 2 | 30.1     | 29.6     | 29.85    | 29.85    | 87.90    | 38.42   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 3 | 28.5     | 29.3     | 28.90    | 28.90    | 85.35    | 37.30   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 4 | 28.1     | 28.6     | 28.35    | 28.35    | 83.86    | 36.65   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 5 | 33.2     | 31.9     | 32.55    | 32.55    | 95.02    | 41.53   | CUMPLE       |

|          |      |                 |
|----------|------|-----------------|
| C1 = 0.9 | Ms = | 25.01 Kg f.m/ml |
|----------|------|-----------------|

**MURO NO REFORZADO**

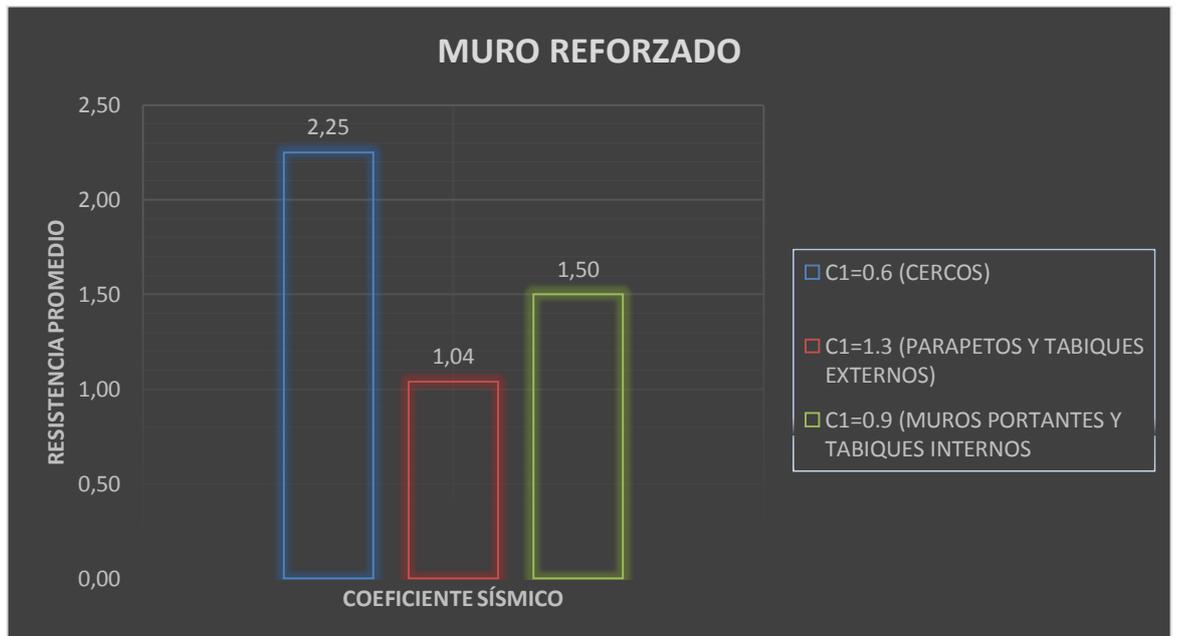
| DESCRIPCION         | Angulo 1 | Angulo 2 | PROMEDIO | $\alpha$ | F. Perp. | M falla | VERIFICACIÓN |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------------|
| Muro No Reforzado 1 | 4.0      | 5.0      | 4.50     | 4.50     | 13.86    | 6.06    | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 2 | 17.5     | 17.0     | 17.25    | 17.25    | 52.37    | 22.89   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 3 | 18.2     | 18.0     | 18.10    | 18.10    | 54.87    | 23.98   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 4 | 18.3     | 19.6     | 18.95    | 18.95    | 57.35    | 25.07   | CUMPLE       |
| Muro No Reforzado 5 | 14.5     | 15.2     | 14.85    | 14.85    | 45.26    | 19.78   | NO CUMPLE    |

- Con los resultados obtenidos en los cuadros obtenemos la Resistencia para “C1 = 0.9”:

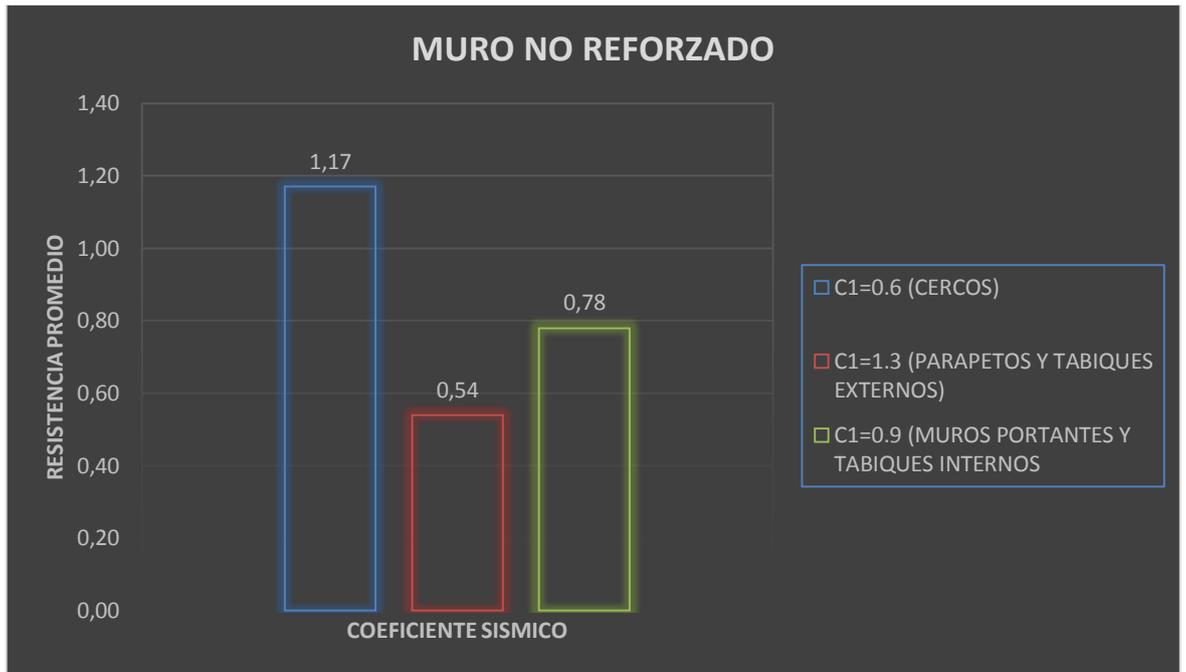
| <b>C1 = 0.9</b>  | <b>Resistencia=M. Falla/Ms.Diseño</b> |             |
|------------------|---------------------------------------|-------------|
| MURO REFORZADO 1 | 33.53                                 | <b>1.34</b> |
| MURO REFORZADO 2 | 38.42                                 | <b>1.54</b> |
| MURO REFORZADO 3 | 37.30                                 | <b>1.49</b> |
| MURO REFORZADO 4 | 36.65                                 | <b>1.47</b> |
| MURO REFORZADO 5 | 41.53                                 | <b>1.66</b> |
| <b>PROMEDIO</b>  |                                       | <b>1.50</b> |

| <b>C1 = 0.9</b>     | <b>Resistencia=M. Falla/Ms.Diseño</b> |             |
|---------------------|---------------------------------------|-------------|
| MURO NO REFORZADO 1 | 6.06                                  | <b>0.24</b> |
| MURO NO REFORZADO 2 | 22.89                                 | <b>0.92</b> |
| MURO NO REFORZADO 3 | 23.98                                 | <b>0.96</b> |
| MURO NO REFORZADO 4 | 25.07                                 | <b>1.00</b> |
| MURO NO REFORZADO 5 | 19.78                                 | <b>0.79</b> |
| <b>PROMEDIO</b>     |                                       | <b>0.78</b> |

Para analizar los resultados, obtenidos en los ensayos, procesados y cuantificados, graficaremos las Resistencias obtenidas para muros Reforzados y No Reforzados en sus diferentes tipologías según el RNE.



**Grafico 3.1.** Resistencia de Muros Reforzados.



**Gráfico 3.2.** Resistencia de Muros No Reforzados.

La principal diferencia que se puede observar es que los muros reforzados alcanzan a doblar la Resistencia de los No Reforzados, ya sea para  $C1=0.6$ ,  $C1 = 1.3$  y  $C1 = 0.9$ , en cualquier tipo de muro ensayado a cargas perpendiculares se pudo comprobar que el reforzamiento empleado en la estructura mejoró su Resistencia, el cual visualizaremos en el siguiente gráfico:



**Gráfico 3.3.** Cuadro comparativo de Muros Reforzados y No Reforzados.

- Esfuerzo admisible en tracción por flexión ( $\delta_t$ ):

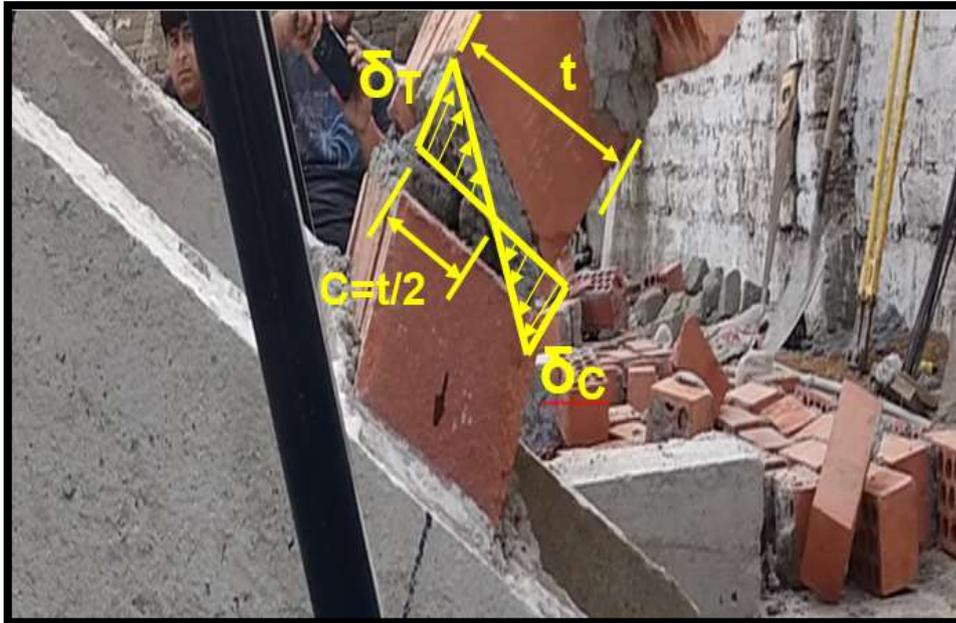


Fig. 3.3. Esfuerzo admisible en tracción.

$$\delta_t = \frac{MC}{I} = \frac{M\left(\frac{t}{2}\right)}{\frac{Lxt^3}{12}} = \frac{6ML}{Lxt^2} = \frac{6M}{t^2}$$

**Donde:**

**C** = 0.5 del espesor del muro ( $t/2$ )

**M** = Momento de Falla (M falla)

**I** = Inercia.

Una vez obtenidos los esfuerzos ( $\delta_t$ ), para cada tipo de muro, Reforzado y No Reforzado, se hizo la verificación con el RNE que nos pide, que el esfuerzo admisible en tracción por flexión sea mayor o igual a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>.

| C1 = 0.6         |  |                  |
|------------------|--|------------------|
| DESCRIPCION      | Esfuerzo admisible en tracción por flexión ( $\delta_t$ ) $\geq 1.50$ kg/cm <sup>2</sup> | VERIFICACIÓN     |
| Muro Reforzado 1 | 1.40   | <b>NO CUMPLE</b> |
| Muro Reforzado 2 | 1.60   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 3 | 1.55   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 4 | 1.53   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 5 | 1.73   | <b>CUMPLE</b>    |

| C1 = 0.6            |  |                  |
|---------------------|--|------------------|
| DESCRIPCION         | Esfuerzo admisible en tracción por flexión ( $\delta_t$ ) $\geq 1.50$ kg/cm <sup>2</sup> | VERIFICACIÓN     |
| Muro No Reforzado 1 | 0.25   | <b>NO CUMPLE</b> |
| Muro No Reforzado 2 | 0.95   | <b>NO CUMPLE</b> |
| Muro No Reforzado 3 | 1.00   | <b>NO CUMPLE</b> |
| Muro No Reforzado 4 | 1.04   | <b>NO CUMPLE</b> |
| Muro No Reforzado 5 | 0.82   | <b>NO CUMPLE</b> |

Seguimos comprobando que la utilización del reforzamiento en la estructura es de suma importancia, para cumplir lo estipulado en el RNE E.070 de Albañilería, y por lo tanto brindar la seguridad del caso a la estructura.

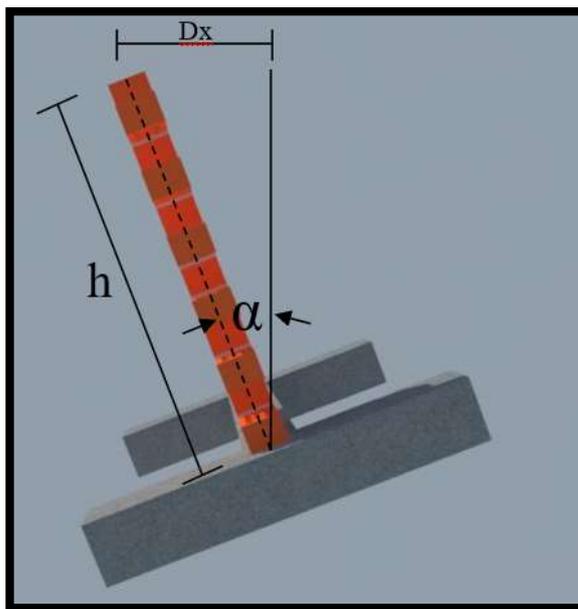
| C1 = 1.3         |  |                  |
|------------------|--|------------------|
| DESCRIPCION      | Esfuerzo admisible en tracción por flexión ( $\delta_t$ ) $\geq 1.50$ kg/cm <sup>2</sup> | VERIFICACIÓN     |
| Muro Reforzado 1 | 1.40   | <b>NO CUMPLE</b> |
| Muro Reforzado 2 | 1.60   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 3 | 1.55   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 4 | 1.53   | <b>CUMPLE</b>    |
| Muro Reforzado 5 | 1.73   | <b>CUMPLE</b>    |

| C1 = 1.3            |  |              |
|---------------------|--|--------------|
| DESCRIPCION         | Esfuerzo admisible en traccion por flexión ( $\delta_t$ ) $\geq 1.50$ kg/cm <sup>2</sup> | VERIFICACIÓN |
| Muro No Reforzado 1 | 0.25   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 2 | 0.95   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 3 | 1.00   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 4 | 1.04   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 5 | 0.82   | NO CUMPLE    |

| C1 = 0.9         |  |              |
|------------------|--|--------------|
| DESCRIPCION      | Esfuerzo admisible en traccion por flexión ( $\delta_t$ ) $\geq 1.50$ kg/cm <sup>2</sup> | VERIFICACIÓN |
| Muro Reforzado 1 | 1.40   | NO CUMPLE    |
| Muro Reforzado 2 | 1.60   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 3 | 1.55   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 4 | 1.53   | CUMPLE       |
| Muro Reforzado 5 | 1.73   | CUMPLE       |

| C1 = 0.9            |  |              |
|---------------------|--|--------------|
| DESCRIPCION         | Esfuerzo admisible en traccion por flexión ( $\delta_t$ ) $\geq 1.50$ kg/cm <sup>2</sup> | VERIFICACIÓN |
| Muro No Reforzado 1 | 0.25   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 2 | 0.95   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 3 | 1.00   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 4 | 1.04   | NO CUMPLE    |
| Muro No Reforzado 5 | 0.82   | NO CUMPLE    |

- **Distorsión:**



**Fig. 3.4.** *Determinando la Distorsión.*

- $D_x = h(\text{Sen } \alpha)$

- $\text{Distorsión} = \frac{D_x}{h}$

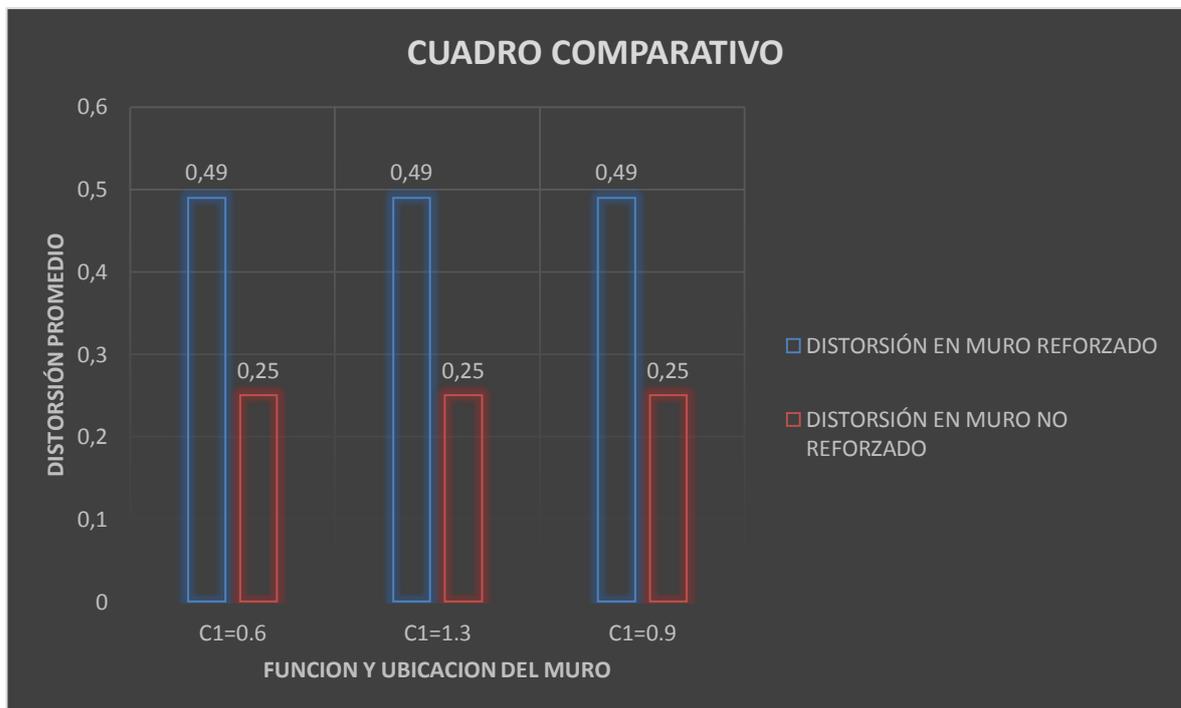
- Desplazamiento (Dx) y Distorsión para los tres Valores de “C1” (0.6, 1.3, 0.9)
  - En Muros Reforzados:

| Desplazamiento (Dx) | Distorsión  |
|---------------------|-------------|
| 0.54                | <b>0.43</b> |
| 0.62                | <b>0.50</b> |
| 0.60                | <b>0.48</b> |
| 0.59                | <b>0.47</b> |
| 0.67                | <b>0.54</b> |
| <b>Promedio</b>     | <b>0.49</b> |

- En Muros No Reforzados:

| Desplazamiento (Dx) | Distorsión  |
|---------------------|-------------|
| 0.10                | <b>0.08</b> |
| 0.37                | <b>0.30</b> |
| 0.39                | <b>0.31</b> |
| 0.41                | <b>0.32</b> |
| 0.32                | <b>0.26</b> |
| <b>Promedio</b>     | <b>0.25</b> |

Cuantificando y analizando la distorsión en los muros Reforzados y No Reforzados, podemos observar una mejora notable en la Ductilidad de la estructura para cada tipo de C1 según nuestra Norma, esto lo podemos ver reflejado en el siguiente cuadro:



**Gráfico 3.4.** Cuadro comparativo de Distorsión de Muros Reforzados y No Reforzados.

- **Cuantía Proporcionada:**

En vista de que se obtuvo resultados positivos, se logró establecer la cuantía, según el número de varillas utilizadas, en los muros de ensayo,

$$As = \frac{8 \times 0.28 \text{ cm}^2}{12 \times 143}$$

$$As = 0.13\%$$

#### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- El reforzamiento con acero en los muros mejoró considerablemente la resistencia del sistema, en consecuencia, se logró cumplir con lo requerido con la E.070.
- El ensayo aplicado fue consistente, permitiéndonos cuantificar de la mejor manera los datos obtenidos.
- La construcción de los muretes de albañilería fue muy cercano al diseño arquitectónico real.
- Luego de realizado el ensayo y una vez procesado los datos tomados, se pudo medir las variables de forma adecuada.
- El acero a emplear en este tipo de asentado es de diámetro  $\frac{1}{4}$ " (6mm), ya que se observó un buen comportamiento estructural.
- En la mayoría de las pruebas se observó un anclaje adecuado del acero, el cual permaneció empotrado luego del colapso, esto se debe a una buena profundidad de anclaje.



- Se observó que el acero en una de las pruebas, perdía adherencia en su anclaje, esto obligó a incrementar una mayor profundidad de anclaje.



- Al colapsar el muro, se observa que el no reforzado se desintegra por completo, esto en un caso eventual de sismo severo, podría significar un mayor peligro al momento de una futura evacuación; contrariamente con lo sucedido en el muro reforzado.



- El esfuerzo admisible en tracción por flexión, no cumple, con lo estipulado en el RNE E.070, en muros no reforzados, siendo un valor mayor a  $1.50 \text{ Kg/cm}^2$  en Tracción. Lo que no ocurre con los muros Reforzados que, si cumple con la normativa.

- Haciendo un análisis comparativo de las distorsiones de muros reforzados y no reforzados, se puede concluir que, los muros reforzados tienen una mayor **ductilidad**.
- La verificación del momento flector sísmico (Ms), es de total cumplimiento de acuerdo a las exigencias descritas en el RNE E.070, en los Muros Reforzados.
- Nuestra propuesta cumple con las 3 tipologías de muros diseñados bajo cargas perpendiculares, según reglamento: Cercos C1 = 0.6, Parapetos y tabiques externos que se pueden precipitar, C1 = 1.3, Muros portantes y tabiques internos, C1 = 0.9
- Observamos también que el cálculo de la cuantía proporcionada es de 0.13%, y haciendo una comparación con la Norma en Albañilería Armada, tenemos un similar resultado  $0.13\% \approx 0.1\%$  teniendo con esto un aporte significativo.

## **Artículo 28.- ALBAÑILERÍA ARMADA**

### **28.1. Aspectos Generales**

Es objetivo de esta norma el lograr que los muros de albañilería armada tengan un comportamiento dúctil ante sismos severos, propiciando una falla final de tracción por flexión, evitando fallas frágiles que impidan o reduzcan la respuesta dúctil del muro ante dichas sollicitaciones. Para alcanzar este objetivo la resistencia de los muros debe satisfacer las verificaciones dadas en el Artículo 28 (28.2a y 28.5) y deberá cumplirse los siguientes requisitos:

a) Todos los muros llevarán refuerzo horizontal y vertical. La **cuantía** mínima de refuerzo en cualquier dirección será de 0,1%. Las varillas de acero de refuerzo serán corrugadas.

Cuadro Referencial del RNE. E.070 de Albañilería.

## VI. RECOMENDACIONES

- Aplicar y tener presente lo que está estipulado en las normas del RNE E.070, ya que éstas han sido desarrolladas de acuerdo a las características especiales de nuestro país, lo que hace que nuestro trabajo se asemeje lo más posible a nuestra realidad.
- En el instante que es vaciado la base para el muro, se recomienda que el acero sea colocado conjuntamente con la primera hilada, esto para evitar que el acero se desplace.
- El acero de refuerzo debe ser colocado en los alveolos centrales extremos donde se hace conexión entre las unidades asentadas.
- El diámetro del acero a utilizar debe ser de  $\frac{1}{4}$ " (6mm) corrugado.
- Se recomienda que el anclaje del Acero sea de 7 a 10cm para un mejor comportamiento de la estructura.
- La separación entre las unidades de la misma hilada debe ser de 6cm.
- La preparación del mortero será en una proporción de 1:5.
- En este nuevo tipo de asentado, el espesor del mortero debe ser el utilizado tradicionalmente (1.5cm)
- La longitud de conexión del mortero, entre unidades de hiladas superpuestas, debe ser de 8 a 10cm.
- El curado del mortero debe realizarse por 3 días consecutivos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NORMA PERUANA DE DISEÑO SISMO RESISTENTE E 0.30.
- NORMA PERUANA DE ALBAÑILERÍA E 0.70.
- SAN BARTOLOMÉ, ÁNGEL. Análisis de Edificios. Lima. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 1999.
- SAN BARTOLOMÉ. ÁNGEL. Diseño y Construcción de Estructuras Sismo Resistentes de Albañilería. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 2011.
- HECTOR GALLEGOS. Albañilería Estructural. Lima. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 1991.
- LIC. HUMBERTO LEYVA N. Física I Teoría y problemas resueltos. Editorial Moshera S.R.L. Lima 2004.

## VIII. ANEXOS



**Fig. 1.** *Construcción del proyecto Real.*



**Fig. 2.** *Construcción del proyecto Real (Frontis)*



**Fig. 3.** *Construcción del proyecto Real (Frontis)*



**Fig. 4.** *Muro acabado - 2do Nivel.*



**Fig. 5.** *Muro acabado - 2do Nivel.*



**Fig. 6.** *Frontis del Proyecto*



**Fig. 7.** *Frontis del Proyecto*