

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
CIVIL**



**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS  
DE LOS LADRILLOS ARTESANALES DE LA CIUDAD DE  
CELENDIN**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:  
INGENIERO CIVIL**

**Presentado por el Bachiller:**

GUERSON HARDY ALIAGA ABANTO

**Asesor**

M. en I. HECTOR PEREZ LOAYZA

***Cajamarca, Perú***

**-2017-**

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la sabiduría e inteligencia, para lograr alcanzar mis metas y mejorara cada día más.*

*A mi Madre Guilma Abanto, por su gran amor protección y guiarme en el camino de la vida, sembrando en mi la humildad y el ánimo de ser profesional.*

*A Mis Padre Magno Aliaga Zamora, por su apoyo Inquebrantante, demostrando con su ejemplo de trabajo y gratitud, la perseverancia para conseguir el noble ideal de ser profesional.*

*A mi esposa, por el apoyo incondicional, comprensión y animarme siempre alcanzar mis metas personales.*

*A mis hermanos, por el apoyo incondicional, comprensión y animarme siempre alcanzar mis metas personales*

*A mis amistades por los consejos y aprecio, el cual ha permitido mi crecimiento personal*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por darme la salud y la sabiduría, para lograr alcanzar un peldaño más en mi vida.*

*A mi Madre, que es mi fortaleza, la que ha permitido culminar el presente trabajo de investigación.*

*A mi Padre, por su apoyo indesmayable, que ha sido el soporte para la realización de la investigación.*

*A mi asesor de Tesis, M. I. Héctor Albarino Pérez Loayza, por sus sugerencias, revisión y contribución a la realización del presente trabajo de investigación.*

*A mis amigos por sus sugerencias las cuales han contribuido a mejorar el presente trabajo.*

## CONTENIDO

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| DEDICATORIA.....                            | 1                             |
| AGRADECIMIENTO.....                         | 2                             |
| CONTENIDO.....                              | III                           |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                       | 8                             |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                      | 9                             |
| ÍNDICE DE FOTOS.....                        | 10                            |
| ÍNDICE DE GRAFICOS.....                     | 11                            |
| RESUMEN.....                                | ¡Error! Marcador no definido. |
| ABSTRACT.....                               | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>        | <b>1</b>                      |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....        | 1                             |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....          | 2                             |
| 1.3. HIPÓTESIS GENERAL.....                 | 2                             |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 2                             |
| 1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....           | 2                             |
| 1.5.1. Alcances.....                        | 2                             |
| 1.5.2. Limitaciones.....                    | 3                             |
| 1.6. OBJETIVOS.....                         | 3                             |
| 1.6.1. Objetivo general.....                | 3                             |
| 1.6.2. Objetivos específicos.....           | 3                             |
| <b>CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>      | <b>4</b>                      |
| 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....             | 4                             |
| 2.1.1. Internacionales.....                 | 4                             |
| 2.1.2. Nacionales.....                      | 6                             |
| 2.1.3. Locales.....                         | 8                             |
| 2.2. BASES TEÓRICAS.....                    | 10                            |
| 2.2.1. Albañilería.....                     | 10                            |
| 2.2.1.1. Tipos de albañilería.....          | 10                            |
| A. Por su función estructural.....          | 10                            |
| a. Muros portantes.....                     | 10                            |

|   |    |
|---|----|
| b. Muros no portantes.....  | 11 |
| B. Por la distribución de refuerzo.....                             | 12 |
| a. Muros no reforzados o albañilería simple .....                   | 12 |
| b. Muros reforzados.....  | 13 |
| b.1. Muros armados.....   | 13 |
| b.2. Muros laminares .....  | 14 |
| b.3. Muros confinado .....  | 14 |
| 2.2.1.2. Componentes de albañilería.....                            | 18 |
| A. Unidad de albañilería .....                                      | 18 |
| B. Tipos de ladrillos .....   | 18 |
| a. Unidades sólidas - macizas .....                                 | 18 |
| b. Unidades huecas.....   | 18 |
| c. Unidades tubulares o pandereta.....                              | 19 |
| d. Aplicación estructural en tipos de unidades de albañilería ..... | 19 |
| C. Unidad de albañilería .....                                      | 20 |
| a. Materia prima.....   | 20 |
| b. Clasificación de los ladrillos de arcilla .....                  | 20 |
| c. Fabricación .....  | 21 |
| D. Propiedades físicas y mecánicas .....                            | 22 |
| D.1. Variabilidad dimensional .....                                 | 22 |
| D.2. Alabeo .....   | 23 |
| D.3. Absorción .....  | 24 |
| D.4. Succión .....  | 25 |
| D.5. Resistencia a la compresión .....                              | 26 |
| D.5.1. Módulo de elasticidad. ....                                  | 27 |
| E. Clasificación del ladrillo estructuralmente .....                | 28 |
| F. Limitaciones en su aplicación.....                               | 29 |
| G. Mortero .....  | 29 |
| a. Componentes del mortero .....                                    | 29 |
| a.1. Cemento .....  | 29 |
| a.2. Agregado fino .....  | 29 |
| a.3. Agua .....   | 30 |
| b. Ensayo a la compresión .....                                     | 30 |

|  |           |
|--|-----------|
| c. Clasificación.....  | 31        |
| 2.2.1.3. Albañilería simple .....  | 32        |
| A. Especificaciones generales para el asentado de ladrillo .....   | 32        |
| B. Modelaje especímenes y ensayos .....  | 33        |
| C. Discreciones de falla .....   | 34        |
| D. Ensayo de prismas - pilas .....   | 35        |
| E. Ensayo de muretes .....   | 37        |
| 2.2.1.4. Comportamiento sísmico .....  | 40        |
| 2.2.1.5. Incidencia de las propiedades mecánicas del ladrillo y mortero en la<br>resistencia de muros..... | 42        |
| 2.2.3. CONCEPTOS BASICOS DE ESTADISTICA.....   | 43        |
| 2.2.3.1. Media.....  | 43        |
| 2.2.3.2. Varianza .....  | 43        |
| 2.2.3.3. Desviación estándar .....   | 44        |
| 2.2.3.4. Coeficiente de variación .....  | 44        |
| 2.2.4. MUESTREO .....  | 45        |
| <b>CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS.....</b>   | <b>46</b> |
| 3.1. MATERIALES Y EQUIPOS .....  | 47        |
| 3.1.1. MATERIALES.....   | 47        |
| 3.1.2. EQUIPOS .....   | 47        |
| 3.2. METODOLOGIA.....  | 47        |
| 3.2.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....  | 47        |
| A. Localización de la investigación .....  | 47        |
| B. Periodo de investigación .....  | 49        |
| C. Tipo de investigación .....   | 49        |
| D. Diseño de la investigación .....  | 49        |
| E. Población .....   | 49        |
| F. Muestra .....   | 49        |
| G. Técnica del muestreo.....   | 50        |
| H. Instrumentos de recolección de datos .....  | 50        |
| I. Procesamiento y análisis de datos .....   | 50        |
| 3.2.2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION .....   | 51        |
| A. Ensayo del agregado fino.....   | 51        |
| B. Ensayos clasificatorios del ladrillo.....   | 51        |

|   |           |
|---|-----------|
| a. Variación dimensional .....  | 51        |
| b. Alabeo .....   | 52        |
| c. Compresión simple.....   | 52        |
| c.1. Cálculo del módulo de elasticidad (Eb) en ladrillos de arcilla. .... | 53        |
| C. Ensayos no clasificados de ladrillo .....                              | 54        |
| a. Ensayos de succión. ....   | 54        |
| b. Ensayos de absorción .....   | 55        |
| D. Prismas de albañilería .....   | 55        |
| a. Pilas .....  | 56        |
| a.1. Procedimientos de construcción.....                                  | 56        |
| a.2. Montaje e instrumentación.....                                       | 56        |
| a.3.Cálculo de la resistencia a compresión axial. ....                    | 56        |
| a.4. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas (Em) .....                | 57        |
| b. Muretes .....  | 59        |
| b.1. Procedimiento de construcción.....                                   | 59        |
| b.2. Peso volumétrico de la albañilería .....                             | 59        |
| b.3. Instrumentación y montaje.....                                       | 59        |
| b.4. Calculo de la resistencia al corte en muretes .....                  | 60        |
| b.5. Calculo del Módulo de corte (Gm) .....                               | 61        |
| E. Diseño analítico del mortero.....                                      | 62        |
| a. Resistencia a la compresión.....                                       | 62        |
| <b>CAPITULO IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                           | <b>63</b> |
| 4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ENSAYADAS.....            | 63        |
| 4.2. ENSAYOS CLASIFICATORIOS DEL LADRILLO.....                            | 63        |
| 4.2.1. Variación dimensional.....   | 63        |
| 4.2.2. Alabeo .....   | 64        |
| 4.2.3. Compresión simple.....   | 65        |
| A. Módulo de elasticidad (Eb).....  | 65        |
| 4.3. ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS DE LADRILLO .....                         | 66        |
| 4.3.1. Ensayo de succión.....   | 66        |
| 4.3.2. Ensayo de absorción .....  | 66        |
| 4.4. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA .....   | 67        |
| 4.4.1. Pilas.....   | 67        |

|   |           |
|---|-----------|
| A. Ensayo a la resistencia a compresión Axial .....               | 67        |
| B. Módulo de elasticidad en Pilas.....                            | 68        |
| 4.4.2. Muretes.....   | 68        |
| A. Calculo del peso volumétrico de los muretes. ....              | 68        |
| B. Ensayo a la resistencia al corte de los muretes. ....          | 69        |
| C. Modulo de corte en muretes (Gm).....                           | 69        |
| C. Módulo de corte en muretes (Gm) .....                          | 69        |
| D. Comparación de las resistencias de pilas y muretes .....       | 69        |
| 4.5. MORTERO.....   | 71        |
| 4.5.1. Ensayo a compresión axial de las probetas de mortero. .... | 71        |
| 4.6. CONTRASTE DE HIPÓTESIS. ....                                 | 71        |
| <b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>            | <b>72</b> |
| 5.1. CONCLUSIONES.....  | 72        |
| 5.2. RECOMENDACIONES.....   | 74        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>                           | <b>75</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>77</b> |
| Anexo A. Procesamientos de datos.....                             | 77        |
| 1.Cálculo de la variación dimensional del ladrillo. ....          | 77        |
| 2.Cálculo del alabeo del ladrillo. ....                           | 79        |
| 3.Cálculo de la resistencia a compresión del ladrillo. ....       | 81        |
| 3.1.Cálculo del módulo de elasticidad. ....                       | 83        |
| 4.Cálculo de la succión del ladrillo.....                         | 87        |
| 5.Cálculo de la absorción del ladrillo. ....                      | 89        |
| 6.Cálculo de la resistencia a compresión en pilas (f'm). ....     | 91        |
| 6.1.Cálculo del módulo de elasticidad en pilas. ....              | 92        |
| 7.Cálculo de la resistencia al corte en muretes (v'm). ....       | 94        |
| 7.1.Cálculo del módulo de corte en muretes. ....                  | 95        |
| 8.Mortero. ....   | 101       |
| 8.1.Propiedades del agregado fino.....                            | 101       |
| 8.2.Diseño analítico del mortero. ....                            | 106       |
| 8.3.Cálculo de la resistencia a compresión del mortero. ....      | 107       |
| Anexo B. Panel fotográficos .....                                 | 108       |



## ÍNDICE DE TABLAS

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| Tabla. 1  | Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales .....   | 20   |
| Tabla. 2  | Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....  | 28   |
| Tabla. 3  | Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales .....   | 29   |
| Tabla. 4  | Granulometría de la arena fina .....  | 30   |
| Tabla. 5  | Tipos de mortero, NTP E-070 .....   | 31   |
| Tabla. 6  | Tipos de Mortero, ASTM C-270 .....  | 31   |
| Tabla. 7  | Factores de corrección de f'm por esbeltez.....   | 37   |
| Tabla. 8  | Características de las muestras de los ladrillos artesanales de Celendin .....  | 63   |
| Tabla. 9  | Resultados del ensayo de variación dimensional.....   | 64   |
| Tabla. 10 | Resultados del ensayo de alabeo.....  | 64   |
| Tabla. 11 | Resultados de los ensayos de compresión .....   | 65   |
| Tabla. 12 | Resultados de módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal .....  | 7766 |
| Tabla. 13 | Resultados del ensayo de Succión.....   | 66   |
| Tabla. 14 | Resultados de ensayo de absorción de ladrillo .....   | 67   |
| Tabla. 15 | Resultados del ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo.....                                     | 67   |
| Tabla. 16 | Resultados del peso volumétrico de muretes de ladrillo.....   | 68   |
| Tabla. 17 | Resultados de ensayos a la resistencia de corte de los muretes.....   | 69   |
| Tabla. 18 | Diferencias entre cálculos prácticos y teóricos del f'm, Em y Gm .....  | 70   |
| Tabla. 19 | Análisis de resistencia al corte.....   | 70   |
| Tabla. 20 | Resultados de los ensayos de compresión del mortero.....  | 71   |
| Tabla. 21 | Ensayo de variación dimensional de la muestra de la ladrillera Santos Campos .....  | 77   |
| Tabla. 22 | Ensayo de variación dimensional de la muestra de la ladrillera Vilchez .....  | 78   |
| Tabla. 23 | Ensayo de alabeo de la muestra de la ladrillera Santos Campos.....  | 79   |
| Tabla. 24 | Ensayo de alabeo de la muestra de la ladrillera Vilchez .....   | 80   |
| Tabla. 25 | Ensayo de compresión de la muestra de la ladrillera Santos Campos.....  | 81   |
| Tabla. 26 | Ensayo de compresión de la muestra de la ladrillera Vilchez.....  | 82   |
| Tabla. 27 | Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Santos Campos ..... | 83   |
| Tabla. 28 | Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera vilvhez .....       | 85   |
| Tabla. 29 | Módulos de elasticidad de unidades de ladrillo .....  | 87   |
| Tabla. 30 | Ensayo de succión de la muestra de la ladrillera Santos Campos.....   | 87   |
| Tabla. 31 | Ensayo de succión de la muestra de la ladrillera Vilchez .....  | 88   |
| Tabla. 32 | Ensayo de absorción de la muestra de la ladrillera Santos Campos.....   | 89   |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla. 33 Ensayo de absorción de la muestra de la ladrillera Vilchez .....   | 90  |
| Tabla. 34 Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de la muestra de la<br>ladrillera Santos Campos .....                   | 91  |
| Tabla. 35 Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de la muestra de la<br>ladrillera Vilchez .....                         | 91  |
| Tabla. 36 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación muestra<br>de la ladrillera Santos Campos.....        | 92  |
| Tabla. 37 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación muestra<br>de la ladrillera Vilchez.....              | 93  |
| Tabla. 38 Calculo de los módulos de elasticidad de las unidades de ladrillo artesanal .....  | 94  |
| Tabla. 39 Ensayo a la resistencia al corte de muretes de la muestra de la ladrillera Santos<br>Campos.....                             | 94  |
| Tabla. 40 Ensayo a la resistencia al corte de muretes de la muestra de la ladrillera Vilchez<br>.....                                  | 94  |
| Tabla. 41 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la<br>muestra de la ladrillera Santos Campos ..... | 95  |
| Tabla. 42 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la<br>muestra de la ladrillera Vilchez.....        | 98  |
| Tabla. 43 Cálculo del módulo de corte del ensayo en muretes de ladrillo.....   | 101 |
| Tabla. 44 Calculo resistencia a la compresión de las probetas de mortero.....  | 107 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |      |
|--|------|
| Fig. 1 Muro portante de albañilería .....  | 11   |
| Fig. 2 Fuerza cortante admisible "Va" (San Bartolomé, A. 1994).....                                | 12   |
| Fig. 3 Muro con refuerzo horizontal y vertical. ....   | 13   |
| Fig. 4 Muro laminar o sándwich.....  | 14   |
| Fig. 5 Muro Confinado .....  | 15   |
| Fig. 6 Requisitos mínimos para que un muro se considere confinado (San Bartolomé, A.<br>1994)..... | 16   |
| Fig. 7 Unidades de albañilería sólida o maciza.....  | 18   |
| Fig. 8 Unidades de albañilería huecas.....   | 19   |
| Fig. 9 Unidades de albañilería tubulares o pandereta.....  | 19   |
| Fig. 10 Unidades de arcilla. ....  | 3221 |
| Fig. 11 Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera industrial.....                   | 22   |
| Fig. 12 Convexidad y concavidad del ladrillo. ....   | 3524 |
| Fig. 13 Absorción del ladrillo.....  | 3524 |

|  |    |
|--|----|
| Fig. 14 Succión del ladrillo.....  | 25 |
| Fig. 15 Ensayo a la compresión del ladrillo.....   | 26 |
| Fig. 16 Curvas normalizadas esfuerzo de compresión ( $f'b$ ) vs. Deformación unitaria de unidades ensayadas en compresión.....   | 27 |
| Fig. 17 Prisma (pila) estándar para el ensayo de compresión (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).....                             | 35 |
| Fig. 18 Esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de la carga unitaria axial. (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).....        | 36 |
| Fig. 19 Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005)..... | 38 |
| Fig. 20 Esquema de deformación del espécimen (murete) (Gallegos, H. y Casabonne, 2005). ....                                     | 39 |
| Fig. 21 Gráfica para el cálculo experimental de $R_d$ . (San Bartolomé, A. 1994).....  | 40 |
| Fig. 22 Mapa de localización de la provincia de Cajabamba. ....  | 46 |
| Fig. 23 Fotografía satelital de la ubicación de estudio. (Fuente Google Earth) .....   | 48 |

## ÍNDICE DE FOTOS

|  |     |
|--|-----|
| Foto. 1 Transporte de los ladrillos de la ladrillera del señor Santos Campos ..... | 108 |
| Foto. 2 Transporte de los ladrillos de la ladrillera del señor Vilchez.....        | 108 |
| Foto. 3 Medición del largo, ancho y alto de las unidades de albañilería .....      | 109 |
| Foto. 4 Medición del alabeo .....  | 110 |
| Foto. 5 Ensayo a compresión de unidades de albañilería.....                        | 111 |
| Foto. 6 Ladrillo soportado por varillas –ensayo de succión.....                    | 111 |
| Foto. 7 Registro del peso después de ser sumergidos en agua- ensayo absorción..... | 112 |
| Foto. 8 Construcción de las pilas.....   | 112 |
| Foto. 9 Falla típica de las pilas de ladrillo .....                                | 112 |
| Foto. 10 Control de la junta del murete.....                                       | 113 |
| Foto. 11 Falla típica de los muretes de ladrillo de arcilla.....                   | 113 |
| Foto. 12 Ensayo del peso específico de la arena .....                              | 114 |
| Foto. 13 Ensayo de granulometría .....   | 114 |
| Foto. 14 Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado fino .....               | 115 |
| Foto. 15 Ensayo de peso unitario compactado seco del agregado fino .....           | 115 |
| Foto. 16 Falla en el mortero .....   | 115 |

## ÍNDICE DE GRAFICOS

|  |     |
|--|-----|
| Grafico. 1 Esfuerzo Vs deformación unitaria de los especímenes de la muestra de la ladrillera Santos Campos .....    | 84  |
| Grafico. 2 Esfuerzo Vs deformación unitaria de los especímenes de la muestra de la ladrillera Vilchez .....          | 86  |
| Grafico. 3 Esfuerzo Vs deformación unitaria de pilas de la muestra de la ladrillera Santos Campos.....               | 92  |
| Grafico. 4 Esfuerzo Vs deformación unitaria de pilas de la muestra de la ladrillera Vilchez .....                    | 93  |
| Grafico. 5 Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical de muretes de la muestra de la ladrillera Santos Campos .....   | 96  |
| Grafico. 6 Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal de muretes de la muestra de la ladrillera Santos Campos ..... | 97  |
| Grafico. 7 Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical de muretes de la muestra de la ladrillera Vilchez .....         | 99  |
| Grafico. 8 Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal de muretes de la muestra de la ladrillera Vilchez .....       | 100 |



## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las edificaciones de albañilería según su función estructural que cumplan, pueden ser construcciones de muros portantes y muros no portantes; dichos muros deben resistir a las solicitaciones provenientes de las acciones normales como peso propio, sobrecargas de uso y acciones eventuales, como los sismos. Estos muros son construidos con unidades de albañilería de baja calidad en su fabricación, con bajo control en el espesor de la junta del mortero e inadecuado proceso constructivo, lo cual disminuye la capacidad de la estructura a las acciones de las fuerzas estáticas y dinámicas.

La región de Cajamarca se encuentra en una zona de actividad sísmica alta (zona 3, según la N.T.P. E-030), existiendo gran cantidad de edificaciones de albañilería, lo que hace que éstas sean vulnerables a los efectos de sismo.

La ciudad de Celendín, capital de la provincia de Celendín, por el crecimiento demográfico ha generado un incremento en la demanda de viviendas de albañilería, las cuales son construidas con ladrillos de arcilla producidos en la zona, debido a que es la principal alternativa de construcción.

La calidad de los ladrillos de arcilla depende de cada etapa del proceso de fabricación, fundamentalmente de la cuidadosa selección del material, la correcta determinación de la dosificación, una perfecta elaboración en lo referente al mezclado, moldeado, secado y cocción de este. Condiciones que no se cumplen adecuadamente en las ladrilleras de la ciudad de Celendín porque los productores no cuentan con el conocimiento de las exigencias mínimas de cada una de estas etapas de proceso de producción.

Para mejorar las características físicas y mecánicas de las unidades de albañilería producidas en la ciudad de Celendín, es necesario estudiar las unidades de albañilería y clasificarlas según las normas E-070. De aquí que la presente investigación se centra en evaluar las características físicas (variación

dimensional, alabeo, absorción) y características mecánicas (resistencia a la compresión) de los ladrillos de arcilla fabricados en la ciudad de Celendín capital de la provincia de Celendín – Cajamarca.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la calidad de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales producidos en la ciudad de Celendín?

## **1.3. HIPÓTESIS GENERAL**

Las características físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla fabricados artesanalmente en la ciudad de Celendín están dentro del rango establecido en la norma técnica E.070.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación busca clasificar el ladrillo con fines estructurales de acuerdo a la norma E-070, de manera que los constructores y proyectistas dispongan de información sobre la calidad, con la finalidad de tomar decisiones en su uso.

Además la investigación contribuye a mejorar la fabricación del ladrillo y sugerir a los productores iniciativas que conlleven a obtener ladrillos de mejor calidad, los cuales cumplan con las normas de albañilería y sismo resistentes.

Se pretende establecer una línea de investigación en la facultad de ingeniería con el propósito que permita una secuencia en la investigación de la albañilería estructural y así contribuir a mejorar de manera continua la obtención de calidad del ladrillo.

## **1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.5.1. Alcances**

De las 8 ladrilleras de la ciudad de Celendín, se estudiaron 2 ladrilleras que tienen mayor demanda en el mercado las cuales son ladrillera Vilches y campos. Los estudios que se realizaron a los ladrillos tienen un alcance

referencial para los profesionales que se dedican a la construcción de edificaciones, y en especial para los que desarrollan estudios y ejecutan obras en la ciudad de Celendín, en la que se ha podido observar la necesidad de contar con información de la calidad de ladrillo.

### **1.5.2. Limitaciones**

La presente investigación no se encontró limitaciones.

## **1.6. OBJETIVOS**

### **1.6.1. Objetivo general**

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales de la ciudad de Celendín.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas: variación dimensional, alabeo y absorción de los ladrillos de concreto fabricados artesanalmente en la ciudad de Celendín.
- Determinar las características mecánicas: resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto fabricados artesanalmente en la ciudad de Celendín.
- Determinar la resistencia a compresión de pilas y muretes
- Clasificar los ladrillos fabricados artesanalmente en la ciudad de Celendín de acuerdo a la norma técnica E.070.



## 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

### 2.1.1. Internacionales

**Bianucci, MA. 2009. Ladrillo - orígenes y desarrollo. Argentina, FAU-UNNE. 39 p.**

En este trabajo se analizó el proceso de fabricación del ladrillo común, investigando la materia prima, su composición y el comportamiento de la misma. De dicho estudio se concluyó que el tamaño de los ladrillos comunes que se fabrican en Argentina, es de 26,5 a 27 cm. de largo, por 12,5 a 13 cm. de ancho, por 6 cm. a 7 cm. de espesor. En los ladrillos de buena calidad (bien cocidos), los ensayos de compresión en probetas, llegan a una resistencia de 90 Kg/cm<sup>2</sup> a la rotura. Lo importante, es que sus medidas estén relacionadas entre sí para posibilitar su uso: si (e) es el espesor, (a) es el ancho y (l) es el largo, la relación será,  $(a) = 2(e) + 1$  junta,  $(l) = 2(a) + 1$  junta.

**Afanador, N; Guerrero, G; Monroy, R. 2012. Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Bogotá, UMNG. 15 p.**

En dicha investigación se evaluaron las propiedades mecánicas de los ladrillos macizos cerámicos fabricados a mano en el municipio de Ocaña, Bogotá, Colombia, aplicando en primera instancia ensayos de caracterización física de la arcilla empleada como materia prima, luego han realizado pruebas de control de calidad no destructivas y destructivas de los ladrillos de mampostería que se seleccionaron entre los diferentes chircales (fábricas) o unidades productivas del sector, utilizando para tal fin, la norma técnica Colombiana NTC-4017, "Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla", que permitieron conocer las características y propiedades de los materiales que integran los elementos estructurales, analizando principalmente el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión, como parámetros que influyen en forma directa en la rigidez de la edificación, concluyendo que: De



acuerdo con los análisis de granulometría por hidrómetro y análisis granulométrico por tamizado por vía seca realizados al material arcilloso, se caracteriza por poseer una alto porcentaje de fracción arenosa y limos equivalente al 81% y una pobre fracción arcillosa equivalente al 19% del total de su composición, es decir, son clasificadas como arcillas arenosas inorgánicas con media plasticidad, con índice de plasticidad mayor al 10%, es decir, son arcillas que permiten el conformado y compactación de las piezas de mampostería; los ladrillos producidos en Ocaña, no cumplen las resistencias establecidas para Colombia; la TIA promedio es de  $0.387 \text{ g/cm}^2/\text{mín}$ , indica que las piezas de ladrillos deberán tener un prehumedecimiento mínimo de 24 horas y la AF promedio es de 17.41%, apropiado para muros interiores, pero excede en 4.41% el valor máximo para su utilización en muros exteriores porque su absorción máxima permitida es de 13%; no se encontró una relación que permita estimar una expresión entre la TIA y la resistencia a la compresión del ladrillo macizo de arcilla cocida, como también entre la AF y la resistencia a la compresión del ladrillo, pues sus coeficientes de correlación (R) fueron de 0.032 y 0.037 respectivamente, resultados diferentes a los obtenidos en otras investigaciones donde para  $f'_{cu}$  Vs. TIA el  $R = -0.77$  y para  $f'_{cu}$  Vs. AF es  $R = -0.24$ . Estos resultados pueden ser producto de la variabilidad del proceso de cocción, puesto que no se puede definir con claridad los ciclos de cocción empleados por los fabricantes en la producción de ladrillos tolete macizos, tomando como referencia que la temperatura promedio no alcanza los  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  en la mejor posición dentro del horno, pues hay zonas donde la temperatura escasamente alcanza los  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ; y, la resistencia nominal a la compresión de muros en ladrillo macizos de arcilla cocida tiene valores que oscilan entre 0.8 hasta 2.4 MPa y un valor promedio para el municipio de Ocaña de 1.44 MPa lo cual es bajo, si lo comparamos con la especificación de resistencia de 14 MPa para ladrillos macizos y su restricción de usar sólo el 80% de su resistencia, es decir, una resistencia a la compresión de la mampostería de 8.4 MPa, lo cual indica que en Ocaña, la resistencia de la mampostería a la compresión está entre el 9.5 al 28.6% del mínimo esperado, representando al menos, un alto grado de vulnerabilidad a la compresión en muros de ladrillo tolete macizo, usados principalmente en viviendas construidas con el sistema de resistencia sísmica de mampostería confinada. Esto indica la necesidad de implementar hornos

comunitarios que garanticen la temperatura de sintetización del material, un mejoramiento en el proceso de producción de las piezas de mampostería ya sea mediante extracción u otro medio, y el diseño de mezclas de arcilla que permitan un mejoramiento de las propiedades mecánicas.

### 2.1.2. Nacionales

**San Bartolomé, A. 1980. Comportamiento de elementos de albañilería en ensayos de compresión diagonal y corte directo. Lima, PUCP.**

En este Proyecto se investigó, principalmente, el efecto del esfuerzo de confinamiento ( $\sigma$ ) sobre la resistencia al corte ( $v$ ); para lo cual, se realizaron ensayos de corte directo sobre prismas de tres hiladas y de compresión diagonal en muretes cuadrados. Los especímenes fueron construidos empleando ladrillo King Kong industrial ( $f'b = 160 \text{ kg/cm}^2$ ) y mortero 1:4, Los resultados promedios (en  $\text{Kg/cm}^2$ ) proporcionaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Corte Directo: } v = 1.16 + 0.94 \sigma$$

$$\text{Compresión Diagonal: } v = 4.88 + 0.33 \sigma$$

Como conclusión se obtuvo que el ensayo de corte directo (con alta dispersión de resultados: 40%) no refleja el tipo de falla de los muros reales y sus resultados están influenciados por la técnica de ensayo impuesta. Adicionalmente, mediante ensayos de compresión diagonal en muretes, se investigaron otras variables, llegándose a las siguientes conclusiones: Que al emplear un espesor de 2 cm en la junta de mortero, disminuye la resistencia al corte en 25% en relación a utilizar un espesor de 1 cm; el uso de arena fina en el mortero disminuye la resistencia al corte en 40% en relación a emplear arena gruesa; el asentar ladrillos secos (con elevada succión en su estado natural) disminuye la resistencia al corte hasta en 50% en relación a emplear ladrillos regados ("tratados") con agua un día antes de asentarlos; la compactación del mortero en cada uno de los orificios de la unidad perforada, creó un anclaje mecánico (llaves de corte o engrape mecánico) entre las hiladas que elevó la resistencia al corte en 45%.

**Quiun, D; San Bartolomé, A; Mendoza, G. 2005. Corrección por esbeltez en pilas de albañilería ensayadas a compresión axial. Lima, PUCP.**

En esta investigación se ensayaron a compresión axial 60 pilas de albañilería, construidas con unidades de arcilla y de concreto, con el objeto de determinar experimentalmente los coeficientes de corrección aplicables sobre la resistencia característica  $f_m$  en pilas que presentan esbelteces distintas al valor nominal (5 para SENCICO, 2004; y, para INDECOPI, 2003). Los resultados indicaron la curva de tendencia del coeficiente de corrección (CC) por esbeltez de las pilas de albañilería ensayadas a compresión axial, para 3 tipos distintos de unidades, mostró una buena aproximación hacia los valores de CC proporcionados por SENCICO, 2004; mientras que los valores especificados por INDECOPI, 2003 (iguales a los indicados por ASTM C1314, 2003) se alejaron más de esta curva. Por tanto, es preferible emplear los valores de CC indicados por SENCICO, 2004, que son los mismos a los dados por ININVI, 1982. INDECOPI, 2003 (al igual que ASTM C 1314, 2003), utiliza una esbeltez nominal  $E = 2$  (donde  $CC = 1$ ), que corresponde aproximadamente a una pila compuesta por 2 ladrillos, mientras que la esbeltez estándar para SENCICO, 2004, es  $E = 5$ ; habiéndose comprobado experimentalmente que los valores de CC son muy sensibles para esbelteces menores que 3, resulta aconsejable que la esbeltez estándar sea la especificada por SENCICO, 2004 y que las pilas estén compuestas por lo menos por tres unidades de albañilería; las pilas hechas con ladrillos de concreto industrial (KKC) mostraron resultados incoherentes, obteniéndose mayor resistencia a compresión en las pilas más esbeltas. Por tanto, es necesario continuar la investigación para este tipo de unidad, esta vez construyendo por lo menos 10 pilas por cada esbeltez, para analizar si la inconsistencia puede deberse a las ranuras que muestra esta unidad.

**Ángles, P. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla. Tesis Ing. Civil. Lima, PUCP.**

En esta tesis se realizaron ensayos de carga lateral cíclica en dos muros con las mismas características, diferenciándolos en el tipo de ladrillos. Un muro fue construido con ladrillo de concreto vibrado Tipo A y el otro con ladrillos de arcilla

cocida. De la investigación realizada se puede observar que, la rigidez lateral elástica experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 19.87 ton/mm, fue mayor en 32% que la rigidez lateral del muro de ladrillos de arcilla.

Esto se debió al mayor módulo de elasticidad que tuvo la albañilería de ladrillo de concreto, así mismo la resistencia a tracción por flexión experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 11.14 ton, fue mayor en 12% que la resistencia a tracción del muro de ladrillos de arcilla, esto se debió al mayor módulo de elasticidad que tuvo la albañilería de ladrillo de concreto y la resistencia al agrietamiento diagonal experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 16.07 ton, fue menor en 7% que la resistencia al agrietamiento del muro de ladrillos de arcilla, se debió a que mientras que la albañilería con ladrillos de concreto falla escalonadamente a través de las juntas, la de arcilla lo hace cortando los ladrillos; del mismo modo explica que la carga máxima experimental soportada por el muro de ladrillos de concreto fue de 22.09 ton. Este valor fue similar a la carga máxima soportada por el muro de ladrillos de arcilla, teniendo en cuenta que ambos muros tuvieron el mismo refuerzo y las propiedades de la albañilería fueron casi iguales.

### **2.1.3. Locales**

**Mosqueira, J. y Díaz, M. 1984. Ensayos de albañilería utilizando ladrillos de arcilla cocida. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, UNC. 194 p.**

En la dicha investigación realizaron estudios de la propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Kong elaborado artesanalmente por la fábrica del señor Segundo Romero Llanos, ubicado en el centro poblado el Cerrillo, Baños del Inca, Cajamarca, a la vez ejecutaron ensayos de pilas y bloques; llegando a las siguientes conclusiones: La resistencia del mortero por tanda ha variado, pese a que se empleó el mismo albañil y las mismas proporciones de los componentes, debido a la cantidad de agua no fue la misma, pues está aplicada buscando la manejabilidad, plasticidad y trabajabilidad del mortero, según criterio del albañil; la resistencia de los ladrillos a la comprensión y flexión fue relativamente baja, a pesar de ser de la misma hornada, porque las unidades presentaban diferente concavidad, convexidad, agrietamientos, porosidad y dimensiones; los ensayos

de comprensión diagonal, en pilas y muretes aproximadamente cuadrados y no muy pequeños, parece ser bastante representativo de los comportamientos sísmicos típicos observados en muros de edificaciones de albañilería confinada, sometidos a acciones en su plano.

**XIII Congreso Nacional y I Congreso internacional de estudiantes de ingeniería Civil (2005, Cajamarca, Perú). 2005. Diagnóstico de vulnerabilidad de viviendas de albañilería confinada en la ciudad de Cajamarca. Ponencia. 10 p.**

Realizaron un estudio estadístico de 50 viviendas de albañilería confinada ubicadas en diferentes zonas de la ciudad de Cajamarca, recopilando información acerca de ubicación, dirección técnica en la construcción y en el diseño, tipo de terreno, errores constructivos, calidad de materiales y mano de obra empleada; concluyendo que la mayoría de viviendas de albañilería confinada son autoconstruidas, presentando grandes deficiencias estructurales y de construcción, lo que hace más vulnerables a efectos del sismo, así mismo indican que el ladrillo artesanal fabricado en el distrito de Baños del Inca, carece de supervisión técnica, el cual no cumplen con las especificaciones técnicas de la norma E-070.

**Fernández, K. 2010. Estudio de la influencia del tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo. Santa Barbará – Cajamarca. Tesis Mg. Sc. Cajamarca, UNC. 188 p.**

En dicha investigación se realizó estudios de la influencia del tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo del centro poblado Menor Santa Bárbara, Cajamarca. Para ello se ha determinado la composición mineralógica cuantitativa de cada una de las muestras provenientes de seis fábricas de ladrillo de la zona en base a los datos obtenidos en el análisis químico. Concluyendo que la materia prima tal como viene siendo utilizada (arcilla) no alcanza los niveles requeridos en esta industria lo que ocasiona que los ladrillos alcancen especialmente baja resistencia a la compresión.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Albañilería**

Material estructural compuesto por "unidades de albañilería" asentadas con mortero o por "unidades de albañilería" apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido. (Norma técnica E.070)

#### **2.2.1.1. Tipos de albañilería**

##### **A. Por su función estructural**

###### **a. Muros portantes**

Son las paredes de una edificación que poseen función estructural; es decir, aquellas que soportan otros elementos estructurales del edificio, como arcos, bóvedas, vigas o viguetas de forjados o de la cubierta.

Construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior o a la cimentación. Estos muros componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical

Para la construcción de los muros portantes se deberá tener en cuenta lo siguiente:

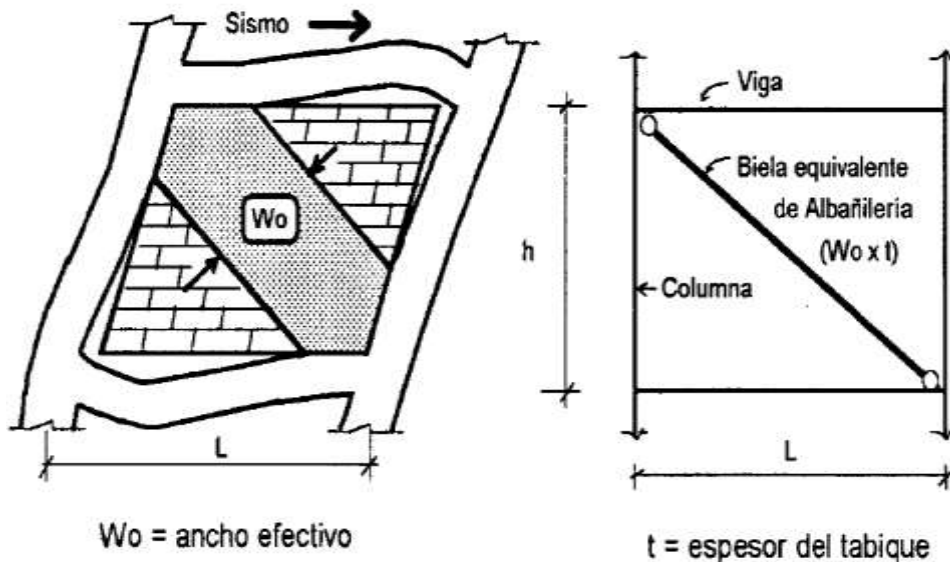
- Debe tener una sección transversal preferentemente simétrica.
- Continuidad vertical hasta la cimentación.
- Una longitud mayor o igual a 1,20 m para ser considerados como contribuyentes en la resistencia a las fuerzas horizontales.
- Longitudes preferentemente uniformes en cada dirección.
- Juntas de control para evitar movimientos relativos debidos a contracciones, dilataciones y asentamientos diferenciales.
- La distancia máxima entre juntas de control es de 8 m, en el caso de muros con unidades de concreto y de 25 m en el caso de muros con unidades de arcilla.



Fig. 1 Muro portante de albañilería

**b. Muros no portantes**

Muro diseñado y construido en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano. Son, por ejemplo, los parapetos, los tabiques y los cercos (NTP E-070). Estos muros deben diseñarse básicamente ante cargas perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismo u otras cargas de empuje. En nuestro medio, los tabiques son generalmente hechos de albañilería, esto se debe a las buenas propiedades térmicas, acústicas e incombustibles de la albañilería.



## B. Por la distribución de refuerzo

### a. Muros no reforzados o 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, su uso está limitado a construcciones de un piso; sin embargo, en Celendín existen muchas viviendas de albañilería no reforzada, incluso de cuatro niveles, ubicados sobre suelos de mala calidad o en ladera, no conociéndose su comportamiento ante un sismo moderado o severo.

Aunque la norma E-070 no lo indique, es preferible que los muros no reforzados estén ubicados sobre suelos de buena calidad, ya que la albañilería es muy frágil ante los asentamientos diferenciales.

En realidad la resistencia al corte (ver en la fig. 2) y la rigidez en el plano de los muros no reforzados son comparables con las correspondientes a los muros reforzados; pero debido al carácter de falla frágil que tienen los muros no reforzados (por no existir refuerzo que controle el tamaño de las grietas), la norma adopta factores de seguridad para los muros no reforzados iguales al doble de los correspondientes a los reforzados.

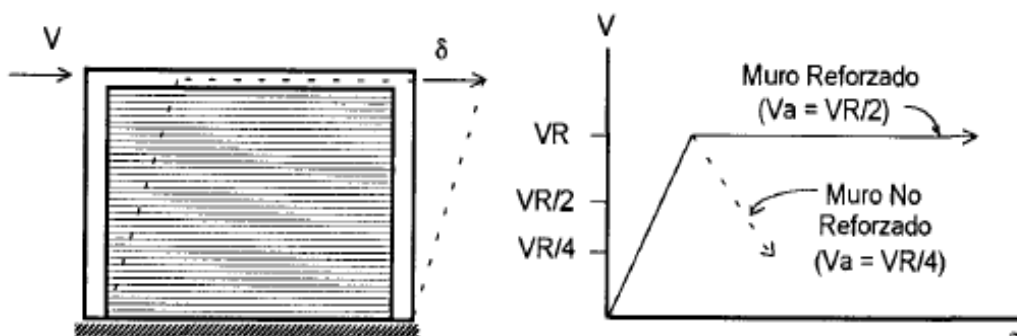


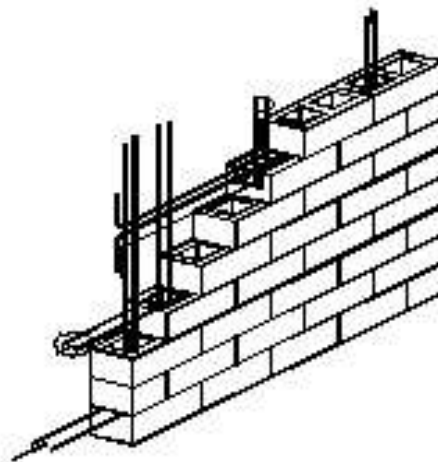
Fig. 2 Fuerza cortante admisible "Va" (San Bartolomé, A. 1994).



## b. Muros reforzados

### b.1. Muros armados

Los muros armados se caracterizan por llevar el refuerzo en el interior de la albañilería. Este refuerzo está generalmente distribuido a lo largo de la altura del muro (refuerzo horizontal) como de su longitud (refuerzo vertical), (fig.3).



*Fig. 3 Muro con refuerzo horizontal y vertical.*

Estos muros requieren de la fabricación de unidades especiales, con alveolos donde se pueda colocar el refuerzo vertical; en tanto que dependiendo del diámetro del refuerzo horizontal, éste se coloca en los canales de la unidad (cuando el diámetro es mayor de 1/4"), o en la junta horizontal (cuando el diámetro es menor o igual a 1/4"). El diámetro del refuerzo horizontal depende de la magnitud de la fuerza cortante que tiene que ser soportada íntegramente por el acero (San Bartolomé, A. 1994).

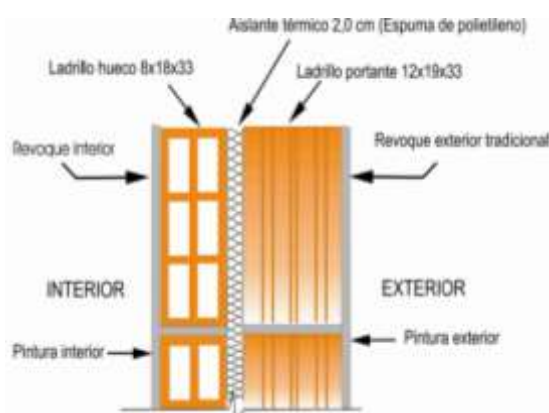
Los requisitos mínimos que debe cumplir un muro armado lo establece la norma E-070, en su artículo 28. (Reglamento nacional de edificaciones E-070, 2013).

## b.2. Muros laminares

Son muros construidos por una placa delgada de concreto, con un espesor de 1 a 4 pulgadas, usando concreto grout o normal, reforzado con una malla de acero central, y por 2 muros de albañilería simple que sirven como encofrados de la placa (fig. 4).

Debido a la adherencia que se genera entre el concreto y los muros de albañilería, así como por el refuerzo transversal que se emplea para la conexión de los dos muros, se logra una integración de todo el sistema.

Sin embargo, en la investigación experimental realizada en el Perú por el Ing. H. Gallegos, utilizando ladrillos sílice-calcáreos, 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" (San Bartolomé, A. 1994).

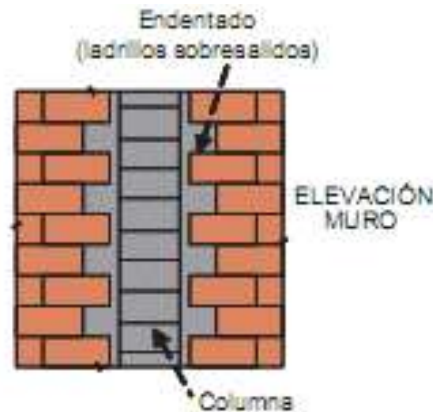


*Fig. 4 Muro laminar o sándwich.*

## b.3. Muros confinado

Este es el sistema que tradicionalmente se emplea en casi todo el Perú para la construcción de viviendas de hasta 4 pisos. La albañilería confinada se caracteriza por estar constituida por un muro de albañilería simple enmarcado por una cadena de concreto armado, vaciada con posterioridad a la construcción del muro. Generalmente, se emplea una

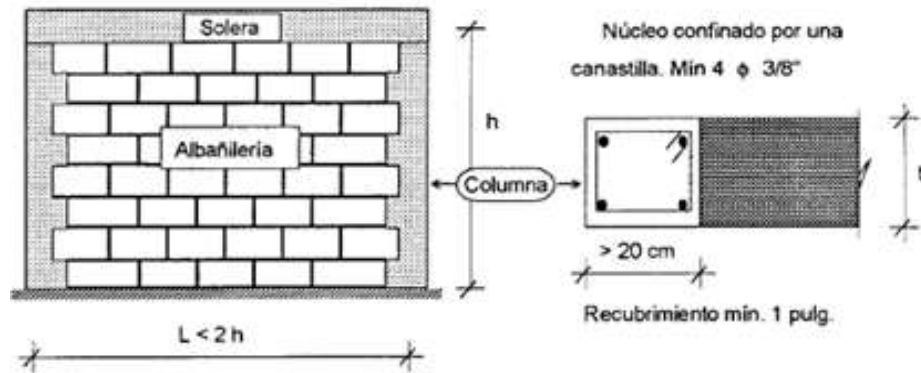
conexión dentada entre la albañilería y las columnas; esta conexión es más bien una tradición peruana, puesto que en Chile se utiliza una conexión prácticamente a ras, que tuvo un buen comportamiento en el terremoto de 1985.



**Fig. 5 Muro Confinado**

Los requisitos básicos que señala la norma E-070, para que un muro se considere confinado son:

- Que quede enmarcado en sus cuatro lados por elementos de concreto armado verticales (columnas) y horizontales (vigas soleras), aceptándose la cimentación de concreto como elemento de confinamiento horizontal para el caso de los muros ubicados en el primer piso.
- Que la distancia máxima centro a centro entre las columnas de confinamiento sea dos veces la distancia entre los elementos horizontales de refuerzo y no mayor de 5 m. De cumplirse esta condición, así como de emplearse el espesor mínimo especificado en el artículo 19.1.a de la norma E-070, la albañilería no necesitará ser diseñada ante acciones sísmicas ortogonales a su plano, excepto cuando exista excentricidad de la carga vertical, (fig. 6).



**Fig. 6 Requisitos mínimos para que un muro se considere confinado (San Bartolomé, A. 1994).**

- Se utilizará unidades de albañilería de acuerdo a lo especificado en el artículo 5.3 de la norma E-070.
- La conexión columna-albañilería podrá ser dentada o a ras: en el caso de emplearse una conexión dentada, la longitud de la unidad saliente no excederá de 5 cm y deberá limpiarse de los desperdicios de mortero y partículas sueltas antes de vaciar el concreto de la columna de confinamiento, en el caso de emplearse una conexión a ras, deberá adicionarse “chicotes” o “mechas” de anclaje (salvo que exista refuerzo horizontal continuo) compuestos por varillas de 6 mm de diámetro, que penetren por lo menos 40 cm al interior de la albañilería y 12,5 cm al interior de la columna más un dobléz vertical a 90° de 10 cm; la cuantía a utilizar será 0,001.
- El refuerzo horizontal, cuando sea requerido, será continuo y anclará en las columnas de confinamiento 12,5 cm con gancho vertical a 90° de 10 cm.
- Los estribos a emplear en las columnas de confinamiento deberán ser cerrados a 135°, pudiéndose emplear estribos con ¾ de vuelta adicional, atando sus extremos con el refuerzo vertical, o también, zunchos que empiecen y terminen con gancho estándar a 180° doblado en el refuerzo vertical.
- Los traslapes del refuerzo horizontal o vertical tendrán una longitud igual a 45 veces el mayor diámetro de la barra traslapada. No se

permitirá el traslape del refuerzo vertical en el primer entrepiso, tampoco en las zonas confinadas ubicadas en los extremos de soleras y columnas.

- El concreto deberá tener una resistencia a compresión ( $f'c$ ) mayor o igual a 17.15 MPa (175 Kg/cm<sup>2</sup>). La mezcla deberá ser fluida, con un revenimiento del orden de 12,7 cm (5 pulgadas) medida en el cono de abrams. En las columnas de poca dimensión, utilizadas como confinamiento de los muros en aparejo de soga, el tamaño máximo de la piedra chancada no excederá de 1,27 cm (½ pulgada).
- Que todos los empalmes y anclajes de la armadura desarrollen plena capacidad a la tracción, de acuerdo a la NTP E-060 de concreto armado.
- El espesor mínimo de las columnas y solera será igual al espesor efectivo del muro.
- El peralte mínimo de la viga solera será igual al espesor de la losa de techo.
- El peralte mínimo de la columna de confinamiento será de 15 cm. En el caso que se discontinúen las vigas soleras, por la presencia de ductos en la losa del techo o porque el muro llega a un límite de propiedad, el peralte mínimo de la columna de confinamiento respectiva deberá ser suficiente como para permitir el anclaje de la parte recta del refuerzo longitudinal existente en la viga solera más el recubrimiento respectivo.
- Cuando se utilice refuerzo horizontal en los muros confinados, las varillas de refuerzo penetrarán en las columnas de confinamiento por lo menos 12,50 cm y terminarán en gancho a 90°, vertical de 10 cm de longitud.

## 2.2.1.2. Componentes de albañilería

### A. Unidad de albañilería

Las unidades de albañilería se denominan ladrillos o bloques. Los ladrillos se caracterizan por tener dimensiones y pesos que hacen manejables con una sola mano en el proceso de asentado. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo. La unidad de albañilería es el componente básico para la construcción de la albañilería, se elabora de materias primas diversas como la arcilla, concreto y la mezcla se sílice y cal.

### B. Tipos de ladrillos

La tipología de las unidades de albañilería se realiza basándose en el área neta, medida en proporción a la superficie bruta de la cara de asiento, y en las características de los alvéolos. La tipología no tiene que ver ni con el tamaño de las unidades ni con la materia prima con que se elaboran. Es decir, para el mismo tipo puede haber ladrillos o bloques.

#### a. Unidades sólidas - macizas

Son las que no tienen huecos o, en todo caso, presentan alveolos o perforaciones perpendiculares a la superficie de asiento que cubren un área no mayor al 30% del área de la sección bruta en el mismo plano (fig. 7).



Fig. 7 Unidad de albañilería sólida o maciza

#### b. Unidades huecas

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano. En esta categoría clasifican los

bloques de concreto vibrado (empleados en la albañilería armada) y también, las unidades con muchas perforaciones (fig. 8).



*Fig. 8 Unidad de albañilería hueca*

**c. Unidades tubulares o pandereta.**



*Fig. 9 Unidad de albañilería tubular o pandereta*

**d. Aplicación estructural en tipos de unidades de albañilería**

Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005, mencionan que al margen del valor de la resistencia a la compresión, de las unidades de los diversos tipos, la diferencia del comportamiento radica en la fragilidad de la falla. Las unidades sólidas son las únicas que muestran un comportamiento razonablemente dúctil, sin fallas explosivas, mientras que todas las otras presentan fallas explosivas o frágiles, ya sea como unidades individuales o como componentes de un muro. La consecuencia de este hecho es que las unidades huecas y perforadas son admitidas con condiciones, y las tubulares no son admitidas para construcciones de muros portantes, particularmente en zonas sísmicas. Cuando las unidades huecas se llenan con concreto líquido su comportamiento en la falla se modifica, ductilizándose, entonces pueden ser admitidas para la construcción de muros portantes. En la tabla 1, se señala las limitaciones de aplicación estructural de los diferentes tipos de unidades de albañilería.

**Tabla. 1 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales**

| TIPO                     | ZONA SÍSMICA 2 Y 3                         |  | ZONA SÍSMICA 1                              |
|--------------------------|--|--|---|
|                          | Muro portante en edificios de 4 pisos      | Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos    | Muro portante en todo edificio              |
| <b>Sólido artesanal*</b> | No   | Sí, hasta dos pisos                          | Sí  |
| <b>Sólido industrial</b> | Sí   | Sí   | Sí  |
| <b>Alveolar</b>          | Sí<br>Celdas totalmente rellenas con grout | Sí<br>Celdas parcialmente rellenas con grout | Sí<br>Celdas parcialmente rellenas de grout |
| <b>Hueca</b>             | No   | No   | Sí  |
| <b>Tubular</b>           | No   | No   | Sí, hasta dos 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.

### **C. Unidad de albañilería**

Son los ladrillos sólidos, perforados y tubulares o cerámicos de arcilla cocida, elaborado de manera artesanal o industrial, el color varía de acuerdo a la arcilla, que va de amarillento a rojizo.

#### **a. 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 las segundas, predomina el silicato de alúmina con un 5% de óxido de hierro, que le proporciona un tono rojizo. Las mejores arcillas contienen un 33% de arena y limo; es necesario que exista arena para reducir los efectos de contracción por secado de la arcilla (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

#### **b. Clasificación de los ladrillos de arcilla**

De acuerdo a las investigaciones realizadas por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), Pontificia



Universidad Católica del Perú y la Universidad Nacional de Ingeniería, al ladrillo se le puede clasificar de acuerdo a sus dimensiones, en:

- Tipo corriente: 24x14x6 cm. (3 Kg.)
- Tipo King Kong: 24x14x10 cm. (5 a 6 Kg.)
- Tipo pastelero: 20x20x2.5 cm.
- Tipo pandereta: 24x12x10 cm. (2.5 a 3 Kg.)
- Tipo hueco: Se emplea en la construcción de losas aligeradas.
- Tipo IKARO: 24x11.5x9.5 cm. (3 Kg.)



*Fig. 10 Unidades de arcilla.*

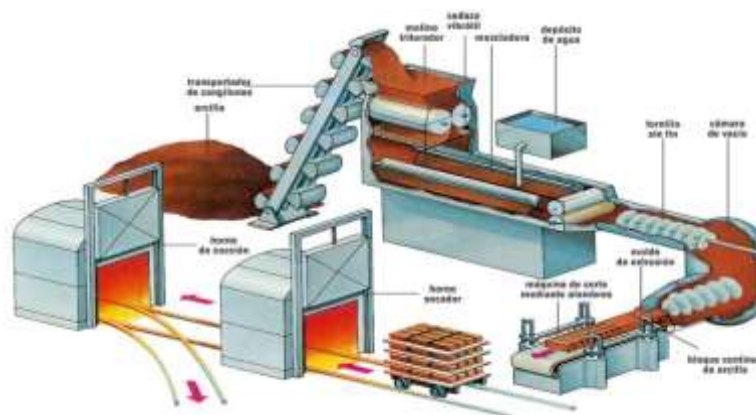
### **c. Fabricación**

El proceso de elaboración del ladrillo es variable, siendo artesanal, semi-industriales e industriales, elaborándose diferentes productos en su forma, tamaño y dimensiones.

Al respecto San Bartolomé, A. 1994, indica que la elaboración de las unidades de arcilla, tiene las siguientes etapas:

- ❖ Extracción del material en la cantera mediante picos, lampas, carretillas y equipo mecánico en la elaboración artesanal; o con palas mecánicas en el proceso industrial. Luego se tamiza el material empleando mallas metálicas, para de este modo eliminar las piedras y otras materias extrañas.
- ❖ Molienda de la materia prima, apisonándola o con molinos.
- ❖ Mezclado de la materia prima con agua y arena, dejando dormir la tierra durante un día (artesanal, como el adobe), o empleando máquinas dosificadoras al peso (industrial).

- ❖ Moldeado se efectúa amasando la mezcla sobre moldes de madera (como el adobe), con prensas (a gran presión) o con extrusoras; en este último caso, la masa plástica es obligada a pasar por una boquilla con la sección transversal del producto terminado.
- ❖ El secado se realiza colocando las unidades sobre un tendal, o introduciéndolas en un horno con temperatura regulable (desde la del medio ambiente hasta los 200 °C).
- ❖ 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 la resistencia de las unidades ubicadas en la parte baja y alta del horno; o con hornos tipo túnel con quemadores de petróleo o de carbón molido, con cámaras de temperaturas regulables hasta 1200°C y de enfriamiento. Este proceso dura entre 2 y 5 días.



*Fig. 11 Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera industrial.*

## **D. Propiedades físicas y mecánicas**

### **D.1. Variabilidad dimensional**

Aunque es una propiedad física, influye en el comportamiento resistente del muro. Por lo que a mayor variación dimensional, mayor espesor de la junta y mientras mayor sea el espesor de la junta, menor será la resistencia a compresión y la fuerza cortante del muro de albañilería. Las dimensiones de la unidad, según la norma NTP 331.017, se expresan como: largo x ancho x altura (L x b x h), en centímetros. El largo y el ancho se refieren a la superficie de asiento, y las dimensiones

nominales (comerciales) usualmente incluyen 1 cm de junta. De acuerdo a San Bartolomé, A. 1994. 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 3 mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo requerido de 10 mm), la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en 15%; asimismo, disminuye la resistencia al corte.

Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las normas NTP 399.613 y 399.604, (NTP E-070-2013).

Los resultados están expresados en porcentaje, y se calcula mediante la siguiente fórmula, con una aproximación de 0.001 mm.

$$V = \frac{ME - MP}{ME} * 100$$

Dónde:

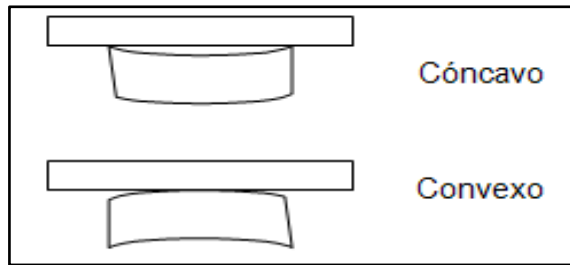
V : Variabilidad dimensional (%).

ME : Medida especificada por el fabricante (mm).

MP : Medida promedio (mm).

## D.2. Alabeo

El mayor alabeo (concavidad o convexidad) del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta; asimismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas; o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad (San Bartolomé, A. 1994). Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la norma NTP 399.613, (NTP E-070, 2013).



**Fig. 12 Convexidad y concavidad del ladrillo.**

### **D.3. Absorción**

Según Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Se denomina absorción y absorción máxima a la diferencia de peso entre la unidad mojada y la unidad seca expresada en porcentaje del peso de la unidad seca. Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.604 y 399.613, (NTP E-070, 2013). Los resultados están expresados en porcentaje según la siguiente fórmula:

$$A = \frac{P_s - P_{seco}}{P_{seco}} * 100$$

Dónde:

A : Absorción (%) (Tablas 18 y 19).

Ps : Peso saturado (g)

Pseco : Peso seco (g)



**Fig. 13 Absorción del ladrillo.**

#### D.4. Succión

De acuerdo a lo indicado en la norma E-070, consiste en medir un volumen ( $V_1$ , en  $\text{cm}^3$ ) inicial de agua sobre un recipiente de área definida y vaciar una parte del agua sobre una bandeja, luego se apoya la unidad sobre tres puntos en la bandeja de manera que su superficie de asiento esté en contacto con una película de agua de 3 mm de altura durante un minuto, después de retirar la unidad, se vacía el agua de la bandeja hacia el recipiente y se vuelve a medir el volumen ( $V_2$ , en  $\text{cm}^3$ ) de agua; la succión normalizada a un área de  $200 \text{ cm}^2$ , se obtiene como: La succión esta expresada en gramos por minuto en un área normalizada de  $200 \text{ cm}^2$ , como indica la norma E-070 y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{200 * (P_{suc} - P_{sec})}{\text{ÁreaBruta}}$$

Dónde:

S : Succión

$P_{suc}$  : Peso (gr) de la unidad luego de ser sumergido en agua durante 1 minuto.

$P_{sec}$  : Peso seco (gr) de la unidad luego de permanecer en el horno.

Área Bruta: Ancho x Largo ( $\text{cm}^2$ )



**Fig. 14 Succión del ladrillo.**

## D.5. Resistencia a la compresión

Los especímenes son medias unidades secas, sobre cuyas superficies de asiento se coloca un capping. Luego, se aplica la carga vertical a una velocidad de desplazamiento entre los cabezales de la máquina de ensayos de 1.25 mm/min; o, en todo caso, se controla la velocidad de carga de manera que se llegue a la rotura en unos 3 a 5 minutos (San Bartolomé, A. 1994).

Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.613 y 339.604. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería ( $f'_b$ ) se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

$$f_b = \frac{Carg\ aMáx.}{ÁreaBruta}$$

$$f'_b = f_b - \sigma$$

Dónde:

Fb : Esfuerzo a la compresión

Carga Max : Carga (kg).

Área Bruta = Ancho x Largo (cm<sup>2</sup>)



Fig. 15 Ensayo a la compresión del ladrillo.

### D.5.1. Módulo de elasticidad.

Como parte del ensayo de compresión, cuando se dispone de máquinas que pueden medir la reacción del testigo ante la aplicación de deformación controlada, es posible obtener curvas completas esfuerzo-deformación unitaria. En la fig. 17, se muestran curvas normalizadas para unidades de arcilla, concreto y sílice-cal. Se puede notar en ellas lo siguiente. Ante carga de compresión, las unidades de diferentes materias primas presentan comportamientos diferentes.

- Los módulos de elasticidad, medidos como la pendiente de la secante a la mitad de la resistencia última ( $1/2 f_b$ ) se pueden estimar en 400 f'b para las unidades de arcilla, 1000 f'b para las unidades de concreto y 800 fb para las unidades de sílice-cal.
- Las deformaciones unitarias correspondientes al esfuerzo de rotura ( $f_b$ ) son aproximadamente 0,6% para unidades de arcilla, 0,3% para unidades de concreto y 0,45% para unidades de sílice-cal.
- Las unidades de arcilla muestran comportamientos más frágiles que las de concreto y sílice-cal.

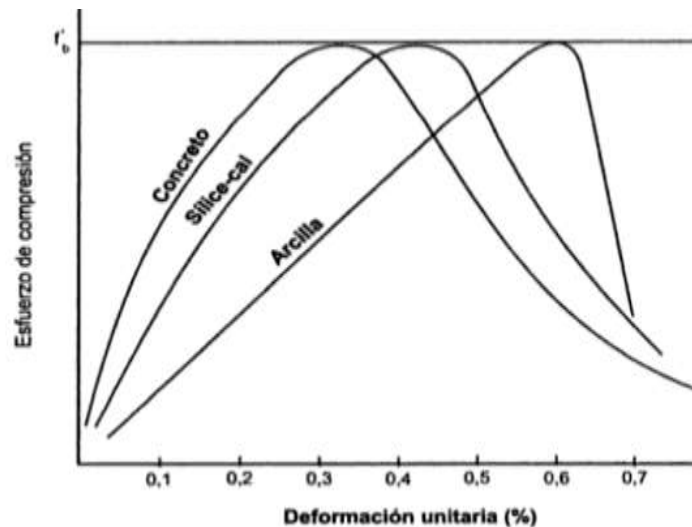


Fig. 16 Curvas normalizadas esfuerzo de compresión ( $f_b$ ) vs. Deformación unitaria de unidades ensayadas en compresión.

## E. Clasificación del ladrillo estructuralmente

De acuerdo a la norma NTP 331.017, los ladrillos se clasifican en 5 tipos:

- **Tipo I.** Estos ladrillos tienen una resistencia y durabilidad muy baja; son aptos para ser empleados bajo condiciones de exigencias mínimas (viviendas de 1 ó 2 pisos), evitando el contacto directo con la lluvia o el suelo.
- **Tipo II.** En esta categoría clasifican los ladrillos de baja resistencia y durabilidad; son aptos para usarse bajo condiciones de servicio moderadas (no deben estar en contacto directo con la lluvia, suelo o agua).
- **Tipo III.** Son ladrillos de mediana resistencia y durabilidad, aptos para emplearse en construcciones sujetas a condiciones de bajo intemperismo.
- **Tipo IV.** Estos ladrillos son de alta resistencia y durabilidad; aptos para ser utilizados bajo condiciones de servicio rigurosas. Pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo moderado, en contacto con lluvias intensas, suelo y agua.
- **Tipo V.** Tienen una resistencia y durabilidad elevada; son aptos para emplearse en condiciones de servicio muy rigurosas, pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo similares al tipo IV.

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la tabla 2, según la norma técnica peruana E-070.

**Tabla. 2** Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

| CLASE               | Variación de la dimensión<br>(Máxima en porcentaje) |                 |                  | Alabeo<br>(máximo en<br>mm) | Resistencia característica<br>a compresión $f'b$<br>mínimo en MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )<br>sobre área bruta |
|---------------------|---|-----------------|------------------|-----------------------------|---|
|                     | Hasta 100<br>mm                                     | Hasta 150<br>mm | Más de 150<br>mm |                             |   |
| <b>Ladrillo I</b>   | ± 8   | ±6              | ± 4              | 10                          | 4.9 (50)  |
| <b>Ladrillo II</b>  | ± 7   | ± 6             | ± 4              | 8                           | 6.9 (70)  |
| <b>Ladrillo III</b> | ± 5   | ± 4             | ± 3              | 6                           | 9.3 (95)  |
| <b>Ladrillo IV</b>  | ± 4   | ± 3             | ± 2              | 4                           | 12.7 (130)  |
| <b>Ladrillo V</b>   | ± 3   | ± 2             | ± 1              | 2                           | 17.6 (180)  |

$f'b$  = Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería.

MPa = Megapascal.



## F. Limitaciones en su aplicación

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la tabla 3. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTP E-030 de diseño sismoresistente; para las edificaciones con ladrillo artesanal sólido debe establecerse condiciones mínimas que puede ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

**Tabla. 3 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales**

| 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                             |
| <b>Hueco</b>      | No  | No  | Si                             |
| <b>Tubular</b>    | No  | No  | Si, hasta 2 pisos              |

Fuente: NTP E-070.

## G. Mortero

La norma E-070, indica que el mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Para la elaboración del mortero destinado a obras de albañilería, se tendrá en cuenta lo indicado en las normas NTP 399.607 y 399.610.

San Bartolomé, A. 1994. Menciona que la función principal del mortero en la albañilería es adherir las unidades corrigiendo las irregularidades que la misma tiene, así como sellar las juntas contra la penetración del aire y de la humedad.

En cuanto a la adherencia unidad-mortero, ésta se logra cuando los solubles del cemento son absorbidos por la unidad, cristalizándose (como agujas) en sus poros. La adherencia se ve favorecida cuando el mortero penetra en las perforaciones y rugosidades de la unidad, formando una especie de llave de corte entre las hiladas (San Bartolomé, A. 1994).

### a. Componentes del mortero

El mortero básicamente está compuesto por cemento portland tipo I, cal hidratada normalizada, arena gruesa y agua. El cemento y la cal funcionan como aglomerantes, mientras que la arena es un agregado inerte.

### a.1. Cemento

Se utiliza básicamente el cemento portland tipo I (ASTM C-150), se recomienda preparar una mezcla más rica (bajando 1/2 volumen a la arena) para lograr la misma resistencia que con un cemento tipo I.

### a.2. Agregado fino

Estará constituido por arena fina natural, libre de materia orgánica y sales, con las características indicadas en la tabla 4.

Se aceptarán otras granulometrías siempre que los ensayos de pilas y muretes, proporcionen resistencias según lo especificado en la norma E-070.

**Tabla. 4 Granulometría de la arena fina**

| 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 |

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones norma E – 070

- No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas.
- El módulo de fineza estará comprendido entre 1,6 y 2,5 para mortero.
- El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
- No deberá emplearse arena de mar.

### a.3. Agua

El agua será potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica (NTP 339.088)

### b. Ensayo a la compresión

El ensayo de compresión en probetas de mortero (usualmente cilindros de 5.04 cm de diámetro y 10 cm de altura), vaciados sobre moldes metálicos, y curados durante 28 días en una poza con agua; se realiza sólo con fines de controlar la calidad del mortero.

### c. Clasificación

Los morteros se clasifican en: tipo P, empleado en la construcción de los muros portantes; y NP, utilizado en los muros no portantes, tabla 5. Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas en estado suelto como se indica en la tabla 5.

*Tabla. 5 Tipos de mortero, NTP E-070*

| <b>Tipo</b> | <b>Cemento</b> | <b>Cal</b> | <b>Arena</b> | <b>Usos</b>        |
|-------------|----------------|------------|--------------|--------------------|
| P1          | 1              | 0 a 1/4    | 3 a 3 1/2    | Muros Portantes    |
| P2          | 1              | 0 a 1/2    | 4 a 5        | Muros Portantes    |
| NP          | 1              | -          | Hasta 6      | Muros No Portantes |

Fuente: NTP E-070.

- Se podrán emplear otras composiciones de morteros, morteros con cementos de albañilería, o morteros industriales (embolsado o premezclado), siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes, proporcionen resistencias iguales o mayores a las especificadas en los planos (Reglamento nacional de edificaciones, norma E-070,2013).
- De no contar con cal hidratada normalizada, se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la tabla N°6, (Reglamento nacional de edificaciones, norma E-070,2013).

Es necesario señalar que la norma ASTM C-270 especifica 2 tipos de mortero (M y S) para la construcción de los muros portantes, de manera que el volumen de arena esté comprendido entre 2/4 y 3 veces la suma de los volúmenes de los aglomerantes, cemento y cal, tabla 6.

*Tabla. 6 Tipos de Mortero, ASTM C-270*

| <b>Tipo</b> | <b>Cemento</b> | <b>Cal</b> | <b>Arena</b> |
|-------------|----------------|------------|--------------|
| M           | 1              | 1/4        | 2.8 a 3.8    |
| S           | 1              | 1/4 a 1/2  | 2.8 a 4.5    |

Fuente: San Bartolomé, A. 1994

### **2.2.1.3. Albañilería simple**

#### **A. Especificaciones generales para el asentado de ladrillo**

Mano de obra empleada en la construcción de la albañilería será calificada debiéndose supervisar el cumplimiento de las siguientes exigencias básicas:

1. Los muros se construirán a plomo en línea. No se atentará contra la integridad del muro reciente asentado.
2. En la albañilería con unidades asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales quedarán completamente llenas de morteros. El espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el espesor máximo será 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm, lo que sea mayor. En las juntas que contengan el refuerzo horizontal, el espesor mínimo de la junta será 6 mm más el diámetro de la barra.
3. Se mantendrá el temple del mortero mediante el reemplazo del agua que se pueda haber evaporado, por una sola vez. El plazo del reemplazo no excederá al de la fragua inicial del cemento.
4. Las unidades de albañilería se asentarán con las superficies libres de polvo y sin agua libre. El asentado se realizará presionando verticalmente las unidades, sin bambolearlas.

5. Para el asentado de la primera hilada, la superficie de concreto que servirá de asiento, se preparara con anterioridad de forma que quede rugoso, luego se limpiara de polvo u otro material suelto y se humedecerá antes de asentar la primera hilada.
6. No se asentara más de 1.30 m de altura de muro de una jornada de trabajo. En el caso de emplearse unidades totalmente sólidas, la primera jornada de trabajo culminara sin llenar la junta vertical de la primera hilada, este relleno se realizará al iniciarse la segunda jornada.
7. Las juntas de construcción entre jornadas de trabajo estarán limpias y serán previamente humedecidas.
8. El tipo de aparejo a utilizar será de sogá, cabeza o el amarre americano, trasladándose las unidades entre las hiladas consecutivas.
9. El procedimiento de colocación y consolidación del concreto líquido dentro de las celdas de las unidades, como en los elementos de concreto armado, deberá garantizar la ocupación total de espacio y la ausencia de cangrejas.
10. Las vigas peraltadas serán vaciadas de una sola vez en conjunto con la sola de techo.

## **B. Modelaje especímenes y ensayos**

Según, Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Las resistencias de la albañilería a la compresión, tracción y corte, define el comportamiento estructural de los diferentes elementos de albañilería ante la acción de solicitaciones reales (cargas gravitacionales, sismo y viento). El comportamiento de los especímenes, cuando se somete a ensayo, es el producto de la acción heterogénea de los componentes de la albañilería (unidad, mortero o líquido), imitando o modelando la reacción cuando es sometido a cargas iguales a las del ensayo. El modelaje es complicado, por las características anisotrópicas de la albañilería y porque en la práctica, las cargas no se presentan, como en el ensayo, aislada de efectos de borde y otras interacciones. En el ensayo de especímenes se

debe escoger determinadas orientaciones preferentes para la carga, en general son las siguientes:

- Para ensayos de comprensión se aplica carga coplanar perpendicular a la hilada. Esta orientación es prioritaria, pues corresponde a la acción gravitacional en muros horizontales, que son los predominantes. El valor obtenido es útil para analizar el comportamiento de muros de corte ante la acción conjunta de las cargas de gravedad y las acciones sísmicas, situación en las que se presentan elevados esfuerzos de comprensión, especialmente verticales, en los talones comprimidos.
- La tracción coplanar se genera en los ensayos aplicando fuerzas de corte, para producir tracciones indirectas. Ello suele hacerse tomando tres ángulos con relación a la hilada:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ . Estos datos posibilita, interpolando entre los valores medios, la determinación de la resistencia en cualquier dirección intermedia. Todo ello define el comportamiento del muro de albañilería hasta el nivel de agrietamiento para combinaciones de cargas gravitacionales y horizontales coplanares, originadas por sismo o viento.
- Los ensayos de tracción por flexión se aplica carga perpendicular al plano, para generar flexiones paralelas y perpendiculares a la hilada, lo que permite la determinación de los módulos de ruptura de la albañilería en estas direcciones principales. Esta información permite analizar el comportamiento de muros sometidos a carga perpendicular a su plano, que pueden tener condiciones de apoyo de borde variadas.
- Para evaluar la resistencia al corte se utiliza el ensayo de cizalle en la junta horizontal del mortero. Esta junta, sometida al mismo tiempo de corte en su plano y comprensión vertical, puede ser el plano de falla de muros de albañilería simple y albañilería confinada.

La determinación de las características del espécimen y del tipo, procedimiento y evaluación del ensayo es de considerable

importancia, pues debe conducir a ensayos repetibles, económicos e interpretables.

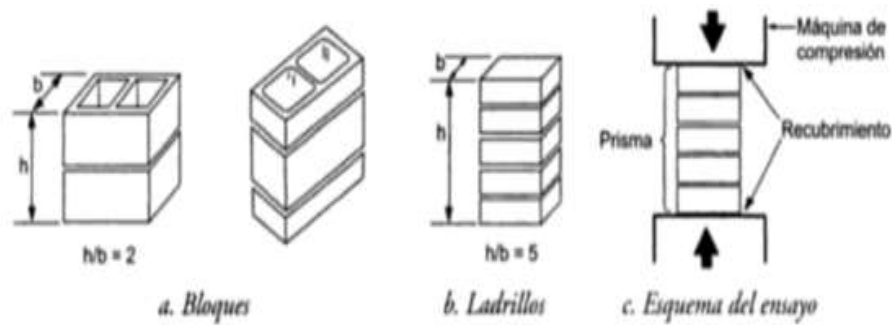
### **C. Discreciones de falla**

La albañilería es un material compuesto, heterogéneo y anisotrópico, en el que los planos de debilidad coinciden con las juntas verticales y horizontales y en el que se integran, en un comportamiento único, materiales con características disimiles. Las juntas horizontales, debido a su naturaleza continua, dividen a la albañilería en capas (hiladas), dando la apariencia de un material compuesto laminado.

La elaboración de criterios de fallas, en cargas coplanares, debe contemplar los posibles modos de falla en tracción y en corte por cizalle a lo largo de las juntas horizontales y verticales; en este último caso, debe tener en cuenta el efecto de las compresiones perpendiculares a la junta. Además es necesario que se considere los efectos de tracción transversal generados por las diferencias en las características elásticas de los materiales.

### **D. Ensayo de prismas - pilas**

El espécimen para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería está estandarizado, y consiste en un prisma de unidades asentadas una sobre otra (fig. 18). Los primas se llenan con concreto liquido (unidades huecas), asentadas o apiladas (unidades sólidas), (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).



**Fig. 17 Prisma (pila) estándar para el ensayo de compresión (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).**

La esbeltez y la altura mínima de los prismas dependen si la albañilería es de ladrillos o de bloques. En el caso de los prismas de ladrillos, la relación alto – ancho del prisma estará entre 2 y 5, y el alto no será menor de 30 cm. En el caso de las pilas de bloques, la esbeltez estará entre 1.3 y 5, y el alto no será menor de 30 cm, (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

La norma E-070 de albañilería, señala que la resistencia de la albañilería a compresión axial ( $f'_m$ ) se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre.

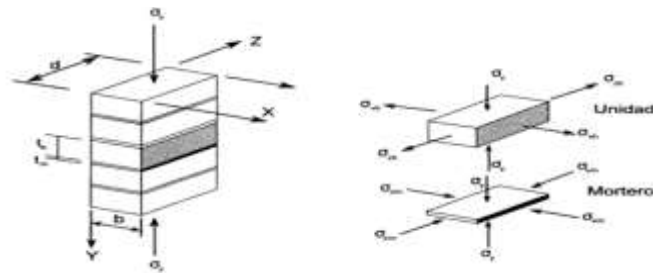
Los prismas serán elaborados en obra, utilizando el mismo contenido de humedad de las unidades de albañilería, la misma consistencia del mortero, el mismo espesor de juntas y la misma calidad de la mano de obra que se empleará en la construcción definitiva (NTP E-070). La resistencia característica ( $f'_m$ ) en pilas, se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos la desviación estándar (NTP E-070).

San Bartolomé, A. 1994. Describe que las pilas fallan principalmente por tracción ortogonal a la compresión aplicada (grieta vertical); esto se debe a que el mortero trata de expandirse lateralmente en mayor proporción que la unidad y puesto que debe existir compatibilidad de deformación entre ambos elementos, el mortero trabajará a compresión y la unidad a



tracción lateral. Otro tipo de falla en las pilas es por aplastamiento (de la unidad o del mortero), producida cuando se emplean materiales de baja resistencia.

Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Concluyen que la expansión lateral libre del mortero, asumiendo módulos de poisson de valor similar para ladrillo y el mortero, será mucho mayor para este último. Debido a que en el prisma, y en un muro real de albañilería, deben deformarse lo mismo lateralmente, a causa, sobre todo, de la fricción entre ambos materiales, la expansión lateral del mortero estará restringida por el ladrillo por el efecto de la adherencia. Por lo tanto, el mortero, está sometido a compresión triaxial, y el ladrillo a una combinación de compresión axial y tracción biaxial, en la pila (fig.19).



**Fig. 18 Esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de la carga unitaria axial.**

*(Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).*

En los muros reales, los ladrillos no están asentados uno encima del otro, sino con algún tipo de amarre. Las alturas y las esbelteces son bastante mayores que las de los prismas. Sin embargo, si no ocurren fallas previas, por inestabilidad elástica o por excentricidad de la carga, la forma de la falla del muro es semejante a la del prisma. Esto significa que en los muros ocurren agrietamientos de tracción transversal. El valor  $f'_m$  se calcula contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparece en la tabla 7.

**Tabla. 7 Factores de corrección de  $f'_m$  por esbeltez**

| Esbeltez | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 4.0  | 4.5  | 5.0  |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| Factor   | 0.73 | 0.80 | 0.91 | 0.95 | 0.98 | 1.00 |

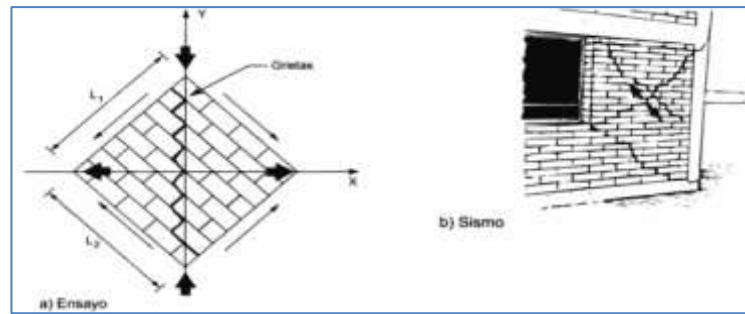
Fuente: NTP E-070

## E. Ensayo de muretes

El testigo estándar es un murete cuadrado cuyo lado nominal debe medir 1 m. debe ser de albañilería. En muchas investigaciones se han ensayado especímenes de menor dimensión, esto es posible siempre y cuando se calibren los resultados, ya que producen mayores resultados para la misma albañilería (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005). El ensayo consiste, en cargar diagonalmente el murete con una carga de compresión creciente y a un ritmo controlado hasta la rotura.

El dispositivo de transferencia de la carga del espécimen produce concentración de esfuerzos y debe transferir la carga uniformemente a las superficies de contacto de la albañilería para evitar fallas localizadas. El ensayo más utilizado para determinar la resistencia al corte o resistencia a la tracción diagonal es, el de corte o compresión diagonal, fallando en forma escalonada a través de las juntas, o cortando las unidades, lo último se produce cuando se desarrolla una buena adherencia entre el mortero y la unidad.

La similitud de la forma de falla del ensayo con la forma de falla de ciertos muros de edificaciones ante acciones sísmicas, muchos investigadores, consideran como un ensayo representativo ideal, cuando en realidad las condiciones de borde son, por lo general, totalmente diferentes entre ensayo y realidad. Es decir, el valor de este ensayo es un método simple y práctico de evaluar resistencias al corte y a la tracción diagonal de diferentes albañilerías (fig. 20). La norma E-070 de albañilería, señala que la resistencia de la albañilería al corte ( $v'_m$ ) se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre.



**Fig. 19 Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo**  
(Gallegos, H. y Casabonne, C .2005 ).

La resistencia característica ( $v'_m$ ) en muretes, se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar (NTP E-070). El valor de  $v'_m$  para diseño no será mayor de  $0.319 \sqrt{f'_m}$  MPa ( $\sqrt{f'_m}$  Kg/cm<sup>2</sup>) El resultado del ensayo es el valor nominal unitario de corte ( $v'_m$ ) obtenido a partir de las siguientes fórmulas:

$$v_m = \frac{P_u}{A_n}$$

$$v'_m = v_m - s$$

Dónde:

$P_u$  : Carga de rotura

$S$  : Desviación estándar.

$A_n$  : Área del espécimen, se calcula con la siguiente fórmula:

$$A_n = \frac{1}{2} (L_1 + L_2) b \gamma$$

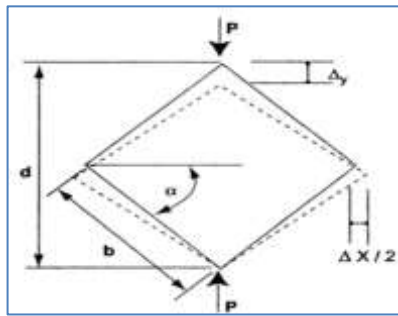
En la que:

$L_1$  y  $L_2$  : Son los lados reales del testigo o espécimen

$b$  : Espesor efectivo de murete

$\gamma$  : Proporción del área con relación al área bruta de las unidades

La deformación por corte mostrada en la fig. 21, se calcula:



**Fig. 20 Esquema de deformación del espécimen (murete), (Gallegos, H. y Casabonne, 2005).**

En cualquier caso, la evaluación de los ensayos debe hacerse estadísticamente para determinar el valor característico de la resistencia al corte. En general cuando no hay precompresiones o estas son muy reducidas, la falla tiende a ocurrir siguiendo las juntas horizontales y verticales, aun ángulo aproximado de  $45^\circ$  con la hilada. Cuando se aplican precompresiones las grietas pueden atravesar unidades, y el ángulo de falla se hace dependiente de su magnitud. Estos hechos han conducido a establecer que la falla, en este caso la tracción principal alcanza su valor crítico.

La predicción de la resistencia a cortante del espécimen sometido a compresión diagonal depende de la solución de un problema de elasticidad bidimensional para un material no homogéneo y del conocimiento de la envolvente de falla biaxial de la albañilería. Sin embargo, si se conoce las limitaciones de las teorías de falla aplicables a materiales isotrópicos y homogéneos cuando el espécimen falla por las juntas, estas teorías tradicionales son útiles para evaluaciones cualitativas y comparativas.

#### **2.2.1.4. Comportamiento sísmico**

Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Después de varias investigaciones mencionan que el diseño económico de estructuras sismo – resistentes, solo puede ser satisfecha si los muros son conducidos a comportamientos (falla preferente) en flexión y si se evita la falla frágil, particularmente de corte y deslizamiento. Las condiciones básicas para lograr lo antes descrito, son las siguientes:

- Los muros deben ser de albañilería confinada o de albañilería armada. Los muros de albañilería simple confinada deben ser diseñados en el rango elástico y, consecuentemente, no están sujetos a demandas cuantitativas de ductilidad.
  - La sección transversal de los muros debe ser preferentemente simétrica. Secciones rectangulares o en forma de I.
  - Los muros deben tener esbeltez, medida por su relación entre su alto y largo, siempre mayor que uno, y preferentemente mayor que dos. Esta condición proviene de haberse establecido que los muros de esbeltez reducida tienen tendencia a fallar en corte.
  - Los muros de edificios de mediana altura deben, preferentemente, actuar como voladizos para asegurar una respuesta sísmica dúctil.
- San Bartolomé, A. 1994. Indica como calcular experimentalmente el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad ( $R_d$ )

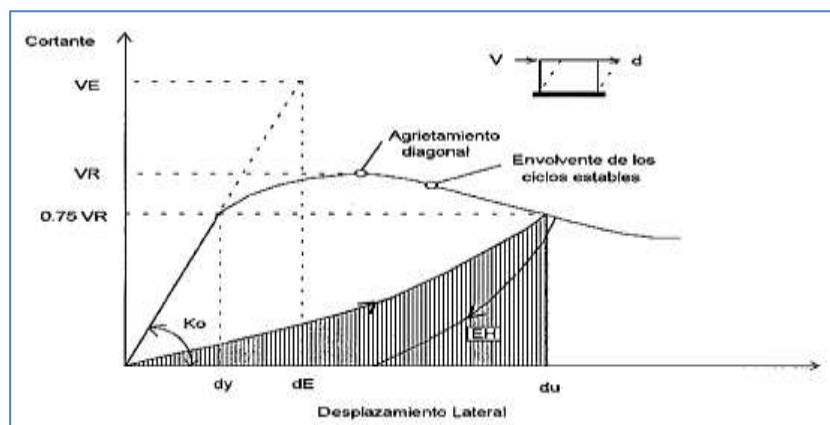


Fig. 21 Gráfica para el cálculo experimental de  $R_d$ . (San Bartolomé, A. 1994).

Definiendo la ductilidad como la capacidad que tiene un espécimen de deformarse inelásticamente, sin que se produzcan daños irreparables o una severa degradación en la capacidad de carga, propone dos criterios para calcular experimentalmente el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad " $R_d$ ".

- Criterio de igualación de energía ( $E = EH$ ): calculando "EH" para una distorsión angular de  $1/200$ , asociada al límite de reparabilidad, se obtiene:

$$Rd = \frac{VE}{VR} = \sqrt{2Ko} \frac{EH}{VR}$$

Dónde:

Ko: Rigidez lateral Inicial

EH: Capacidad de absorción de energía inelástica

E: Energía elástica equivalente =  $VE \, dE/2 = (VE)^2/2Ko$

- En función de la ductilidad de desplazamiento correspondiente al 25% de degradación de carga: igualando E a la energía elastoplástica ideal Se obtiene:

$$\frac{VR^2 (2\mu - 1)}{Ko}$$

$$Rd = \frac{VE}{VR} = \sqrt{(2\mu - 1)}$$

En la que:

$\mu$  : Ductilidad de desplazamiento al 25% de degradación de carga =  $du/dy$

La aplicación del primer criterio proporciona valores de  $Rd = 1.8$  para muros sin refuerzo horizontal con alta carga axial ( $0.05 f'm < \sigma < 0.15 f'm$ ), y  $Rd = 2.5$  para muros con baja carga axial ( $\sigma < 0.05 f'm$ ), o con alta carga axial ( $\sigma < 0.15 f'm$ ) pero reforzados horizontalmente. La aplicación del segundo criterio proporciona valores muy elevados de  $Rd$ . Gallegos, H. y Casabonné, C. 2005. Indican que las principales causas que explican las fallas sísmicas de las construcciones de albañilería son las siguientes:

- ✓ Carencia de refuerzo.
  - ✓ Configuraciones defectuosas.
  - ✓ Muros con rigideces relativas muy desiguales.
  - ✓ Diafragmas incompetentes.
  - ✓ Unidades de albañilería frágiles.
- Relleno incorrecto de los alvéolos en la albañilería armada.

### **2.2.1.5. Incidencia de las propiedades mecánicas del ladrillo y mortero en la resistencia de muros.**

El ladrillo y el mortero en la albañilería, deben tener un comportamiento monolítico, es decir ante la presencia de cargas provenientes del exterior, el mortero y el ladrillo deben actuar como una sola unidad, independientemente presentan las siguientes características mecánicas en la resistencia de los muros:

**Mortero:** El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. El mortero utilizado en juntas debe soportar inicialmente las sucesivas hiladas de ladrillos o bloques. Luego, la resistencia del mortero influirá, por ejemplo, en la capacidad de una fábrica para soportar y transmitir las cargas a las que se ve sometida. Así mismo, el mortero para solados resistirá el peso de personas y enseres que se asienten sobre él.

**Ladrillo:** La resistencia a la compresión de la unidad es, por sí sola, su principal propiedad y la que finalmente determina la resistencia a la compresión del muro de albañilería ( $f'm$ ). En general, unos valores altos de resistencia a la compresión señalan una buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición. Los valores bajos, en cambio, son muestra de unidades que producirán albañilería poco resistente y poco durable.

## **2.2.3. CONCEPTOS BASICOS DE ESTADISTICA**

### **2.2.3.1. Media**

También llamada promedio o simplemente media, de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N}$$

Donde:

- $x_1$  : Datos
- $N$  : Número total de datos
- $\bar{x}$  : Media aritmética

### 2.2.3.2. Varianza

La varianza es una medida de dispersión, una medida de cómo los valores de los datos pueden diferir de su media. La varianza es la media aritmética de los cuadrados de las diferencias de los valores individuales de la media.

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N - 1}$$

Donde:

- $x_1$  : Datos
- $N$  : Número total de datos
- $\bar{x}$  : Media aritmética
- $\sigma^2$  : Varianza

### 2.2.3.3. Desviación estándar

Esta medida nos permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto su ecuación sería:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N - 1}}$$



Donde:

- $x_1$  : Datos
- $N$  : Número total de datos
- $\bar{x}$  : Media aritmética
- $\sigma$  : Desviación estándar

#### 2.2.3.4. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. A mayor valor de coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable, y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable. Suele representarse por medio de las siglas C.V.

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Donde:

- $\bar{x}$  : Media Aritmética
- $\sigma$  : Desviación estándar
- C.V. : Coeficiente de variación

#### 2.2.4. MUESTREO

La NTP 399.604, 2002 establece que, para propósito de los ensayos, unidades enteras de albañilería serán seleccionadas aleatoriamente, de acuerdo a lo establecido por un método aceptado para el muestreo aleatorio que acuerden u opten. En todo caso las unidades deberán ser seleccionadas utilizando una tabla estadística de números aleatorios.

## CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS

---



Las muestras obtenidas para los ensayos fueron de la ciudad de Celendín, capital de la provincia Celendín; situada al sureste de la región Cajamarca, con coordenadas UTM: 17M 0815513 E, 9240181 N y una altitud de 2661 m.s.n.m., cuenta con un clima cálido-húmedo con una temperatura promedio anual de 18° - 30°C y humedad relativa de 60-70%.

Los ensayos necesarios para la investigación se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz”, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Fig. 22 Mapa de localización de la provincia de Celendín.

### 3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

#### 3.1.1. MATERIALES

- Ladrillo de arcilla fabricados artesanalmente en la ciudad de Celendín
- Cemento Portland tipo I (ASTM C-150).
- Agregado fino de la cantera “El Gavilán”.  
Coordenadas (775075.5m E, 9203016.3m N, altura 2966 m.s.n.m)
- Agua potable.

#### 3.1.2. EQUIPOS

Son necesarios para desarrollar la investigación, los siguientes equipos:

- Mallas ASTM N° 4, 8,16, 30, 50,100 y 200.
- 01 Balanza con capacidad de 5000 g y una aproximación de 0.1 g.
- 01 Balanza con capacidad de 300 Kg y una aproximación de 0.01 g.

- 01 Escuadra metálica graduada al 1 mm.
- 01 Regla metálica graduada al 1 mm.
- 03 Bandejas de 30\*50 cm.
- 01 Nivel topográfico y trípode.
- 01 Deflectómetro.
- 01 Vernier.
- 01 Horno ventilado de 110 °C a 115 °C.
- 01 Maquina universal para ensayos de compresión uniaxial.
- 01 Maquina universal con péndulo.
- 01 Maquina universal para ensayos con acero.

## **3.2. METODOLOGIA**

### **3.2.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

#### **A. Localización de la investigación**

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en el Laboratorio de Ensayos de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz", edificio 1C de Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)

Este : 776651 m

Norte : 9206979 m

Altura : 2683 m.s.n.m

Uso : 17

Hemisferio: Sur



**Fig. 223 Fotografía satelital de la ubicación de estudio. (Fuente Google Earth)**

### **Ubicación de las ladrilleras.**

- ✓ Ladrillera artesanal del Sr. Santos Campos Ortiz

Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)

Este : 813066.0 m  
 Norte : 9238946.0 m  
 Altura : 2873 m.s.n.m  
 Uso : 17  
 Hemisferio : Sur

- ✓ Ladrillera Artesanal del Sr. Jhon Vilchez

Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)

Este : 815769.0 m  
 Norte : 9242368.0 m  
 Altura : 2653 m.s.n.m  
 Uso : 17  
 Hemisferio : Sur

## **B. Periodo de investigación**

La investigación se realizó durante los meses de enero 2016 – junio 2016, en un total de 6 meses consecutivos.

## **C. Tipo de investigación**

Investigación descriptiva: se destacan las características o rasgos de los ladrillos, describiéndolas y analizándolas.

## **D. Diseño de la investigación**

Diseño no experimental: porque se observaron las unidades de ladrillos antes los distintos tipos de ensayos ya establecidos.

## **E. Población**

Ladrillos de arcilla artesanales, que se ha producido en los meses de marzo 2016 a mayo 2016, artesanalmente en la fábrica " Santos Campos Ortiz" y de la fábrica "Jhon Vílchez" de Celendín -Cajamarca.

## **F. Muestra**

Ladrillos artesanales de la muestra 1(Ladrillera Santos Campos): n = 200.

Ladrillos artesanales de la muestra 2(Ladrillera Jhon Vílchez): n = 200.

## **G. Técnica del muestreo**

### **G.1.Recoleccion de datos**

#### **G.1.1. Muestreo**

Para la investigación se comenzó con la recopilación de datos; realizando la localización de las ladrilleras, se procedió a empadronarles con un minucioso trabajo de campo, precisando la ubicación y volumen de producción mensual de las 8 ladrilleras registradas.

Una vez registradas las ladrilleras existentes en la Ciudad de Celendín; se decidió tomar una muestra respectivamente de dos ladrilleras seleccionadas por su mayor demanda en el mercado para sí realizar los estudios necesarios de la investigación y determinar las características físicas y mecánicas de las ladrilleras artesanales de la ciudad de Celendín.

Luego de elegir las muestras se procedió a seleccionar las unidades de análisis de cada ladrillera, se escogió 30 ladrillos seleccionados aleatoriamente, los cuales fueron trasladados al laboratorio de materiales.

Se escogieron 30 ladrillos para los ensayos de variación dimensional, alabeo, compresión simple, succión y absorción, adicionalmente escogimos 170 ladrillos para los ensayos de muretes y pilas por cada ladrillera. De la primera muestra de un lote de 7000 unidades y de la segunda de un lote de 5000 unidades.

#### **H. Instrumentos de recolección de datos**

Se realizaron fichas técnicas, ensayos de laboratorio de especímenes de ladrillo, (físicos y mecánicos), pilas y muretes (propiedades mecánicas), estudio de arena gruesa (granulometría, propiedades físicas)

#### **I. Procesamiento y análisis de datos**

Procesamiento de datos y gráficos mediante software microsoft excel 2013. El análisis de datos, se hizo de acuerdo a la norma E-070.

### **3.2.2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION**

#### **A. Ensayo del agregado fino.**

Cantera: El gavilán

Recolección de la muestra: se seleccionaron por el método del cuarteo. Análisis granulométrico de acuerdo a las normas NTP 400.037- ASTM C33-07. Determinación del módulo de finura, según la norma NTP 334.045, ASTM C- 125. Se determinó los pesos específicos y porcentajes de

absorción, según la norma NTP 400.022, ASTM C128-07. Se determinó el contenido de humedad, según la norma NTP 400.010, ASTM C128-07. Se calculó el peso unitario de la arena, según la norma NTP 400.017 - ASTM C29/C29M - 07

Según se muestra en el Anexo B

## **B. Ensayos clasificatorios del ladrillo**

Se realizaron los ensayos de los ladrillos a fin de limitar su aplicación en diseños estructurales. De acuerdo a la NTP 399.613, se seleccionaron unidades enteras representativas del lote al cual pertenecían, con color uniforme, textura y tamaño, libres de impurezas, limo u otros materiales no asociados con el proceso de fabricación.

### **a. Variación dimensional**

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo, el ensayo se realizó de la siguiente manera según la NTP 399.613 y 399.604:

- Se secaron los ladrillos en un horno ventilado de 110 °C a 115 °C, por 24 horas.
- Después del secado se dejaron enfriar a una temperatura de 18 °C, por un periodo de 6 horas, para luego pesarlo con una aproximación de 0.1 g. Luego se procedió a limpiar las aristas y los lados del ladrillo, para eliminar las partículas sueltas y salientes.
- Se midieron con un vernier, el largo, ancho y alto, a la mitad de las aristas que limitan cada cara, realizándose 4 medidas por cada una de las dimensiones (Foto. 3 del anexo B) promediándose para obtener los resultados que se muestran en la tabla 21 y 22.

Los resultados fueron expresados en porcentaje, y se calculó mediante la siguiente fórmula, con una aproximación de 0.5 mm.

$$V = \frac{ME - MP}{ME} * 100 \quad (1)$$

Dónde:



- V : Variación dimensional (%).
- ME : Medida especificada por el fabricante (mm).
- MP : Medida promedio (mm).

### b. Alabeo

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo. Para la realización de este ensayo según la norma NTP 399.613.

Se utilizó dos reglas metálicas para medir la concavidad y convexidad, luego se procedió a registrar los valores de alabeo, dependiendo si era cóncavo o convexo, observado cuando se colocó en forma diagonal la regla sobre el centro de las dos caras paralelas al de asiento o de vértice a vértice con una escuadra graduada y se midió el alabeo con la regla metálica graduada al 1 mm (Foto. 4 del anexo B), los resultados se muestran en la tabla 23 y 24.

### c. Compresión simple

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo, el ensayo se realizó de la siguiente manera según la NTP 399.613 y 339.604:

- Se registró el peso y midiendo el largo, ancho y alto
- Luego se ensayaron en la máquina universal para ensayos de compresión uniaxial (Foto. 5 del anexo B).

La resistencia a compresión  $fb$  se determinó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta; y la resistencia a compresión característica  $f'b$  se obtuvo restando una desviación estándar al promedio de los resultados, según como indica la norma E-070.

$$fb = \frac{\text{Carga Máx}}{\text{Área Bruta}} \quad (2)$$

$$f'b = fb - \sigma \quad (3)$$

Dónde:

$f'b$  : Resistencia a la compresión característica del ladrillo.

$f_b$  : Resistencia a la compresión promedio del ladrillo

$\sigma$  : Desviación estándar.

Los valores se expresan en las tablas 25 y 26.

### c.1. Cálculo del módulo de elasticidad (Eb) en ladrillos de arcilla.

Se colocó un deformímetro en la máquina de compresión, para medir las deformaciones totales cada 1000 kg de carga aplicada para cada una de las unidades de albañilería, con las dimensiones de ancho, largo y altura encontradas anteriormente, con los 30 ladrillos de cada tipo y con los datos obtenidos, se procedieron a dibujar la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, haciendo un diagrama de dispersión para cada tipo de muestra de ladrillo como se muestra el gráfico 1 y gráfico 2.

Para obtener el esfuerzo ( $\sigma$ ) y la deformación unitaria ( $\epsilon_u$ ) se utilizaron las fórmulas siguientes:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4)$$

$$\epsilon_u = \frac{\epsilon_t}{h} \quad (5)$$

Dónde:

$\sigma$  : Esfuerzo

P : Carga Aplicada

A : Área en la que se aplica la carga (Largo x Ancho)

$\epsilon_u$  : Deformación Unitaria.

$\epsilon_t$  : Deformación Total.

h : Altura del ladrillo

Los módulos de elasticidad se calcularon en el límite proporcional elástico dada con la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para de cada tipo ladrillo (artesanal e industrial), los resultados se muestran en la tabla 27 y 28.

## C. Ensayos no clasificados de ladrillo

Las propiedades no clasificatorias del ladrillo pero, no menos importantes son:

#### a. Ensayos de succión.

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo, el ensayo se realizó de la siguiente manera.

- ❖ Los ladrillos se secaron en el horno a una temperatura de 110° C por 24 horas y luego se pesaron.
- ❖ Se registró el peso seco reiteradas veces hasta no obtener variaciones, cuando sucedió lo contrario el ladrillo debió permanecer en el horno.
- ❖ Se preparó una bandeja de metal con agua potable y se colocó sobre ésta, dos barras lisas de acero de ½” que sirvieron de apoyo para el ladrillo, los datos registrados se muestran en las tablas 30 y 31.

Se pesaron los ladrillos secos, luego se colocaron sobre las barras durante 1 minuto y lleno la bandeja con la finalidad de mantener el nivel de agua original, (Foto. 6 del anexo B) Luego la unidad húmeda se pesó. La succión se expresó en gramos por minuto en un área normalizada de 200 cm<sup>2</sup>, como indica la norma E-070 y se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$S = \frac{200*(P_{suc}-P_{sec})}{Area\ Bruta} \quad (6)$$

Dónde:

- S : succión
- P<sub>suc</sub> : Peso (gr) de la unidad luego de ser sumergido en agua durante 1 min.
- P<sub>sec</sub> : Peso seco (gr) de la unidad luego de permanecer en el horno.
- Área Bruta : Ancho x Largo (cm<sup>2</sup>).

#### b. Ensayos de absorción

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo. El ensayo se realizó de la siguiente manera según la NTP 399.604 y 399.613:

Los ladrillos de arcilla, se secaron en el horno a una temperatura de 110 °C y se pesaron a las 24 horas. Se registró el peso reiteradas veces hasta no obtener variaciones. Se dejaron enfriar los ladrillos durante 8 horas y se introdujeron en un recipiente lleno con agua potable durante 24 horas, registrando el peso. (Foto. 7 anexo B) Los resultados fueron expresados en porcentaje en las tablas 32 y 33 dado por la fórmula:

$$A = \frac{P_s - P_{seco}}{P_{seco}} * 100 \quad (7)$$

Dónde:

A : Absorción (%) (Anexo A.)

Ps : Peso Saturado (gr)

Pseco : Peso seco (gr)

#### **D. Prismas de albañilería**

Controlar la calidad de los ladrillos no es suficiente para predecir el comportamiento de un muro de albañilería y conocer el comportamiento que tienen los muros confinados ante las solicitaciones de carga reales, no es fácil conocer, ya que los ensayos son costosos, por lo que se elaboraron especímenes pequeños (pilas y muretes) a las cuales se les aplicó cargas que son iguales a las solicitaciones reales.

##### **a. Pilas**

###### **a.1. Procedimientos de construcción**

Se construyeron 6 pilas de 6 hiladas, 3 pilas del ladrillo de la muestra 1 y 3 pilas del ladrillo de la muestra 2, con un espesor de mortero de 12 mm, (Foto. 7 del anexo B). Debido a la alta succión de los ladrillos de arcilla, se regaron las unidades por media hora el mismo día antes del asentado. El diseño del mortero se realizó analíticamente (Anexo A - 8.2), con las proporciones indicadas en la norma E-070, para muros portantes. Mortero tipo P2 = 1:4 (cemento: arena). Al momento de la construcción se controlaron la altura

con el escantillón, y la verticalidad con un nivel y plomada. Se realizó el curado según lo indicado en la norma E-070.

Luego se colocó una capa de yeso de 20 mm aproximadamente en la parte inferior y superior para uniformizar la superficie de contacto en el dispositivo del ensayo de compresión axial. El ensayo de compresión se efectuó cuando los especímenes cumplieron los 28 días de edad.1

### **a.2. Montaje e instrumentación**

Se registraron el peso de las pilas, con una balanza electrónica de 30 Kg, con aproximación 0.01 g, luego se midió la altura (H) y el espesor efectivo (t).

Se colocaron manualmente en la maquina universal para ensayos con acero, aplicándose la carga, leyéndose en el dial de carga cada 200 Kg, y con la ayuda de un deflectómetro se registraron las deformaciones, para obtener las gráficas esfuerzo vs. Deformación unitaria.

### **a.3.Cálculo de la resistencia a compresión axial.**

Se registraron la carga máxima y la resistencia a compresión axial, se calculó de la siguiente manera.

$$f_m = \frac{P_{m\acute{a}x.}}{\acute{A}rea} \quad (8)$$

Dónde:

$f_m$  : Resistencia a compresión axial de pilas (Kg/cm<sup>2</sup>)

$P_{m\acute{a}x}$  : Fuerza máxima que resiste la pila (Kg)

$\acute{A}rea$  : Área bruta transversal a la fuerza (cm<sup>2</sup>)

Luego se corrigieron  $f_m$  según el factor de corrección por esbeltez de la pila, expresados en la tabla 34 y 35.

El factor resultó de interpolar la esbeltez que indica la norma E-070.

Se calculó la resistencia característica restando la desviación estándar a la resistencia promedio. Ver tablas 34 y 35.

$$f'_m = f_m - \sigma \quad (9)$$

Dónde:

$f_m$  : Resistencia a compresión de pilas (Kg/cm<sup>2</sup>)

$f'_m$  : Resistencia característica a compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : Desviación estándar.

Las pilas de ladrillo fabricado artesanalmente presentaron grietas verticales en las caras frontales principalmente (Foto. 9 del Anexo B)

#### **a.4. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas (Em)**

Se colocó un deformímetro en la máquina de tracción universal de acero, para medir las deformaciones totales cada 200 kg de carga aplicada para cada una de las unidades de albañilería, con las dimensiones de ancho, largo y altura encontradas anteriormente, con los 3 pilas ensayadas de cada tipo y con los datos obtenidos se procedieron a dibujar la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, haciendo un diagrama de dispersión para cada muestra de ladrillo.

Para calcular el módulo de elasticidad se asumieron de la gráfica esfuerzo – deformación unitaria, tomando el 50% del esfuerzo y restando al 10 % del mismo, dividido al 50 % de la deformación unitaria menos el 10 %, esto se debe a que por razones de seguridad y precisión en los ensayos se obvia la parte inicial del ensayo (10%) porque las deformaciones obtenidas son del yeso, y se toma el 50 %, debido a que las pilas contienen cemento y en este elemento se considera que el primer 50 % es elástico lineal.

Por lo descrito anteriormente la formula a utilizar para el cálculo del módulo de elasticidad es el siguiente:

$$Em = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%})/A}{(\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%})/L_i} \quad (10)$$

Dónde:

- $P_{50\%}$  y  $P_{10\%}$  : Carga axial al 50% y al 10%.  
 $\varepsilon_{50\%}$  y  $\varepsilon_{10\%}$  : Deformación al 50% y al 10%.  
 A : Área de la sección transversal.  
 $L_i$  : longitud inicial.  
 Em : Módulo de elasticidad.

En resumen:

$$Em = \frac{\delta}{\epsilon} \quad (11)$$

Dónde:

Em: Modulo de elasticidad.

- $\delta: \sigma' (50\%) - \sigma' (10\%)$  : 50% menos el 10 % del esfuerzo.  
 $\epsilon: \varepsilon' (50\%) - \varepsilon' (10\%)$  : 50% menos el 10 % de la deformación Unitaria.

## b. Muretes

### b.1. Procedimiento de construcción

Se construyeron 4 especímenes de 1.00 \* 1.00 m, 2 muretes de ladrillo de la muestra 1 y 2 muretes de ladrillo de la muestra 2, con un espesor de mortero de 12 mm y 15 mm, debido a la alta succión de los ladrillos de arcilla, se regaron las unidades por media hora el mismo día antes del asentado. Para el diseño del mortero encuentran los valores

analíticamente, con las proporciones indicadas en la norma E-070, para muros portantes.

Mortero tipo P2 = 1:4 (cemento: arena).

Al momento de la construcción se controlaron la verticalidad con un nivel y plomada. Se realizaron, el curado según lo indicado en la norma E-070

Luego se colocó una capa de yeso de 20 mm aproximadamente en la parte inferior y superior para uniformizar la superficie de contacto en el dispositivo del ensayo de compresión diagonal.

El ensayo a compresión se efectuó cuando los especímenes cumplieron los 28 días de edad. Luego de construir los muretes se colocaron una capa de yeso de 2 mm aproximadamente en las esquinas opuestas con la finalidad de uniformizar la superficie de contacto con los cabezales del dispositivo de ensayo. Los muretes se ensayaron cuando cumplieron 28 días de edad.

### **b.2. Peso volumétrico de la albañilería**

Se registraron los pesos de cada murete, se realizaron mediante una balanza con capacidad de 300 Kg, con una aproximación de 0.01 g; los resultados se expresan en la tabla 16.

### **b.3. Instrumentación y montaje**

Los muretes se transportaron manualmente y con cuidado hasta la maquina universal con péndulo.

Luego colocamos el murete con los ángulos de acero en los extremos, debidamente plomado con el péndulo de la maquina universal, se colocaron con cuidado los ángulos "L" en el muro y anexados a soportes universales se colocó un deflectómetro para poder medir la deformación horizontal y una hoja milimetrada para la horizontal. Se empezó aplicar la carga a una velocidad de 25 Ton/min.

### **b.4. Calculo de la resistencia al corte en muretes**



La resistencia al corte puro resultó de dividir la carga máxima entre el área diagonal comprimida.

$$v_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_d} \quad (12)$$

Dónde:

- $v_m$  : Resistencia al corte del murete (Kg/cm<sup>2</sup>)  
P máx. : Carga máxima que resiste el murete (Kg)  
Ad : Área diagonal (diagonal del murete x espesor) (cm<sup>2</sup>)

La resistencia característica ( $v'_m$ ) es la resistencia al corte promedio menos una desviación estándar (norma E-070).

$$v'_m = v_m - \sigma \quad (13)$$

Dónde:

- $v_m$  : Resistencia al corte (Kg/cm<sup>2</sup>).  
 $v'_m$  : Resistencia característica al corte (Kg/cm<sup>2</sup>).  
 $\sigma$  : Desviación estándar.

Los resultados se expresan en la tabla 39 y 40

Los muretes de ladrillo fabricado artesanalmente, tuvieron una falla violenta y frágil, por falta de confinamiento, la grieta cruzó el ladrillo y el mortero, formándose el abanico de tracción diagonal en los ángulos (Foto. 11 del anexo B).

#### **b.5. Calculo del Módulo de corte (Gm)**

Se colocó un deformímetro para medir la deformación horizontal y hoja de papel milimetrado con ayuda de un nivel de ingeniero para medir la deformación vertical cada 200 kg de carga aplicada para cada una de las unidades de albañilería, con las dimensiones de ancho, largo, altura y diagonales encontradas anteriormente, con los 2 muros ensayadas de cada ladrillera, se procedieron a dibujar la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, haciendo un diagrama de dispersión para cada tipo de ladrillo.

Para calcular el módulo de corte se asumió de la gráfica esfuerzo – deformación unitaria horizontal y vertical, tomando el 50% del esfuerzo y restado al 10 % del mismo, dividido al 50 % de la deformación unitaria menos el 10 %, esto se debe a que por razones de seguridad y precisión en los ensayos se obvia la parte inicial del ensayo (10%) porque las deformaciones obtenidas son del yeso, y se toma el 50 %, debido a que las pilas contienen cemento y en este elemento se considera que el primer 50 % es elástico lineal. Por lo descrito anteriormente la formula a utilizar para el cálculo del módulo de corte es el siguiente:

$$Gm = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%}) / A_{diagonal}}{(\epsilon_{H50\%} - \epsilon_{H10\%}) / LH_i + (\epsilon_{V50\%} - \epsilon_{V10\%}) / LV_i} \quad (14)$$

Dónde:

- $P_{50\%}$  y  $P_{10\%}$  : Carga axial al 50% y al 10%.
- $\epsilon_{H50\%}$  y  $\epsilon_{H10\%}$  : Deformación horizontal al 50% y al 10%.
- $\epsilon_{V50\%}$  y  $\epsilon_{V10\%}$  : Deformación vertical al 50% y al 10%.
- Adiagonal : Área diagonal.
- $LH_i$  y  $LV_i$  : longitud inicial horizontal y vertical respectivamente

En resumen:

$$Gm = \frac{\delta}{\epsilon_V + \epsilon_H} \quad (15)$$

Dónde:

- $Gm$  : Modulo de corte.
- $\epsilon_V: \epsilon_{uv}(50\%) - \epsilon_{uv}(10\%)$  : 50% menos 10% de la deformación vertical

$\in H: \varepsilon_{uH}(50\%) - \varepsilon_{uH}(10\%)$  : 50% menos 10% de la deformación horizontal

### E. Diseño analítico del mortero.

Los diseños de mortero se realizaron analíticamente, con los datos obtenidos de la granulometría del agregado fino de la cantera el Gavilán, propiedades físicas del agregado fino, cemento portland tipo I (bolsa verde) y agua. De acuerdo a la norma E-070, se diseñó para muros portantes por lo que, el mortero es el tipo P2, en proporciones de 1:0:4 (cemento: cal: arena). Ver diseño de mortero en el Anexo A – 8.2.

#### a. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión  $f_c$  se determinaron dividiendo la carga de rotura entre el área bruta en los testigos cilíndricos de 5.08 cm de diámetro y 10 cm de altura; y la resistencia a compresión característica del mortero  $f'_c$  se obtuvieron restando una desviación estándar al promedio de los resultados.

$$f_c = \frac{\text{Carga Máx}}{\text{Área Bruta}}$$

$$f'_c = f_c - \sigma$$

Dónde:

$f'_c$  : Resistencia a la compresión característica.

$f_c$  : Resistencia a la compresión promedio

$\sigma$  : Desviación estándar.

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ENSAYADAS.

- ✓ El ladrillo fabricado artesanalmente en Celendín de las ladrilleras Santos Vásquez y Jhon Vilchez, no cumplieron con las dimensiones que el fabricante

menciona al momento de la venta (21\*12\*8 cm), tampoco alcanzaron la resistencia característica a la compresión.

**Tabla. 8 Características de las muestras de los ladrillos artesanales de Celendín**

| <b>Características</b>                               | <b>Muestra de la ladrillera Santos</b> | <b>Muestra de la ladrillera Vílchez</b> |
|--|--|---|
| Tipo   | King Kong sólido                       | King Kong sólido                        |
| Dimensiones  | 20.94x12.05x7.9 cm                     | 21.34x12.38x8.17 cm                     |
| Número de probetas ensayadas                         | 30                                     | 30                                      |
| Peso   | 3.06 kg                                | 3.38 kg                                 |
| Resistencia característica a la compresión ( $f_b$ ) | 6.22 MPa (63.47 kg/cm <sup>2</sup> )   | 6.42 MPa (65.51Kg/cm <sup>2</sup> )     |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )                     | 0.29 MPa (2.97 kg/cm <sup>2</sup> )    | 0.29 MPa (3 kg/cm <sup>2</sup> )        |
| Coefficiente de variación (cv)                       | 4.68 %                                 | 4.58 %                                  |

## 4.2. ENSAYOS CLASIFICATORIOS DEL LADRILLO.

### 4.2.1. Variación dimensional

- ✓ De la tabla 9 se deduce que la muestra de la ladrillera Santos tiene una variación dimensional de 1.24 % respecto a las medidas indicadas (21\*12\*8 cm) por el fabricante al momento de la compra, teniendo un c.v. de 1.86 %.
- ✓ Además expresan que la muestra de la ladrillera Vilchez, presenta una variación dimensional del 3.17 %, respecto a las medidas indicadas (21\*12\*8 cm), al momento de la compra. teniendo un c.v. de 0.78 %.
- ✓ Según la norma E-070 las dos muestras tienen un porcentaje menor al máximo indicado para un ladrillo, por lo que se clasifica como un ladrillo clase IV. El proceso de cálculo se encuentra el Anexo A

**Tabla. 9 Resultados del ensayo de variación dimensional.**

| <b>Muestra de la ladrillera Santos</b> |                |                |                |
|--|----------------|----------------|----------------|
| <b>Característica</b>                  | <b>Largo</b>   | <b>Ancho</b>   | <b>Alto</b>    |
| Medida brindada por el fabricante      | L=210 mm       | A=120 mm       | H=80 mm        |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )       | $\sigma =2.54$ | $\sigma =1.50$ | $\sigma =1.47$ |
| Medias promedio                        | 209.42 mm      | 120.55 mm      | 79.1 mm        |
| Coefficiente de variación (c.v.)       | 1.21 %         | 1.25 %         | 1.86 %         |
| Variación dimensional                  | 0.28 %         | -0.46 %        | 1.24 %         |

| <b>Muestra de la ladrillera Vilchez</b> |                |                |                |
|---|----------------|----------------|----------------|
| <b>Característica</b>                   | <b>Largo</b>   | <b>Ancho</b>   | <b>Alto</b>    |
| Medida brindada por el fabricante       | L=210 mm       | A=120 mm       | H=80 mm        |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )        | $\sigma =1.26$ | $\sigma =0.97$ | $\sigma =0.84$ |
| Medias promedio                         | 213.39 mm      | 123.80 mm      | 81.70 mm       |
| Coeficiente de variación (c.v.)         | 0.59 %         | 0.78 %         | 1.03 %         |
| Variación dimensional                   | -1.61 %        | -3.17 %        | -2.13 %        |

#### 4.2.2. Alabeo

Podemos observar la tabla 10 que el ladrillo fabricado artesanalmente. Cumplieron con lo recomendado en la norma E – 070 para un ladrillo de clase V por ende, los muros tendrán el espesor adecuado de mortero, lo cual no afectara a la resistencia ya que por cada centímetro de junta adicional de mortero, la resistencia baja un 15 % en el muro de albañilería. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A

*Tabla. 10 Resultados del ensayo de alabeo.*

| <b>Muestra de la ladrillera Santos</b>  |      |
|---|------|
| Cóncavo                                 | 1.20 |
| Convexo                                 | 0.48 |
| <b>Muestra de la ladrillera Vilchez</b> |      |
| Cóncavo                                 | 1.27 |
| Convexo                                 | 0.47 |

#### 4.2.3. Compresión simple

Se puede observar en la tabla 11, la muestra de la ladrillera Santos tiene una resistencia a la compresión simple de 6.22 Mpa (63.47 kg/cm<sup>2</sup>) y la muestra de la ladrillera Vilchez, tiene una resistencia a las compresión simple de 6.42 Mpa (65.51 kg/cm<sup>2</sup>), clasificando dichos valores como ladrillo de clase I, según la norma E – 070.

De los valores anteriores, los ladrillos tuvieron esa resistencia a la compresión simple, esto se debe a que el ladrillo es elaborado de forma artesanal, de forma empírica sin respetar las normas y por las variaciones de unidad a unidad. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A

**Tabla. 11 Resultados de los ensayos de compresión**

| <b>Muestra de la ladrillera Santos</b>    |            |                          |
|---|------------|--------------------------|
| <b>Característica</b>                     | <b>Mpa</b> | <b>Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| Resistencia a la compresión promedio (fb) | 6.51       | 66.43                    |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )          | 0.29       | 2.97                     |
| Resistencia a la compresión (f'b)         | 6.22       | 63.47                    |
| Coefficiente de variación (c.v.) %        | 4.68       | 4.68                     |
| <b>Muestra de la ladrillera Vilchez</b>   |            |                          |
| <b>Característica</b>                     | <b>Mpa</b> | <b>Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| Resistencia a la compresión (fb)          | 6.72       | 68.51                    |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )          | 0.29       | 3.00                     |
| Resistencia a la compresión (f'b)         | 6.42       | 65.51                    |
| Coefficiente de variación (c.v.) %        | 4.58       | 4.58                     |

### **A. Módulo de elasticidad (Eb)**

De la tabla 12 podemos observar que los módulos de elasticidad son menores con respecto a los teóricos en 95.47% para la muestra de la ladrillera Santos y 94.72% para la muestra de la ladrillera Vilchez, lo que nos indica que estas unidades son frágiles. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

**Tabla. 12 Resultados de módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal**

| <b>Muestra</b>                             | <b>Módulo de elasticidad (Eb) (kg/cm<sup>2</sup>) práctica</b> | <b>Módulo de elasticidad (Eb) (kg/cm<sup>2</sup>) teórica</b> | <b>Diferencia teórica y práctica (%)</b> |
|--|--|---|--|
| M1   | 1150.6   | 25386   | 95.47                                    |
| M2   | 1384.2   | 26204   | 94.72                                    |
| M1: Ladrillo artesanal (ladrillera Santos) |  | M2: Ladrillo artesanal (ladrillera Vilchez)                   |  |

### 4.3. ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS DE LADRILLO

#### 4.3.1. Ensayo de succión

La norma E- 070 especifica que la succión de los ladrillos de arcilla debe estar comprendido entre los 10 y 20 gr/cm<sup>2</sup> – min. Cuando excede este valor se necesita regar a los ladrillos de arcilla durante 30 minutos, entre 10 a 15 horas antes de ser asentados.

De la tabla 13, se observa que los valores de la muestra de la ladrillera Santos y la muestra de la ladrillera Vilchez, tienen valores que sobrepasan lo señalado por la norma E-070, por lo que debe regarse 30 minutos un día antes de ser asentados. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

*Tabla. 13 Resultados del ensayo de Succión.*

| <b>Muestra de la ladrillera Santos</b>  |         |
|---|---------|
| Succión promedio                        | 39.49   |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )        | 6.91    |
| Coefficiente de variación (c.v.)        | 17.51 % |
| <b>Muestra de la ladrillera Vilchez</b> |         |
| Succión promedio                        | 32.68   |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )        | 5.68    |
| Coefficiente de variación (c.v.)        | 17.39 % |

#### 4.3.2. Ensayo de absorción

La norma E -070, señala que la absorción para ladrillos de arcilla no debe ser mayor de 22%. De la tabla 14 se observa: Absorción de la muestra de la ladrillera Santos: 16.72 % < 22 %. Absorción de la muestra de la ladrillera Vilchez: 15.52 % < 22%

Por lo tanto las dos muestras de ladrillos cumplen con la norma E – 070 de albañilería; el proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

*Tabla. 14 Resultados de ensayo de absorción de ladrillo*

| <b>Muestra de la ladrillera Santos</b> |       |
|--|-------|
| Absorción promedio (%)                 | 16.72 |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )       | 1.34  |

|   |        |
|---|--------|
| Coeficiente de variación (c.v.)         | 8.03 % |
| <b>Muestra de la ladrillera Vilchez</b> |        |
| Absorción promedio (%)                  | 15.52  |
| Desviación estándar ( $\sigma$ )        | 0.62   |
| Coeficiente de variación (c.v.)         | 3.96 % |

#### 4.4. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

##### 4.4.1. Pilas

##### A. Ensayo a la resistencia a compresión Axial

La resistencia de las pilas de la muestra de la ladrillera Santos es  $f'm = 17.30 \text{ kg/cm}^2$  y la muestra de la ladrillera Vilchez es  $f'm = 18.77 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales no llegaron a la resistencia de  $f'm = 55 \text{ kg/cm}^2$  establecida por la norma E-070 para ladrillo artesanal, cuyos resultados se muestran en la tabla 15.

A la vez en el anexo A se muestra las gráficas de ensayos de esfuerzo ( $\sigma$ ) vs deformación unitaria ( $\varepsilon$ ), lo que nos permite determinar el módulo de elasticidad y el comportamiento ante la carga.

Tabla. 15 Resultados del ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo

| <b>Muestra de la ladrillera Santos</b> |   | <b>Resistencia compresión<br/>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|--|---|---|
| <b>Espécimen</b>                       |   |   |
| PC-01                                  |   | 19.08   |
| PC-02                                  |   | 18.35   |
| PC-03                                  |   | 17.24   |
| Promedio (fm)                          |   | 18.22   |
| Desviación estándar $\sigma$           |   | 0.93  |
| Resistencia a la compresión (f'm)      |   | 17.30   |
| Coeficiente de variación (c.v.)        |   | 5.09 %  |
| <b>B.</b>                              | <b>Muestra de la ladrillera Vilchez</b> | <b>Módulo</b>   |
| <b>de</b>                              | <b>Espécimen</b>                        | <b>Resistencia compresión<br/>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|  | PV-01                                   | 19.79   |
|  | PV-02                                   | 18.67   |
|  | PV-03                                   | 19.73   |
|  | Promedio (fm)                           | 19.40   |
|  | Desviación estándar $\sigma$            | 0.63  |
|  | Resistencia a la compresión (f'm)       | 18.77   |
|  | Coeficiente de variación (c.v.)         | 3.25 %  |

elasticidad en Pilas.



Según las gráficas el módulo de elasticidad en pilas de ladrillo artesanal muestra de la ladrillera Santos tiene un valor de  $1966.4 \text{ Kg/cm}^2$  y la muestra de la ladrillera Vilchez, tiene un valor de  $1838.1 \text{ Kg/cm}^2$ .

De esto se puede deducir que el módulo de elasticidad de las pilas ensayadas no llega al módulo de elasticidad teórica  $E_m = 8.65E + 03$ , establecida en la norma E-070. Lo que ocasionaría que no tenga un buen comportamiento ante las cargas sísmicas.

#### 4.4.2. Muretes

##### A. Calculo del peso volumétrico de los muretes.

De la tabla 16: Estos resultados indican que los muretes de la muestra de la ladrillera Santos, tiene menor peso volumétrico respecto a los de la muestra de la ladrillera Vilchez, ya que el ladrillo de la primera ladrillera no es muy consistente y presenta vacíos en su interior. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

*Tabla. 16 Resultados del peso volumétrico de muretes de ladrillo.*

| Ladrillo de arcilla | Espécimen | Peso (Kg) | L (mm) | A (mm) | t (mm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso volumétrico (Ton/m <sup>3</sup> ) | Promedio (Tn/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|-----------|-----------|--------|--------|--------|---------------------------|--|-------------------------------|
| Ladrillera Santos   | MC-01     | 189.86    | 1005   | 1002   | 121    | 0.122                     | 1.56                                   | 1.52                          |
|                     | MC-02     | 181.95    | 1006   | 1001   | 122    | 0.123                     | 1.48                                   |                               |
| Ladrillera Vilchez  | MV-01     | 218.51    | 1011   | 1001   | 121    | 0.122                     | 1.78                                   | 1.73                          |
|                     | MV-02     | 209.48    | 1008   | 1005   | 123    | 0.125                     | 1.68                                   |                               |

##### B. Ensayo a la resistencia al corte de los muretes.

De la tabla 17. La resistencia promedio  $v'_m$  al corte de los muretes del ladrillo de la muestra ladrillera Santos es  $v'_m = 2.40 \text{ kg/cm}^2$  y la muestra de la ladrillera Vilchez es de  $v'_m = 3.76 \text{ kg/cm}^2$ ; el ladrillo totalmente sólido aporta al esfuerzo cortante una mayor resistencia durante el ensayo cuando la grieta recorre el ladrillo por su mayor área de corte.

En el anexo A, se muestra las gráficas de los ensayos esfuerzo ( $\sigma$ ) vs deformación ( $\epsilon$ ) y el proceso de cálculo, lo que nos permite conocer el comportamiento ante la carga de los muretes y el módulo de corte de la albañilería.

**Tabla. 17 Resultados de ensayos a la resistencia de corte de los muretes.**

| <b>Muestra de la ladrillera Santos</b>  |   |
|---|---|
| <b>Espécimen</b>                        | <b>Resistencia al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
| MC – 01                                 | 2.69  |
| MC – 02                                 | 2.45  |
| Promedio (vm)                           | 2.57  |
| Desviación estándar $\sigma$            | 0.17  |
| Resistencia al corte (v'm)              | 2.40  |
| Coeficiente de variación (c.v.)         | 6.55%   |
| <b>Muestra de la ladrillera Vilchez</b> |   |
| <b>Espécimen</b>                        | <b>Resistencia al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
| MV – 01                                 | 3.77  |
| MV – 02                                 | 3.86  |
| Promedio (vm)                           | 3.82  |
| Desviación estándar $\sigma$            | 0.06  |
| Resistencia al corte (v'm)              | 3.76  |
| Coeficiente de variación (c.v.)         | 1.64  |

### C. Módulo de corte en muretes (Gm)

Según las gráficas el módulo de corte de los muretes del ladrillo artesanal de la muestra de la ladrillera Santos tiene un valor de 428.77 Kg/cm<sup>2</sup> y la muestra de la ladrillera Vilchez, tiene un valor de 786.54 Kg/cm<sup>2</sup>.

### D. Comparación de las resistencias de pilas y muretes

Para analizar las resistencias entre pilas y muretes se debe tener en cuenta que la norma E – 070 relaciona el módulo de elasticidad ( $E_m$ ) de la albañilería con la resistencia a la compresión ( $f'_m$ ), de la siguiente manera: Para ladrillos de arcilla:

$$E_m = 500f'_m$$

También, se debe tener en cuenta que la norma E – 070 relaciona el módulo de corte ( $G_m$ ) de la albañilería con el módulo de elasticidad ( $E_m$ )

$$G_m = 0.4 * E_m$$

Tabla. 18 Diferencias entre cálculos prácticos y teóricos del  $f'_m$ ,  $E_m$  y  $G_m$

| Unidades de albañilería | Ensayos de laboratorio          |                                |                                | Según NTP - 070                |                                | Diferencias entre cálculos prácticos y teóricos |           |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|-----------|
|                         | $f'_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $G_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $G_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_m$<br>(%)                                    | $G_m$ (%) |
| Ladrillera Santos       | 17.30                           | 1.97E+03                       | 0.428E+03                      | 8.65E+03                       | 3.46E+03                       | 77.23   | 87.63     |
| Ladrillera Vilchez      | 18.77                           | 1.84E+03                       | 0.786E+03                      | 9.39E+03                       | 3.75E+03                       | 48.66   | 79.04     |

La máxima resistencia del murete está en función de la resistencia a la compresión ( $\sqrt{f'_m}$ ), para efectos de diseño, se debe utilizar el valor mínimo de  $v'_m$  o  $\sqrt{f'_m}$ . Podemos observar en la tabla 19, que los ladrillos no sobrepasan el valor máximo, por lo que  $v'_m$  es menor que el valor de  $\sqrt{f'_m}$ .

El módulo de corte  $G_m$ , muestra el estado límite de importancia cuando se produce la primera fisura diagonal y cuando se alcanza la resistencia máxima del muro, ya que la falla fue violenta y frágil por falta de confinamiento.

Tabla. 19 Análisis de resistencia al corte.

| Unidades de albañilería | Ensayos de laboratorio          |                                 | Según NTP - 070                                 | $V'_m$ diseño<br>kg/cm <sup>2</sup> |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|
|                         | $V'_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $f'_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $V'_m$ máx= $\sqrt{f'_m}$<br>kg/cm <sup>2</sup> |                                     |
| Ladrillera Santos       | 2.40                            | 17.30                           | 5.80  | 2.40                                |
| Ladrillera Vilchez      | 3.76                            | 18.77                           | 7.95  | 3.76                                |

Los esfuerzos  $v'_m$  obtenidos en el laboratorio para los muertes del ladrillo de Celendín es menor que lo considerado en la norma E – 070 para efectos de diseño, pero con la finalidad de tomar un rango de amplitud y/o seguridad, se debe considerar que  $v'_m$  diseño  $\leq v'_m$  de actuante, con el propósito de evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados, que son los más frecuentes.

#### 4.5. MORTERO.

##### 4.5.1. Ensayo a compresión axial de las probetas de mortero.

De la tabla 20 nos indica que ha tenido una resistencia mayor a 140 Kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo con el diseño, el cual ha contribuido en el aumento de la resistencia axial en las pilas.

*Tabla. 20 Resultados de los ensayos de compresión del mortero.*

| <b>Mortero tipo P2 (1:0:4)</b>                         |            |                          |
|--|------------|--------------------------|
| <b>Característica</b>                                  | <b>Mpa</b> | <b>Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| Resistencia a la compresión promedio (f <sub>c</sub> ) | 16.60      | 169.23                   |
| Desviación estándar (σ)                                | 0.82       | 8.36                     |
| Resistencia a la compresión (f'c)                      | 15.78      | 160.87                   |
| Coefficiente de variación (c.v.) %                     | 4.94 %     | 4.94 %                   |

#### **4.6. CONTRASTE DE HIPÓTESIS.**

Se verifica que el ladrillo de arcilla cocida elaborado artesanalmente en la ciudad de Celendín, se clasificó como ladrillo de tipo I según la resistencia a compresión y según su alabeo y variación dimensional se clasifica como un tipo IV y V respectivamente según la norma E-070. El ladrillo artesanal de Celendín se clasifica como un ladrillo de tipo I.

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 5.1. CONCLUSIONES

1. La variación dimensional de la muestra de la ladrillera Santos, presenta una variación dimensional del 1.24 % con un coeficiente de variación 1.86 % y de la muestra de la ladrillera Vilchez, presenta una variación dimensional del 3.17 %, con un coeficiente de variación 0.78 %. Consecuentemente ambos tipos se clasifican como un ladrillo tipo IV en la norma E- 070.
2. El valor promedio del alabeo de la muestra de la ladrillera Santos es de convexo: 1.20 mm y cóncavo: 0.48 mm; de la muestra de la ladrillera Vilchez es de convexo: 1.27 mm y cóncavo: 0.47 mm, ocasionan anomalías geométricas en la junta horizontal y vertical, aumentando de espesor en algunos puntos y disminuyendo la resistencia del muro. Se clasifican ambas muestras como un ladrillo tipo V en la norma E- 070.
3. La resistencia característica a la compresión axial promedio de la muestra de la ladrillera Santos es 6.22 Mpa o 63.47kg/cm<sup>2</sup> con coeficiente de variación de 4.68% y de la muestra de la ladrillera Vilchez es 6.42 Mpa o 65.51 kg/cm<sup>2</sup> con coeficiente de variación de 4.58%, clasificándose según la norma E-070 como ladrillo tipo I. Esto se debe a que el ladrillo es elaborado de forma artesanal, empíricamente sin respetar la normas y tiene variaciones significativas de unidad a unidad
4. El valor promedio del módulo de elasticidad, de la muestra de la ladrillera Santos es de  $E_b=1150.6 \text{ kg/cm}^2$  y de la muestra de la ladrillera Vilchez es de  $E_b=1384.2 \text{ kg/cm}^2$ , no llegando a los módulos de elasticidad teóricos 25386 kg/cm<sup>2</sup> y 26204 kg/cm<sup>2</sup> teniendo diferencias de 95.47 % y 94.72 % respectivamente de las muestras; lo que ocasiona que el ladrillo tenga una baja tenacidad y rigidez.
5. El valor promedio de la succión de la muestra de la ladrillera Santos es 39.49 gr/cm<sup>2</sup> – min y la muestra de la ladrillera Vilchez es 32.68 gr/cm<sup>2</sup> – min, ambas muestras no se encuentran en el rango comprendido entre los 10 y 20 gr/cm<sup>2</sup> – min que especifica la norma E-070, por lo que se deberá regar duran 30 min a los ladrillos, entre 10 a 15 horas antes de ser asentados.

6. El valor promedio de la absorción de la muestra de la ladrillera Santos es 16.72 % con un coeficiente de variación de 8.03 % y de la muestra de la ladrillera Vilchez es de 15.52 % con un coeficiente de variación de 3.96 % , son menores a 22 %, por lo que cumple con lo recomendado por la norma E-070
7. Las pilas construidas, tuvieron una resistencia promedio a la compresión hechas con ladrillo de la muestra de la ladrillera Santos es de 1966.4 kg/cm<sup>2</sup> con un c.v. 5.09 % y de la muestra de la ladrillera Vilchez es de 1838.1 kg/cm<sup>2</sup> con un c.v. 3.25 %. Las pilas ensayadas tiene un módulo de elasticidad menor a lo indicado en la norma E-070 cuyo valor teórica  $E_m = 8.65E + 03$ . Lo que ocasiona un mal comportamiento ante las cargas dinámicas.
8. La resistencia al corte promedio en muretes construidos con la muestra de la ladrillera Santos es de 2.40 kg/cm<sup>2</sup> con un c.v. 6.55% y de la muestra de la ladrillera Vilchez es 3.76 kg/cm<sup>2</sup> con un c.v. 1.64 %, que son menores a lo sugerido, consecuentemente no soportan cargas dinámicas.
9. El módulo de elasticidad  $E_m=1.97E+03$  kg/cm<sup>2</sup> y el módulo de corte  $G_m=4.28E+02$  kg/cm<sup>2</sup> de la muestra de la ladrillera Santos y el módulo de elasticidad  $E_m=1.84E+03$  kg/cm<sup>2</sup>) y el módulo de corte  $G_m=7.86E+02$  kg/cm<sup>2</sup> de la muestra de la ladrillera Vilchez, estos valores hacen que los ladrillos no tengan una buena respuesta a eventos sísmicos.
10. Los muretes fabricados, presentaron una falla violenta y frágil, por falta de confinamiento, tiene una falla diagonal de naturaleza súbita y frágil. Estas muestras han tenido el comportamiento semejante a la de una estructura no confinada ante sollicitaciones sísmicas por tracción diagonal.

## 5.2. RECOMENDACIONES

1. En Celendín existen muy pocas ladrilleras artesanales lo que se recomienda hacer un estudio detallado de cada una de ellas, para tener una base de datos del comportamiento del ladrillo producido por cada ladrillera y tener mejor referencia a la hora de construir.
2. Siendo la albañilería una investigación tan ambiciosa y buscando siempre una mejora continua, se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en este campo, complementar con estudios de muros reales para obtener la rigidez lateral de este.
3. Las ladrilleras artesanales en Celendín, realizan la fabricación de los ladrillos de manera empírica, por lo que se recomienda propiciar la mejora de la calidad del ladrillo hasta que se pueda tener resultados eficientes hasta llegar a la industrialización.

# REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



- Aguirre, D. 2004. Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región central Junín. Tesis Mg. Sc. Lima, PUCP.
- Ángeles, P. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla. Tesis Ing. Civil, PUCP.
- Fernández, K. 2010. Estudio de la influencia del tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo. Santa Bárbara – Cajamarca. Tesis Mg. Sc. Cajamarca, UNC.
- INDECOPI 1978. Norma técnica ITINTEC 331.017. Elementos de arcilla cocida. Lima, Perú.
- INDECOPI 2002. NTP 399.604. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Lima, Perú.
- Norma técnica E.070 – ALBAÑILERÍA. 2013.
- San Bartolomé, A y Morante, A. 2008, Mejora de la adherencia mortero-ladrillo de concreto. Tesis Ing. Civil, PUCP.
- San Bartolomé, A. 1994. Construcciones de albañilería – Comportamiento
- Pastorutti, A. y San Bartolomé, A. 1985. Ensayo de carga lateral en muros de albañilería confinados – efectos del refuerzo. Lima PUCP.
- Quiun, D; San Bartolomé, A; Mendoza, G. 2005. Corrección por esbeltez en pilas de albañilería ensayadas a la compresión axial. Lima. PUCP.
- San Bartolomé, A. 1994. Construcciones de albañilería. Comportamiento sísmico y diseño estructural. Primera Ed. Lima, Perú, Fondo Edit. PUCP, 246 p.
- San Bartolomé, A, 2005. COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA - INFORME FINAL (Capítulos 1 a 10). Lima, SENCICO. 147 p.



- San Bartolomé, A; Ángeles, P. 2008. Comparación del comportamiento sísmico de muros confinados construidos con ladrillos de concreto y de arcilla cocida. Lima, PUCP.
- Seminario, R, 2013. Variabilidad de las propiedades de los ladrillos industriales de 18 huecos en la ciudad de Piura. Piura. UDP.

# ANEXOS



## Anexo A. Procesamientos de datos

### 1. Cálculo de la variación dimensional del ladrillo.

Tabla. 21 Ensayo de variación dimensional de la muestra de la ladrillera Santos Campos

| Espécimen                  | Largo (mm) |     |     |           |        | Ancho (mm) |       |       |           |        | Altura (mm) |      |      |           |       |
|----------------------------|------------|-----|-----|-----------|--------|------------|-------|-------|-----------|--------|-------------|------|------|-----------|-------|
|                            | L1         | L2  | L3  | L4        | Lprom  | A1         | A2    | A3    | A4        | Apron  | H1          | H2   | H3   | H4        | Hprom |
| MC-01                      | 220        | 211 | 212 | 209       | 213.0  | 120        | 120.8 | 121.7 | 121.5     | 121.0  | 77.8        | 77.2 | 77   | 79.8      | 77.95 |
| MC-02                      | 206        | 208 | 209 | 211       | 208.5  | 118.5      | 119.4 | 120.4 | 121       | 119.8  | 78.4        | 79   | 79.2 | 80.4      | 79.25 |
| MC-03                      | 207        | 204 | 213 | 206       | 207.5  | 118.3      | 118.5 | 119.3 | 119.5     | 118.9  | 78.3        | 78.5 | 77.6 | 78.5      | 78.23 |
| MC-04                      | 209        | 210 | 208 | 211       | 209.5  | 120.1      | 120   | 122   | 122.5     | 121.2  | 80.5        | 81   | 79   | 79.6      | 80.03 |
| MC-05                      | 209        | 208 | 210 | 211       | 209.5  | 119.3      | 120.5 | 122   | 120.7     | 120.6  | 77.4        | 77.2 | 77   | 80.9      | 78.13 |
| MC-06                      | 208        | 206 | 209 | 210       | 208.3  | 118.7      | 117.2 | 120   | 119.8     | 118.9  | 77.8        | 80.3 | 77.6 | 79.8      | 78.88 |
| MC-07                      | 211        | 209 | 206 | 210       | 209.0  | 121.3      | 121.3 | 124.4 | 121.2     | 122.1  | 79          | 80.8 | 80.3 | 79.7      | 79.95 |
| MC-08                      | 214        | 216 | 215 | 214       | 214.8  | 120.4      | 117   | 122.3 | 120.2     | 120.0  | 80          | 82.4 | 82   | 81        | 81.35 |
| MC-09                      | 208        | 207 | 211 | 207       | 208.3  | 121        | 122.5 | 121   | 122       | 121.6  | 79.8        | 79.9 | 78.4 | 80.2      | 79.58 |
| MC-10                      | 209        | 208 | 210 | 211       | 209.5  | 117        | 122.4 | 123.2 | 121       | 120.9  | 80.3        | 79.8 | 78.9 | 77        | 79.00 |
| MC-11                      | 209        | 210 | 208 | 208       | 208.8  | 120.2      | 118.2 | 109.2 | 119       | 116.7  | 77.8        | 77.3 | 78   | 77.5      | 77.65 |
| MC-12                      | 208        | 208 | 206 | 207       | 207.3  | 120.4      | 119.5 | 120.8 | 123       | 120.9  | 79          | 77.2 | 79.4 | 81.8      | 79.35 |
| MC-13                      | 215        | 214 | 217 | 214       | 215.0  | 122.5      | 122.3 | 121.9 | 121.6     | 122.1  | 79.2        | 80.5 | 82.7 | 81.3      | 80.93 |
| MC-14                      | 206        | 204 | 203 | 204       | 204.3  | 119.4      | 117.7 | 119.8 | 120.5     | 119.4  | 74.2        | 79.3 | 75.8 | 78.4      | 76.93 |
| MC-15                      | 206        | 207 | 208 | 212       | 208.3  | 117.5      | 117.3 | 121   | 118.3     | 118.5  | 78.8        | 79.4 | 76   | 76        | 77.55 |
| MC-16                      | 211        | 208 | 207 | 209       | 208.8  | 118.5      | 119.9 | 121.4 | 122       | 120.5  | 80.9        | 78   | 82   | 77.6      | 79.63 |
| MC-17                      | 209        | 209 | 207 | 206       | 207.8  | 120        | 122.1 | 122   | 121.9     | 121.5  | 79.6        | 80.4 | 77.4 | 80.9      | 79.58 |
| MC-18                      | 207        | 207 | 210 | 209       | 208.3  | 121.7      | 119.4 | 111.8 | 122.6     | 118.9  | 78.6        | 79.5 | 76.5 | 79.2      | 78.45 |
| MC-19                      | 209        | 208 | 207 | 214       | 209.5  | 119.5      | 119   | 120.8 | 121.8     | 120.3  | 79.7        | 78.4 | 78.6 | 74.5      | 77.80 |
| MC-20                      | 211        | 209 | 212 | 216       | 212.0  | 122        | 122.6 | 126   | 125       | 123.9  | 82.2        | 82.5 | 81.8 | 78        | 81.13 |
| MC-21                      | 210        | 209 | 206 | 209       | 208.5  | 119.1      | 119.7 | 121.3 | 119.8     | 120.0  | 79.9        | 80.1 | 79   | 78        | 79.25 |
| MC-22                      | 212        | 210 | 208 | 210       | 210.0  | 121.6      | 119.9 | 121.4 | 122.9     | 121.5  | 79.9        | 81   | 78.9 | 79.9      | 79.93 |
| MC-23                      | 212        | 211 | 210 | 214       | 211.8  | 120.9      | 122.8 | 122.6 | 122.6     | 122.2  | 76.1        | 75.8 | 75.1 | 77        | 76.00 |
| MC-24                      | 211        | 210 | 207 | 203       | 207.8  | 122.5      | 121.4 | 123   | 122.1     | 122.3  | 82.7        | 88.1 | 80.1 | 81.4      | 83.08 |
| MC-25                      | 207        | 209 | 206 | 205       | 206.8  | 119        | 119.7 | 126.5 | 122.3     | 121.9  | 80.1        | 75.1 | 79.3 | 77.5      | 78.00 |
| MC-26                      | 208        | 209 | 210 | 209       | 209.0  | 117.1      | 118   | 118.9 | 120.7     | 118.7  | 76.9        | 79.3 | 78.9 | 77        | 78.03 |
| MC-27                      | 212        | 219 | 208 | 211       | 212.5  | 119.9      | 120.8 | 119.3 | 119.5     | 119.9  | 78.3        | 78.5 | 79   | 80.5      | 79.08 |
| MC-28                      | 204        | 206 | 206 | 204       | 205.0  | 118.5      | 118   | 120.9 | 119.7     | 119.3  | 77.9        | 78.1 | 79   | 74.4      | 77.35 |
| MC-29                      | 209        | 211 | 212 | 209       | 210.3  | 121        | 121.9 | 120.5 | 123       | 121.6  | 81.6        | 79.5 | 79.2 | 80        | 80.08 |
| MC-30                      | 212        | 215 | 213 | 214       | 213.5  | 121.6      | 122.4 | 121.1 | 122.3     | 121.9  | 77.4        | 80.4 | 77.5 | 77.1      | 78.10 |
| Medidas del fabricante     |            |     |     | L         | 200    |            |       |       | A         | 120.00 |             |      |      | H         | 80.00 |
| Desviación estándar        |            |     |     | $\sigma$  | 2.54   |            |       |       | $\sigma$  | 1.50   |             |      |      | $\sigma$  | 1.47  |
| Dimensión promedio (mm)    |            |     |     | $\bar{L}$ | 209.42 |            |       |       | $\bar{A}$ | 120.55 |             |      |      | $\bar{H}$ | 79.01 |
| Variación dimensional (V%) |            |     |     | %         | -4.71% |            |       |       | %         | -0.46% |             |      |      | %         | 1.24% |
| Coefficiente de variación  |            |     |     | c.v.      | 1.21%  |            |       |       | c.v.      | 1.25%  |             |      |      | c.v.      | 1.86% |

**Tabla. 22 Ensayo de variación dimensional de la muestra de la ladrillera Vilchez**

| Espécimen                  | Largo (mm) |       |       |          |        | Ancho (mm) |       |       |          |        | Altura (mm) |      |      |          |        |
|----------------------------|------------|-------|-------|----------|--------|------------|-------|-------|----------|--------|-------------|------|------|----------|--------|
|                            | L1         | L2    | L3    | L4       | Lprom  | A1         | A2    | A3    | A4       | Aprom  | H1          | H2   | H3   | H4       | Hprom  |
| <b>MV-01</b>               | 212        | 212   | 212.5 | 214      | 212.63 | 122.8      | 122.3 | 122.6 | 125.6    | 123.33 | 82.6        | 82.7 | 81.2 | 81.5     | 82.00  |
| <b>MV-02</b>               | 211.5      | 222   | 215   | 215      | 215.88 | 125.0      | 123.2 | 125.8 | 125.8    | 124.91 | 82.3        | 82.2 | 82.2 | 82.7     | 82.33  |
| <b>MV-03</b>               | 212        | 211.5 | 218   | 216      | 214.38 | 123.2      | 124.4 | 128.6 | 127.8    | 125.95 | 79.6        | 83.8 | 82.7 | 83.0     | 82.25  |
| <b>MV-04</b>               | 210        | 211   | 214   | 215      | 212.50 | 122.6      | 123.7 | 128.1 | 125.0    | 124.85 | 79.7        | 80.0 | 81.3 | 83.3     | 81.08  |
| <b>MV-05</b>               | 211        | 212   | 217   | 216      | 214.00 | 123.5      | 121.3 | 126.1 | 124.4    | 123.83 | 85.0        | 79.0 | 80.3 | 83.0     | 81.83  |
| <b>MV-06</b>               | 212        | 211   | 213   | 214      | 212.50 | 127.0      | 121.6 | 125.4 | 126.0    | 125.00 | 82.6        | 83.5 | 78.7 | 82.4     | 81.80  |
| <b>MV-07</b>               | 211        | 218   | 213   | 216      | 214.50 | 123.0      | 122.1 | 124.6 | 124.1    | 123.45 | 80.3        | 83.5 | 78.9 | 83.0     | 81.41  |
| <b>MV-08</b>               | 213        | 214   | 215   | 216      | 214.50 | 123.0      | 121.5 | 122.0 | 125.0    | 122.88 | 80.0        | 79.5 | 82.6 | 83.1     | 81.30  |
| <b>MV-09</b>               | 211        | 211   | 216   | 214      | 213.00 | 122.8      | 121.5 | 125.0 | 126.1    | 123.85 | 83.5        | 80.9 | 79.1 | 78.7     | 80.55  |
| <b>MV-10</b>               | 211        | 212   | 215   | 216      | 213.50 | 123.1      | 122.7 | 125.4 | 124.4    | 123.90 | 83.0        | 83.2 | 81.1 | 80.6     | 81.98  |
| <b>MV-11</b>               | 211        | 212   | 219   | 217      | 214.75 | 122.9      | 123.3 | 125.9 | 126.3    | 124.60 | 84.6        | 81.9 | 83.9 | 82.2     | 83.15  |
| <b>MV-12</b>               | 209        | 208   | 211   | 211      | 209.75 | 119.6      | 119.7 | 124.9 | 123.4    | 121.90 | 80.1        | 81.5 | 81.7 | 81.1     | 81.10  |
| <b>MV-13</b>               | 213        | 212   | 217   | 218      | 215.00 | 122.7      | 122.8 | 125.9 | 125.6    | 124.25 | 82.9        | 83.0 | 82.1 | 80.5     | 82.13  |
| <b>MV-14</b>               | 212        | 211   | 218   | 213      | 213.50 | 122.5      | 122.1 | 124.6 | 126.0    | 123.80 | 81.1        | 80.5 | 80.9 | 82.6     | 81.28  |
| <b>MV-15</b>               | 213        | 212   | 216   | 216      | 214.25 | 122.2      | 119.9 | 124.4 | 124.9    | 122.85 | 81.1        | 83.7 | 83.0 | 83.7     | 82.88  |
| <b>MV-16</b>               | 212        | 212   | 216   | 217      | 214.25 | 121.6      | 120.8 | 125.5 | 122.8    | 122.68 | 84.4        | 83.2 | 82.1 | 81.9     | 82.90  |
| <b>MV-17</b>               | 209        | 211   | 217   | 215      | 213.00 | 122.1      | 120.7 | 123.6 | 126.5    | 123.23 | 78.8        | 80.9 | 81.1 | 81.2     | 80.50  |
| <b>MV-18</b>               | 211        | 209   | 213   | 214      | 211.75 | 122.9      | 122.9 | 124.5 | 124.4    | 123.68 | 83.1        | 81.1 | 82.3 | 82.7     | 82.30  |
| <b>MV-19</b>               | 213        | 213   | 210   | 214      | 212.50 | 123.1      | 122.1 | 126.1 | 125.6    | 124.23 | 81.1        | 81.1 | 83.2 | 84.2     | 82.40  |
| <b>MV-20</b>               | 209        | 211   | 216   | 214      | 212.50 | 123.6      | 122.1 | 125.5 | 125.7    | 124.23 | 82.5        | 82.1 | 81.0 | 81.5     | 81.78  |
| <b>MV-21</b>               | 209        | 210   | 217   | 214      | 212.50 | 121.1      | 122.0 | 122.1 | 126.1    | 122.83 | 82.1        | 80.3 | 80.2 | 79.9     | 80.63  |
| <b>MV-22</b>               | 209        | 210   | 215   | 214      | 212.00 | 123.5      | 124.2 | 127.3 | 125.7    | 125.18 | 81.6        | 83.4 | 79.7 | 78.5     | 80.80  |
| <b>MV-23</b>               | 212        | 211   | 214   | 216      | 213.25 | 123.1      | 125.0 | 127.3 | 126.3    | 125.43 | 81.2        | 87.0 | 82.9 | 83.3     | 83.60  |
| <b>MV-24</b>               | 209        | 212   | 214   | 216      | 212.75 | 121.6      | 121.1 | 124.1 | 121.5    | 122.08 | 81.2        | 81.7 | 80.5 | 79.7     | 80.78  |
| <b>MV-25</b>               | 210        | 212   | 216   | 217      | 213.75 | 120.5      | 122.5 | 127.0 | 123.8    | 123.45 | 83.3        | 82.6 | 81.9 | 81.2     | 82.25  |
| <b>MV-26</b>               | 213        | 214   | 214   | 216      | 214.25 | 122.4      | 119.8 | 124.3 | 126.1    | 123.15 | 79.3        | 80.5 | 82.4 | 81.5     | 80.93  |
| <b>MV-27</b>               | 213        | 213   | 217   | 218      | 215.25 | 123.1      | 124.2 | 125.3 | 124.6    | 124.30 | 80.7        | 82.4 | 83.2 | 80.5     | 81.70  |
| <b>MV-28</b>               | 209        | 211   | 216   | 217      | 213.25 | 121.0      | 121.9 | 123.8 | 125.4    | 123.03 | 79.7        | 81.3 | 81.2 | 83.4     | 81.40  |
| <b>MV-29</b>               | 212        | 212   | 217   | 215      | 214.00 | 121.6      | 122.2 | 125.9 | 126.2    | 123.98 | 82.9        | 80.9 | 82.1 | 81.6     | 81.88  |
| <b>MV-30</b>               | 209        | 212   | 213   | 214      | 212.00 | 122.0      | 123.3 | 123.2 | 125.0    | 123.38 | 80.0        | 77.8 | 81.3 | 81.7     | 80.2   |
| Medidas del fabricante     |            |       |       | L        | 200    |            |       |       | A        | 120.00 |             |      |      | H        | 80.00  |
| Desviación estándar        |            |       |       | $\sigma$ | 1.26   |            |       |       | $\sigma$ | 0.97   |             |      |      | $\sigma$ | 0.84   |
| Dimensión promedio (mm)    |            |       |       |          | 213.39 |            |       |       |          | 123.80 |             |      |      |          | 81.70  |
| Variación dimensional (V%) |            |       |       | %        | -6.69% |            |       |       | %        | -3.17% |             |      |      | %        | -2.13% |
| Coefficiente de variación  |            |       |       | c.v.     | 0.59%  |            |       |       | c.v.     | 0.78%  |             |      |      | c.v.     | 1.03%  |

## 2. Cálculo del alabeo del ladrillo.

Tabla. 23 Ensayo de alabeo de la muestra de la ladrillera Santos.

| Especímen | Cara A  |         | Cara B  |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
|           | Cóncavo | Convexo | Cóncavo | Convexo |
|           | (mm)    |         | (mm)    |         |
| MC-01     | 0.0     | 2.0     | 1.0     | 0.0     |
| MC-02     | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-03     | 2.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-04     | 0.0     | 1.0     | 1.0     | 0.0     |
| MC-05     | 1.0     | 0.0     | 3.0     | 0.0     |
| MC-06     | 1.0     | 1.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-07     | 1.0     | 0.0     | 3.0     | 0.0     |
| MC-08     | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-09     | 0.0     | 2.0     | 0.0     | 3.0     |
| MC-10     | 2.0     | 0.0     | 3.0     | 0.0     |
| MC-11     | 0.0     | 1.0     | 3.0     | 0.0     |
| MC-12     | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-13     | 0.0     | 1.0     | 1.0     | 0.0     |
| MC-14     | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 2.0     |
| MC-15     | 0.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-16     | 1.5     | 1.0     | 1.0     | 0.0     |
| MC-17     | 0.0     | 0.0     | 3.0     | 0.0     |
| MC-18     | 0.0     | 1.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-19     | 1.0     | 2.0     | 1.0     | 0.0     |
| MC-20     | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 2.0     |
| MC-21     | 1.0     | 0.0     | 3.0     | 0.0     |
| MC-22     | 1.0     | 0.0     | 1.5     | 0.0     |
| MC-23     | 0.0     | 2.0     | 1.0     | 1.0     |
| MC-24     | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-25     | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-26     | 2.0     | 1.0     | 0.0     | 2.0     |
| MC-27     | 0.0     | 1.0     | 2.0     | 0.0     |
| MC-28     | 0.0     | 1.0     | 1.0     | 0.0     |
| MC-29     | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 2.0     |
| MC-30     | 2.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| Promedio  | Cóncavo | 1.20    |         |         |
|           | Convexo | 0.48    |         |         |

**Tabla. 24 Ensayo de alabeo de la muestra de la ladrillera Vilchez**

| Especimen    | Cara A  |         | Cara B  |         |
|--------------|---------|---------|---------|---------|
|              | Cóncavo | Convexo | Cóncavo | Convexo |
|              | (mm)    |         | (mm)    |         |
| <b>MV-01</b> | 0.0     | 1.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-02</b> | 1.0     | 0.0     | 1.0     | 0.0     |
| <b>MV-03</b> | 2.0     | 0.0     | 0.0     | 2.0     |
| <b>MV-04</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-05</b> | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 2.0     |
| <b>MV-06</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-07</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-08</b> | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 2.0     |
| <b>MV-09</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-10</b> | 1.0     | 0.0     | 3.0     | 0.0     |
| <b>MV-11</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-12</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-13</b> | 2.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-14</b> | 0.0     | 0.0     | 1.0     | 0.0     |
| <b>MV-15</b> | 2.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-16</b> | 2.0     | 0.0     | 0.0     | 3.0     |
| <b>MV-17</b> | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 3.0     |
| <b>MV-18</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-19</b> | 0.0     | 3.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-20</b> | 2.0     | 0.0     | 1.0     | 0.0     |
| <b>MV-21</b> | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 2.0     |
| <b>MV-22</b> | 1.0     | 2.0     | 3.0     | 0.0     |
| <b>MV-23</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-24</b> | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 2.0     |
| <b>MV-25</b> | 1.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-26</b> | 0.0     | 2.0     | 3.0     | 0.0     |
| <b>MV-27</b> | 1.0     | 0.0     | 0.0     | 3.0     |
| <b>MV-28</b> | 2.0     | 0.0     | 3.0     | 0.0     |
| <b>MV-29</b> | 2.0     | 0.0     | 2.0     | 0.0     |
| <b>MV-30</b> | 0.0     | 1.0     | 1.0     | 0.0     |
| Promedio     | Cóncavo | 1.27    |         |         |
|              | Convexo | 0.47    |         |         |

### 3. Cálculo de la resistencia a compresión del ladrillo.

Tabla. 25 Ensayo de compresión de la muestra de la ladrillera Santos Campos

| Especímen | Largo (mm)                           |     |     |     |        | Ancho (mm) |       |       |       |         | Carga Máx. (tn) | Carga Máx. (kN) | Área (m <sup>2</sup> ) | f'b (Mpa) | f'b (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|--------------------------------------|-----|-----|-----|--------|------------|-------|-------|-------|---------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------|---------------------------|
|           | L1                                   | L2  | L3  | L4  | Lprom  | A1         | A2    | A3    | A4    | Aprom   |                 |                 |                        |           |                           |
| MC-01     | 220                                  | 211 | 212 | 209 | 213    | 120        | 120.8 | 121.7 | 121.5 | 121     | 17.5            | 171.62          | 0.0258                 | 6.66      | 67.90                     |
| MC-02     | 206                                  | 208 | 209 | 211 | 208.5  | 118.5      | 119.4 | 120.4 | 121   | 119.825 | 16.5            | 161.81          | 0.0250                 | 6.48      | 66.04                     |
| MC-03     | 207                                  | 204 | 213 | 206 | 207.5  | 118.3      | 118.5 | 119.3 | 119.5 | 118.9   | 16.5            | 161.81          | 0.0247                 | 6.56      | 66.88                     |
| MC-04     | 209                                  | 210 | 208 | 211 | 209.5  | 120.1      | 120   | 122   | 122.5 | 121.15  | 17.5            | 171.62          | 0.0254                 | 6.76      | 68.95                     |
| MC-05     | 209                                  | 208 | 210 | 211 | 209.5  | 119.3      | 120.5 | 122   | 120.7 | 120.625 | 17.0            | 166.71          | 0.0253                 | 6.60      | 67.27                     |
| MC-06     | 208                                  | 206 | 209 | 210 | 208.25 | 118.7      | 117.2 | 120   | 119.8 | 118.925 | 16.5            | 161.81          | 0.0248                 | 6.53      | 66.62                     |
| MC-07     | 211                                  | 209 | 206 | 210 | 209    | 121.3      | 121.3 | 124.4 | 121.2 | 122.05  | 17.5            | 171.62          | 0.0255                 | 6.73      | 68.60                     |
| MC-08     | 214                                  | 216 | 215 | 214 | 214.75 | 120.4      | 117   | 122.3 | 120.2 | 119.975 | 17.0            | 166.71          | 0.0258                 | 6.47      | 65.98                     |
| MC-09     | 208                                  | 207 | 211 | 207 | 208.25 | 121        | 122.5 | 121   | 122   | 121.625 | 16.5            | 161.81          | 0.0253                 | 6.39      | 65.14                     |
| MC-10     | 209                                  | 208 | 210 | 211 | 209.5  | 117        | 122.4 | 123.2 | 121   | 120.9   | 17.5            | 171.62          | 0.0253                 | 6.78      | 69.09                     |
| MC-11     | 209                                  | 210 | 208 | 208 | 208.75 | 120.2      | 118.2 | 109.2 | 119   | 116.65  | 17.5            | 171.62          | 0.0244                 | 7.05      | 71.87                     |
| MC-12     | 208                                  | 208 | 206 | 207 | 207.25 | 120.4      | 119.5 | 120.8 | 123   | 120.925 | 17.0            | 166.71          | 0.0251                 | 6.65      | 67.83                     |
| MC-13     | 215                                  | 214 | 217 | 214 | 215    | 122.5      | 122.3 | 121.9 | 121.6 | 122.075 | 16.5            | 161.81          | 0.0262                 | 6.17      | 62.87                     |
| MC-14     | 206                                  | 204 | 203 | 204 | 204.25 | 119.4      | 117.7 | 119.8 | 120.5 | 119.35  | 15.0            | 147.10          | 0.0244                 | 6.03      | 61.53                     |
| MC-15     | 206                                  | 207 | 208 | 212 | 208.25 | 117.5      | 117.3 | 121   | 118.3 | 118.525 | 15.5            | 152.00          | 0.0247                 | 6.16      | 62.80                     |
| MC-16     | 211                                  | 208 | 207 | 209 | 208.75 | 118.5      | 119.9 | 121.4 | 122   | 120.45  | 17.0            | 166.71          | 0.0251                 | 6.63      | 67.61                     |
| MC-17     | 209                                  | 209 | 207 | 206 | 207.75 | 120        | 122.1 | 122   | 121.9 | 121.5   | 17.5            | 171.62          | 0.0252                 | 6.80      | 69.33                     |
| MC-18     | 207                                  | 207 | 210 | 209 | 208.25 | 121.7      | 119.4 | 111.8 | 122.6 | 118.875 | 17.5            | 171.62          | 0.0248                 | 6.93      | 70.69                     |
| MC-19     | 209                                  | 208 | 207 | 214 | 209.5  | 119.5      | 119   | 120.8 | 121.8 | 120.275 | 16.5            | 161.81          | 0.0252                 | 6.42      | 65.48                     |
| MC-20     | 211                                  | 209 | 212 | 216 | 212    | 122        | 122.6 | 126   | 125   | 123.9   | 16.5            | 161.81          | 0.0263                 | 6.16      | 62.82                     |
| MC-21     | 210                                  | 209 | 206 | 209 | 208.5  | 119.1      | 119.7 | 121.3 | 119.8 | 119.975 | 17.5            | 171.62          | 0.0250                 | 6.86      | 69.96                     |
| MC-22     | 212                                  | 210 | 208 | 210 | 210    | 121.6      | 119.9 | 121.4 | 122.9 | 121.45  | 17.0            | 166.71          | 0.0255                 | 6.54      | 66.65                     |
| MC-23     | 212                                  | 211 | 210 | 214 | 211.75 | 120.9      | 122.8 | 122.6 | 122.6 | 122.225 | 16.0            | 156.91          | 0.0259                 | 6.06      | 61.82                     |
| MC-24     | 211                                  | 210 | 207 | 203 | 207.75 | 122.5      | 121.4 | 123   | 122.1 | 122.25  | 16.0            | 156.91          | 0.0254                 | 6.18      | 63.00                     |
| MC-25     | 207                                  | 209 | 206 | 205 | 206.75 | 119        | 119.7 | 126.5 | 122.3 | 121.875 | 16.5            | 161.81          | 0.0252                 | 6.42      | 65.48                     |
| MC-26     | 208                                  | 209 | 210 | 209 | 209    | 117.1      | 118   | 118.9 | 120.7 | 118.675 | 17.5            | 171.62          | 0.0248                 | 6.92      | 70.56                     |
| MC-27     | 212                                  | 219 | 208 | 211 | 212.5  | 119.9      | 120.8 | 119.3 | 119.5 | 119.875 | 15.5            | 152.00          | 0.0255                 | 5.97      | 60.85                     |
| MC-28     | 204                                  | 206 | 206 | 204 | 205    | 118.5      | 118   | 120.9 | 119.7 | 119.275 | 17.0            | 166.71          | 0.0245                 | 6.82      | 69.53                     |
| MC-29     | 209                                  | 211 | 212 | 209 | 210.25 | 121        | 121.9 | 120.5 | 123   | 121.6   | 16.5            | 161.81          | 0.0256                 | 6.33      | 64.54                     |
| MC-30     | 212                                  | 215 | 213 | 214 | 213.5  | 121.6      | 122.4 | 121.1 | 122.3 | 121.85  | 17.0            | 166.71          | 0.0260                 | 6.41      | 65.35                     |
|           | Resistencia a la compresión Promedio |     |     |     |        |            |       |       |       |         | fb              | 6.51 Mpa        | 66.43 kg/cm2           |           |                           |
|           | Desviación estándar                  |     |     |     |        |            |       |       |       |         | σ               | 0.29 Mpa        | 2.97 kg/cm2            |           |                           |
|           | Resistencia a la compresión          |     |     |     |        |            |       |       |       |         | f'b             | 6.22 Mpa        | 63.47 kg/cm2           |           |                           |
|           | Coeficiente de variación (%)         |     |     |     |        |            |       |       |       |         | c.v.            | 4.68%           | 4.68%                  |           |                           |

Tabla. 26 Ensayo de compresión de la muestra de la ladrillera Vilchez

| Probeta | Largo (mm)                           |     |     |     |        | Ancho (mm) |       |       |       |        | Carga Máx. (tn) | Carga Máx. (kN) | Área (m <sup>2</sup> ) | f'b (Mpa) | f'b (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|--------------------------------------|-----|-----|-----|--------|------------|-------|-------|-------|--------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------|---------------------------|
|         | L1                                   | L2  | L3  | L4  | Lprom  | A1         | A2    | A3    | A4    | Aprom  |                 |                 |                        |           |                           |
| MV-01   | 212                                  | 212 | 213 | 214 | 212.63 | 122.8      | 122.3 | 122.6 | 125.6 | 123.33 | 17.0            | 166.71          | 0.0262                 | 6.36      | 64.83                     |
| MV-02   | 212                                  | 222 | 215 | 215 | 215.88 | 125        | 123.2 | 125.8 | 125.8 | 124.91 | 18              | 176.52          | 0.0270                 | 6.55      | 66.75                     |
| MV-03   | 212                                  | 212 | 218 | 216 | 214.38 | 123.2      | 124.4 | 128.6 | 127.8 | 125.95 | 18.5            | 181.42          | 0.0270                 | 6.72      | 68.52                     |
| MV-04   | 210                                  | 211 | 214 | 215 | 212.50 | 122.6      | 123.7 | 128.1 | 125   | 124.85 | 17.5            | 171.62          | 0.0265                 | 6.47      | 65.96                     |
| MV-05   | 211                                  | 212 | 217 | 216 | 214.00 | 123.5      | 121.3 | 126.1 | 124.4 | 123.83 | 18              | 176.52          | 0.0265                 | 6.66      | 67.93                     |
| MV-06   | 212                                  | 211 | 213 | 214 | 212.50 | 127        | 121.6 | 125.4 | 126   | 125.00 | 18.5            | 181.42          | 0.0266                 | 6.83      | 69.65                     |
| MV-07   | 211                                  | 218 | 213 | 216 | 214.50 | 123        | 122.1 | 124.6 | 124.1 | 123.45 | 19              | 186.33          | 0.0265                 | 7.04      | 71.75                     |
| MV-08   | 213                                  | 214 | 215 | 216 | 214.50 | 123        | 121.5 | 122   | 125   | 122.88 | 17.5            | 171.62          | 0.0264                 | 6.51      | 66.40                     |
| MV-09   | 211                                  | 211 | 216 | 214 | 213.00 | 122.8      | 121.5 | 125   | 126.1 | 123.85 | 16.5            | 161.81          | 0.0264                 | 6.13      | 62.55                     |
| MV-10   | 211                                  | 212 | 215 | 216 | 213.50 | 123.1      | 122.7 | 125.4 | 124.4 | 123.90 | 17.5            | 171.62          | 0.0265                 | 6.49      | 66.16                     |
| MV-11   | 211                                  | 212 | 219 | 217 | 214.75 | 122.9      | 123.3 | 125.9 | 126.3 | 124.60 | 18              | 176.52          | 0.0268                 | 6.60      | 67.27                     |
| MV-12   | 209                                  | 208 | 211 | 211 | 209.75 | 119.6      | 119.7 | 124.9 | 123.4 | 121.90 | 17              | 166.71          | 0.0256                 | 6.52      | 66.49                     |
| MV-13   | 213                                  | 212 | 217 | 218 | 215.00 | 122.7      | 122.8 | 125.9 | 125.6 | 124.25 | 18.5            | 181.42          | 0.0267                 | 6.79      | 69.25                     |
| MV-14   | 212                                  | 211 | 218 | 213 | 213.50 | 122.5      | 122.1 | 124.6 | 126   | 123.80 | 18              | 176.52          | 0.0264                 | 6.68      | 68.10                     |
| MV-15   | 213                                  | 212 | 216 | 216 | 214.25 | 122.2      | 119.9 | 124.4 | 124.9 | 122.85 | 19              | 186.33          | 0.0263                 | 7.08      | 72.19                     |
| MV-16   | 212                                  | 212 | 216 | 217 | 214.25 | 121.6      | 120.8 | 125.5 | 122.8 | 122.68 | 17.5            | 171.62          | 0.0263                 | 6.53      | 66.58                     |
| MV-17   | 209                                  | 211 | 217 | 215 | 213.00 | 122.1      | 120.7 | 123.6 | 126.5 | 123.23 | 18              | 176.52          | 0.0262                 | 6.73      | 68.58                     |
| MV-18   | 211                                  | 209 | 213 | 214 | 211.75 | 122.9      | 122.9 | 124.5 | 124.4 | 123.68 | 17.5            | 171.62          | 0.0262                 | 6.55      | 66.82                     |
| MV-19   | 213                                  | 213 | 210 | 214 | 212.50 | 123.1      | 122.1 | 126.1 | 125.6 | 124.23 | 19              | 186.33          | 0.0264                 | 7.06      | 71.98                     |
| MV-20   | 209                                  | 211 | 216 | 214 | 212.50 | 123.6      | 122.1 | 125.5 | 125.7 | 124.23 | 19.5            | 191.23          | 0.0264                 | 7.24      | 73.87                     |
| MV-21   | 209                                  | 210 | 217 | 214 | 212.50 | 121.1      | 122   | 122.1 | 126.1 | 122.83 | 19              | 186.33          | 0.0261                 | 7.14      | 72.80                     |
| MV-22   | 209                                  | 210 | 215 | 214 | 212.00 | 123.5      | 124.2 | 127.3 | 125.7 | 125.18 | 18.5            | 181.42          | 0.0265                 | 6.84      | 69.71                     |
| MV-23   | 212                                  | 211 | 214 | 216 | 213.25 | 123.1      | 125   | 127.3 | 126.3 | 125.43 | 17.5            | 171.62          | 0.0267                 | 6.42      | 65.43                     |
| MV-24   | 209                                  | 212 | 214 | 216 | 212.75 | 121.6      | 121.1 | 124.1 | 121.5 | 122.08 | 18              | 176.52          | 0.0260                 | 6.80      | 69.31                     |
| MV-25   | 210                                  | 212 | 216 | 217 | 213.75 | 120.5      | 122.5 | 127   | 123.8 | 123.45 | 19.5            | 191.23          | 0.0264                 | 7.25      | 73.90                     |
| MV-26   | 213                                  | 214 | 214 | 216 | 214.25 | 122.4      | 119.8 | 124.3 | 126.1 | 123.15 | 19              | 186.33          | 0.0264                 | 7.06      | 72.01                     |
| MV-27   | 213                                  | 213 | 217 | 218 | 215.25 | 123.1      | 124.2 | 125.3 | 124.6 | 124.30 | 19              | 186.33          | 0.0268                 | 6.96      | 71.01                     |
| MV-28   | 209                                  | 211 | 216 | 217 | 213.25 | 121        | 121.9 | 123.8 | 125.4 | 123.03 | 18.5            | 181.42          | 0.0262                 | 6.92      | 70.52                     |
| MV-29   | 212                                  | 212 | 217 | 215 | 214.00 | 121.6      | 122.2 | 125.9 | 126.2 | 123.98 | 17              | 166.71          | 0.0265                 | 6.28      | 64.08                     |
| MV-30   | 209                                  | 212 | 213 | 214 | 212.00 | 122        | 123.3 | 123.2 | 125   | 123.38 | 17              | 166.71          | 0.0262                 | 6.37      | 65.00                     |
|         | Resistencia a la compresión promedio |     |     |     |        |            |       |       |       |        | fb              | 6.72 Mpa        | 68.51 kg/cm2           |           |                           |
|         | Desviación estándar                  |     |     |     |        |            |       |       |       |        | σ               | 0.29 Mpa        | 3.00 kg/cm2            |           |                           |
|         | Resistencia a la compresión          |     |     |     |        |            |       |       |       |        | f'b             | 6.42 Mpa        | 65.51 kg/cm2           |           |                           |
|         | Coeficiente de variación (%)         |     |     |     |        |            |       |       |       |        | c.v.            | 4.58%           | 4.58%                  |           |                           |

### 3.1. Cálculo del módulo de elasticidad.

**Tabla. 27 Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Santos Campos**

**Datos de la muestra de la ladrillera Santos Campos**

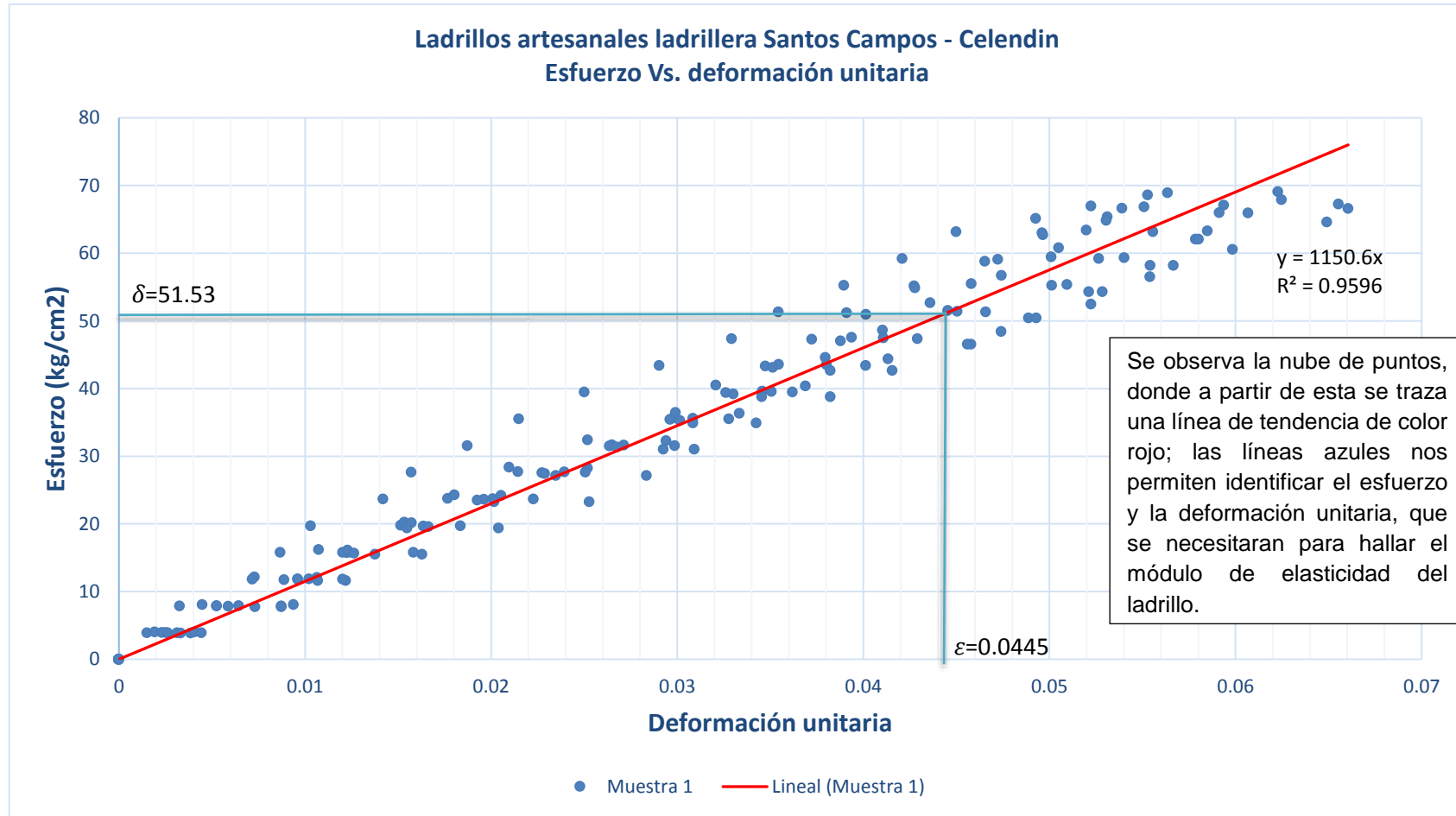
| MC - 01    |           |            |       | MC - 02    |           |            |       |
|------------|-----------|------------|-------|------------|-----------|------------|-------|
| Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf.  | Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf.  |
| 0          | 0.00      | 0.0000     | 0.00  | 0          | 0.00      | 0.0000     | 0.00  |
| 1000       | 0.30      | 0.0025     | 3.88  | 1000       | 0.20      | 0.0025     | 3.96  |
| 2000       | 0.57      | 0.0047     | 7.76  | 2000       | 0.51      | 0.0064     | 7.93  |
| 3000       | 0.95      | 0.0079     | 11.64 | 3000       | 0.81      | 0.0102     | 11.89 |
| 4000       | 1.27      | 0.0105     | 15.52 | 4000       | 0.98      | 0.0124     | 15.86 |
| 5000       | 1.59      | 0.0131     | 19.40 | 5000       | 1.20      | 0.0151     | 19.82 |
| 6000       | 1.97      | 0.0163     | 23.28 | 6000       | 1.40      | 0.0177     | 23.78 |
| 7000       | 2.21      | 0.0183     | 27.16 | 7000       | 1.70      | 0.0215     | 27.75 |
| 8000       | 2.41      | 0.0199     | 31.04 | 8000       | 2.10      | 0.0265     | 31.71 |
| 9000       | 2.67      | 0.0221     | 34.92 | 9000       | 2.36      | 0.0298     | 35.67 |
| 10000      | 2.98      | 0.0246     | 38.80 | 10000      | 2.74      | 0.0346     | 39.64 |
| 11000      | 3.24      | 0.0268     | 42.68 | 11000      | 2.81      | 0.0355     | 43.60 |
| 12000      | 3.57      | 0.0295     | 46.56 | 12000      | 3.12      | 0.0394     | 47.57 |
| 13000      | 3.81      | 0.0315     | 50.44 | 13000      | 3.53      | 0.0445     | 51.53 |
| 14000      | 4.12      | 0.0340     | 54.32 | 14000      | 3.63      | 0.0458     | 55.49 |
| 15000      | 4.32      | 0.0357     | 58.20 | 15000      | 3.97      | 0.0501     | 59.46 |
| 16000      | 4.51      | 0.0373     | 62.08 | 16000      | 4.12      | 0.0520     | 63.42 |
| 17000      | 4.73      | 0.0391     | 65.96 | 16500      | 4.21      | 0.0531     | 65.40 |
| 17500      | 4.87      | 0.0402     | 67.90 |            |           |            |       |

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del ensayo a compresión

Se procedió de la misma manera para los 28 especímenes restantes



Grafico. 1 Esfuerzo Vs deformación unitaria de los especímenes de la muestra de la ladrillera Santos Campos



**Tabla. 28 Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Vilchez**

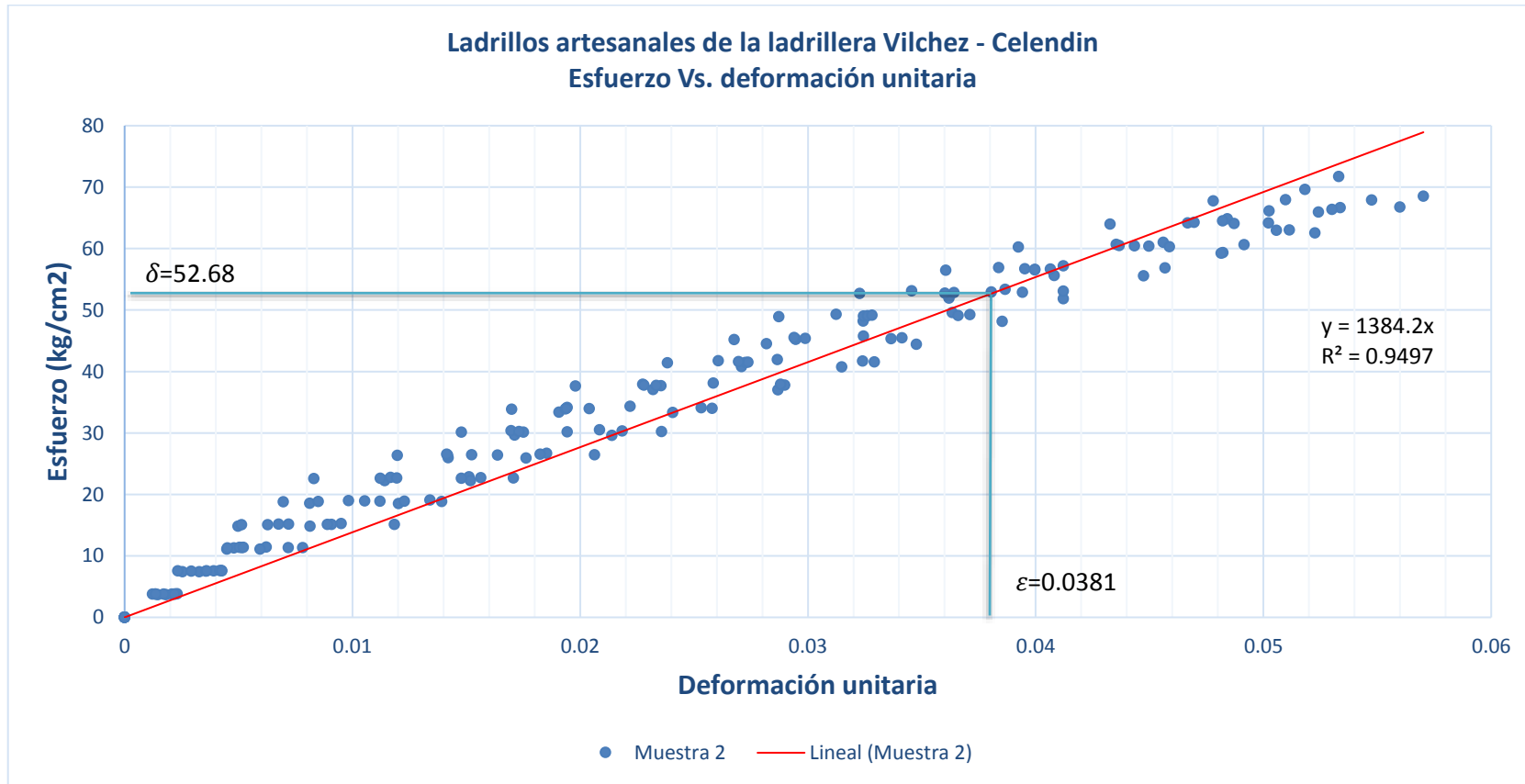
**Datos de la muestra de la ladrillera Vilchez**

| MV - 01    |           |            |                            | MV - 02    |           |            |                            |
|------------|-----------|------------|----------------------------|------------|-----------|------------|----------------------------|
| Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0          | 0.00      | 0.0000     | 0.00                       | 0          | 0.00      | 0.0000     | 0.00                       |
| 1000       | 0.19      | 0.0023     | 3.81                       | 1000       | 0.12      | 0.0015     | 3.71                       |
| 2000       | 0.35      | 0.0043     | 7.63                       | 2000       | 0.21      | 0.0026     | 7.42                       |
| 3000       | 0.51      | 0.0062     | 11.44                      | 3000       | 0.37      | 0.0045     | 11.13                      |
| 4000       | 0.78      | 0.0095     | 15.25                      | 4000       | 0.41      | 0.0050     | 14.83                      |
| 5000       | 1.10      | 0.0134     | 19.07                      | 5000       | 0.67      | 0.0081     | 18.54                      |
| 6000       | 1.24      | 0.0151     | 22.88                      | 6000       | 0.94      | 0.0114     | 22.25                      |
| 7000       | 1.52      | 0.0185     | 26.70                      | 7000       | 1.17      | 0.0142     | 25.96                      |
| 8000       | 1.71      | 0.0209     | 30.51                      | 8000       | 1.41      | 0.0171     | 29.67                      |
| 9000       | 1.82      | 0.0222     | 34.32                      | 9000       | 1.57      | 0.0191     | 33.38                      |
| 10000      | 2.12      | 0.0259     | 38.14                      | 10000      | 1.91      | 0.0232     | 37.08                      |
| 11000      | 2.35      | 0.0287     | 41.95                      | 11000      | 2.23      | 0.0271     | 40.79                      |
| 12000      | 2.66      | 0.0324     | 45.76                      | 12000      | 2.32      | 0.0282     | 44.50                      |
| 13000      | 2.98      | 0.0363     | 49.58                      | 13000      | 2.67      | 0.0324     | 48.21                      |
| 14000      | 3.17      | 0.0387     | 53.39                      | 14000      | 2.98      | 0.0362     | 51.92                      |
| 15000      | 3.38      | 0.0412     | 57.20                      | 15000      | 3.36      | 0.0408     | 55.63                      |
| 16000      | 3.74      | 0.0456     | 61.02                      | 16000      | 3.97      | 0.0482     | 59.34                      |
| 17000      | 3.97      | 0.0484     | 64.83                      | 17000      | 4.21      | 0.0511     | 63.04                      |
|            |           |            |                            | 18000      | 4.61      | 0.0560     | 66.75                      |

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del ensayo a compresión

Se procedió de la misma manera para los 28 especímenes restantes

Grafico. 2 Esfuerzo Vs deformación unitaria de los especímenes de la muestra de la ladrillera Vilchez



Se observa la nube de puntos, donde a partir de esta se traza una línea de tendencia de color rojo; las líneas azules nos permiten identificar el esfuerzo y la deformación unitaria, que se necesitaran para hallar el módulo de elasticidad del ladrillo.

Tabla. 29 Módulos de elasticidad de unidades de ladrillo

| Tipo | Deformación unitaria leída | Esfuerzo máximo leído (kg/cm <sup>2</sup> ) | Módulo de elasticidad (Eb) (kg/cm <sup>2</sup> ) práctica | Módulo de elasticidad (Eb) (kg/cm <sup>2</sup> ) teórica | Diferencia teórica y practica (%) |
|------|----------------------------|---|---|--|-----------------------------------|
| L.S  | 0.0445                     | 51.53                                       | 1150.6  | 25386  | 95.47                             |
| L.V  | 0.0381                     | 52.68                                       | 1384.2  | 26204  | 94.72                             |

#### 4. Cálculo de la succión del ladrillo.

Tabla.30 Ensayo de succión de la muestra de la ladrillera Santos Campos.

| Probeta | Largo (mm) |     |       | Ancho (mm) |       |        | Área (cm <sup>2</sup> ) | Psec gr. | Psuc gr | S     |
|---------|------------|-----|-------|------------|-------|--------|-------------------------|----------|---------|-------|
|         | L1         | L2  | Lprom | A1         | A2    | Aprom  |                         |          |         |       |
| MC-1    | 212        | 209 | 210.5 | 120        | 120.8 | 120.4  | 253.44                  | 3024.2   | 3074.1  | 39.38 |
| MC-2    | 212        | 209 | 210.5 | 118.5      | 119.4 | 118.95 | 250.39                  | 3094.5   | 3149.1  | 43.61 |
| MC-3    | 212        | 209 | 210.5 | 118.3      | 118.5 | 118.4  | 249.23                  | 2825.2   | 2868.2  | 34.51 |
| MC-4    | 212        | 209 | 210.5 | 120.1      | 120   | 120.05 | 252.71                  | 3175.7   | 3232.8  | 45.19 |
| MC-5    | 212        | 209 | 210.5 | 119.3      | 120.5 | 119.9  | 252.39                  | 3042.8   | 3098.4  | 44.06 |
| MC-6    | 212        | 209 | 210.5 | 118.7      | 117.2 | 117.95 | 248.28                  | 3046.8   | 3101.9  | 44.38 |
| MC-7    | 212        | 209 | 210.5 | 121.3      | 121.3 | 121.3  | 255.34                  | 3125.2   | 3184.5  | 46.45 |
| MC-8    | 212        | 209 | 210.5 | 120.4      | 117   | 118.7  | 249.86                  | 3082.7   | 3129.8  | 37.70 |
| MC-9    | 212        | 209 | 210.5 | 121        | 122.5 | 121.75 | 256.28                  | 3116.1   | 3163.1  | 36.68 |
| MC-10   | 212        | 209 | 210.5 | 117        | 122.4 | 119.7  | 251.97                  | 3067.1   | 3124.4  | 45.48 |
| MC-11   | 212        | 209 | 210.5 | 120.2      | 118.2 | 119.2  | 250.92                  | 2974.0   | 3018.5  | 35.47 |
| MC-12   | 212        | 209 | 210.5 | 120.4      | 119.5 | 119.95 | 252.49                  | 2983.6   | 3041.4  | 45.78 |
| MC-13   | 212        | 209 | 210.5 | 122.5      | 122.3 | 122.4  | 257.65                  | 3251.1   | 3296.7  | 35.40 |
| MC-14   | 212        | 209 | 210.5 | 119.4      | 117.7 | 118.55 | 249.55                  | 2829.2   | 2864.4  | 28.21 |
| MC-15   | 212        | 209 | 210.5 | 117.5      | 117.3 | 117.4  | 247.13                  | 2837.2   | 2896.7  | 48.15 |
| MC-16   | 212        | 209 | 210.5 | 118.5      | 119.9 | 119.2  | 250.92                  | 3017.8   | 3059.2  | 33.00 |
| MC-17   | 212        | 209 | 210.5 | 120        | 122.1 | 121.05 | 254.81                  | 3166.5   | 3226.3  | 46.94 |
| MC-18   | 212        | 209 | 210.5 | 121.7      | 119.4 | 120.55 | 253.76                  | 2975.7   | 3026.2  | 39.80 |
| MC-19   | 212        | 209 | 210.5 | 119.5      | 119   | 119.25 | 251.02                  | 2997.2   | 3059.91 | 49.96 |
| MC-20   | 212        | 209 | 210.5 | 122        | 122.6 | 122.3  | 257.44                  | 3398.6   | 3434.8  | 28.12 |
| MC-21   | 212        | 209 | 210.5 | 119.1      | 119.7 | 119.4  | 251.34                  | 3051.6   | 3084.9  | 26.50 |
| MC-22   | 212        | 209 | 210.5 | 121.6      | 119.9 | 120.75 | 254.18                  | 3151.1   | 3191.2  | 31.55 |
| MC-23   | 212        | 209 | 210.5 | 120.9      | 122.8 | 121.85 | 256.49                  | 3148.9   | 3196.1  | 36.80 |
| MC-24   | 212        | 209 | 210.5 | 122.5      | 121.4 | 121.95 | 256.70                  | 3183.3   | 3232.5  | 38.33 |
| MC-25   | 212        | 209 | 210.5 | 119        | 119.7 | 119.35 | 251.23                  | 3063.8   | 3103    | 31.21 |
| MC-26   | 212        | 209 | 210.5 | 117.1      | 118   | 117.55 | 247.44                  | 2806.3   | 2861.1  | 44.29 |
| MC-27   | 212        | 209 | 210.5 | 119.9      | 120.8 | 120.35 | 253.34                  | 3094.3   | 3152.4  | 45.87 |
| MC-28   | 212        | 209 | 210.5 | 118.5      | 118   | 118.25 | 248.92                  | 2846.8   | 2902.2  | 44.51 |
| MC-29   | 212        | 209 | 210.5 | 121        | 121.9 | 121.45 | 255.65                  | 3164.6   | 3202.6  | 29.73 |
| MC-30   | 212        | 209 | 210.5 | 121.6      | 122.4 | 122    | 256.81                  | 3126.5   | 3187.7  | 47.66 |

Succión promedio 39.49  
 Desviación estándar ( $\sigma$ ) 6.91  
 Coeficiente de variación (c.v.) 17.51%

**Tabla. 31 Ensayo de succión de la muestra de la ladrillera Vilchez**

| Probeta      | Largo (mm) |       |        | Ancho (mm) |        |        | Área (cm <sup>2</sup> ) | Psec gr. | Psuc gr | S                                |        |
|--------------|------------|-------|--------|------------|--------|--------|-------------------------|----------|---------|----------------------------------|--------|
|              | L1         | L2    | Lprom  | A1         | A2     | Aprom  |                         |          |         |                                  |        |
| <b>MV-1</b>  | 212        | 212   | 212    | 122.8      | 122.3  | 122.55 | 259.81                  | 3299.9   | 3341.9  | 32.33                            |        |
| <b>MV-2</b>  | 211.5      | 222   | 216.75 | 125        | 123.15 | 124.08 | 268.93                  | 3370.6   | 3432.3  | 45.89                            |        |
| <b>MV-3</b>  | 212        | 211.5 | 211.75 | 123.15     | 124.35 | 123.75 | 262.04                  | 3487.6   | 3536.3  | 37.17                            |        |
| <b>MV-4</b>  | 210        | 211   | 210.5  | 122.6      | 123.7  | 123.15 | 259.23                  | 3309.9   | 3355.2  | 34.95                            |        |
| <b>MV-5</b>  | 211        | 212   | 211.5  | 123.5      | 121.3  | 122.40 | 258.88                  | 3310.3   | 3362.4  | 40.25                            |        |
| <b>MV-6</b>  | 212        | 211   | 211.5  | 127        | 121.6  | 124.30 | 262.89                  | 3300.6   | 3343.4  | 32.56                            |        |
| <b>MV-7</b>  | 211        | 218   | 214.5  | 123        | 122.1  | 122.55 | 262.87                  | 3389.6   | 3417.9  | 21.53                            |        |
| <b>MV-8</b>  | 213        | 214   | 213.5  | 123        | 121.5  | 122.25 | 261.00                  | 3323.9   | 3368.6  | 34.25                            |        |
| <b>MV-9</b>  | 211        | 211   | 211    | 122.8      | 121.5  | 122.15 | 257.74                  | 3339.3   | 3370.4  | 24.13                            |        |
| <b>MV-10</b> | 211        | 212   | 211.5  | 123.1      | 122.7  | 122.90 | 259.93                  | 3336.8   | 3380    | 33.24                            |        |
| <b>MV-11</b> | 211        | 212   | 211.5  | 122.9      | 123.3  | 123.10 | 260.36                  | 3429.2   | 3476.9  | 36.64                            |        |
| <b>MV-12</b> | 209        | 208   | 208.5  | 119.6      | 119.7  | 119.65 | 249.47                  | 3185.2   | 3218.4  | 26.62                            |        |
| <b>MV-13</b> | 213        | 212   | 212.5  | 122.7      | 122.8  | 122.75 | 260.84                  | 3413.5   | 3452.9  | 30.21                            |        |
| <b>MV-14</b> | 212        | 211   | 211.5  | 122.5      | 122.1  | 122.30 | 258.66                  | 3296     | 3337.2  | 31.86                            |        |
| <b>MV-15</b> | 213        | 212   | 212.5  | 122.2      | 119.9  | 121.05 | 257.23                  | 3342.8   | 3376.5  | 26.20                            |        |
| <b>MV-16</b> | 212        | 212   | 212    | 121.6      | 120.8  | 121.20 | 256.94                  | 3353     | 3398.4  | 35.34                            |        |
| <b>MV-17</b> | 209        | 211   | 210    | 122.1      | 120.7  | 121.40 | 254.94                  | 3221.6   | 3274.1  | 41.19                            |        |
| <b>MV-18</b> | 211        | 209   | 210    | 122.9      | 122.9  | 122.90 | 258.09                  | 3407.9   | 3442.8  | 27.04                            |        |
| <b>MV-19</b> | 213        | 213   | 213    | 123.1      | 122.1  | 122.60 | 261.14                  | 3413.1   | 3461.5  | 37.07                            |        |
| <b>MV-20</b> | 209        | 211   | 210    | 123.6      | 122.1  | 122.85 | 257.99                  | 3322.1   | 3371.4  | 38.22                            |        |
| <b>MV-21</b> | 209        | 210   | 209.5  | 121.1      | 122    | 121.55 | 254.65                  | 3286.8   | 3321.4  | 27.17                            |        |
| <b>MV-22</b> | 209        | 210   | 209.5  | 123.5      | 124.2  | 123.85 | 259.47                  | 3306.2   | 3342.4  | 27.90                            |        |
| <b>MV-23</b> | 212        | 211   | 211.5  | 123.1      | 125    | 124.05 | 262.37                  | 3495.8   | 3533    | 28.36                            |        |
| <b>MV-24</b> | 209        | 212   | 210.5  | 121.6      | 121.1  | 121.35 | 255.44                  | 3240.5   | 3279.8  | 30.77                            |        |
| <b>MV-25</b> | 210        | 212   | 211    | 120.5      | 122.5  | 121.50 | 256.37                  | 3384.5   | 3420.4  | 28.01                            |        |
| <b>MV-26</b> | 213        | 214   | 213.5  | 122.4      | 119.8  | 121.10 | 258.55                  | 3329.4   | 3375.1  | 35.35                            |        |
| <b>MV-27</b> | 213        | 213   | 213    | 123.1      | 124.2  | 123.65 | 263.37                  | 3457.2   | 3504.8  | 36.15                            |        |
| <b>MV-28</b> | 209        | 211   | 210    | 121        | 121.9  | 121.45 | 255.05                  | 3311.6   | 3359.7  | 37.72                            |        |
| <b>MV-29</b> | 212        | 212   | 212    | 121.6      | 122.2  | 121.90 | 258.43                  | 3351.2   | 3399.1  | 37.07                            |        |
| <b>MV-30</b> | 209        | 212   | 210.5  | 122        | 123.3  | 122.65 | 258.18                  | 3474.9   | 3507.4  | 25.18                            |        |
|              |            |       |        |            |        |        |                         |          |         |                                  |        |
|              |            |       |        |            |        |        |                         |          |         | Succión promedio                 | 32.68  |
|              |            |       |        |            |        |        |                         |          |         | Desviación estándar ( $\sigma$ ) | 5.68   |
|              |            |       |        |            |        |        |                         |          |         | Coefficiente de variación (c.v.) | 17.39% |

## 5. Cálculo de la absorción del ladrillo.

*Tabla. 32 Ensayo de absorción de la muestra de la ladrillera Santos Campos*

| <b>Espécimen</b> | <b>Peso seco<br/>gr.</b>         | <b>Peso saturado<br/>gr.</b> | <b>Absorción<br/>%</b> |
|------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------|
| <b>MC-1</b>      | 3018.2                           | 3545.8                       | 17.48                  |
| <b>MC-2</b>      | 3081.9                           | 3606.1                       | 17.01                  |
| <b>MC-3</b>      | 2810.5                           | 3334.4                       | 18.64                  |
| <b>MC-4</b>      | 3175.7                           | 3532.2                       | 11.23                  |
| <b>MC-5</b>      | 3041.4                           | 3541.3                       | 16.44                  |
| <b>MC-6</b>      | 3044.5                           | 3516.3                       | 15.50                  |
| <b>MC-7</b>      | 3121.1                           | 3629.6                       | 16.29                  |
| <b>MC-8</b>      | 3077.4                           | 3609.6                       | 17.29                  |
| <b>MC-9</b>      | 3112.8                           | 3613.5                       | 16.09                  |
| <b>MC-10</b>     | 3063.2                           | 3582.3                       | 16.95                  |
| <b>MC-11</b>     | 2966.3                           | 3475.5                       | 17.17                  |
| <b>MC-12</b>     | 2983.1                           | 3496.6                       | 17.21                  |
| <b>MC-13</b>     | 3236.5                           | 3784.3                       | 16.93                  |
| <b>MC-14</b>     | 2810.6                           | 3227.4                       | 14.83                  |
| <b>MC-15</b>     | 2836.1                           | 3321.5                       | 17.12                  |
| <b>MC-16</b>     | 3009                             | 3523.1                       | 17.09                  |
| <b>MC-17</b>     | 3165.8                           | 3651.9                       | 15.35                  |
| <b>MC-18</b>     | 2965.1                           | 3485.9                       | 17.56                  |
| <b>MC-19</b>     | 2988.5                           | 3508.8                       | 17.41                  |
| <b>MC-20</b>     | 3375.1                           | 3908.3                       | 15.80                  |
| <b>MC-21</b>     | 3034                             | 3546.2                       | 16.88                  |
| <b>MC-22</b>     | 3132.8                           | 3663.5                       | 16.94                  |
| <b>MC-23</b>     | 2998                             | 3551.8                       | 18.47                  |
| <b>MC-24</b>     | 3176.8                           | 3706.4                       | 16.67                  |
| <b>MC-25</b>     | 3050                             | 3573                         | 17.15                  |
| <b>MC-26</b>     | 2801.6                           | 3320.5                       | 18.52                  |
| <b>MC-27</b>     | 3091                             | 3608.3                       | 16.74                  |
| <b>MC-28</b>     | 2843.9                           | 3333.9                       | 17.23                  |
| <b>MC-29</b>     | 3151.8                           | 3678.7                       | 16.72                  |
| <b>MC-30</b>     | 3116.6                           | 3645.9                       | 16.98                  |
|                  | Absorción promedio (%)           |                              | 16.72                  |
|                  | Desviación estándar ( $\sigma$ ) |                              | 1.34                   |
|                  | Coefficiente de variación (cv)   |                              | 8.03%                  |

**Tabla. 33 Ensayo de absorción de la muestra de la ladrillera Vilchez**

| <b>Espécimen</b> | <b>Peso seco<br/>gr.</b>         | <b>Peso saturado<br/>gr.</b> | <b>Absorción<br/>%</b> |
|------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------|
| <b>MV-1</b>      | 3294.1                           | 3825.9                       | 16.14                  |
| <b>MV-2</b>      | 3370.3                           | 3898.3                       | 15.67                  |
| <b>MV-3</b>      | 3481.9                           | 3985.1                       | 14.45                  |
| <b>MV-4</b>      | 3304.2                           | 3825.6                       | 15.78                  |
| <b>MV-5</b>      | 3308.4                           | 3817.2                       | 15.38                  |
| <b>MV-6</b>      | 3298                             | 3823.3                       | 15.93                  |
| <b>MV-7</b>      | 3369.1                           | 3894.6                       | 15.60                  |
| <b>MV-8</b>      | 3311.6                           | 3868                         | 16.80                  |
| <b>MV-9</b>      | 3323.1                           | 3863.5                       | 16.26                  |
| <b>MV-10</b>     | 3328.5                           | 3859.8                       | 15.96                  |
| <b>MV-11</b>     | 3443.5                           | 3962.1                       | 15.06                  |
| <b>MV-12</b>     | 3202.4                           | 3718.3                       | 16.11                  |
| <b>MV-13</b>     | 3419.4                           | 3916.9                       | 14.55                  |
| <b>MV-14</b>     | 3301.6                           | 3821.8                       | 15.76                  |
| <b>MV-15</b>     | 3360.5                           | 3872.9                       | 15.25                  |
| <b>MV-16</b>     | 3361.3                           | 3868.4                       | 15.09                  |
| <b>MV-17</b>     | 3235.3                           | 3759.5                       | 16.20                  |
| <b>MV-18</b>     | 3427.7                           | 3942.8                       | 15.03                  |
| <b>MV-19</b>     | 3418.4                           | 3949.2                       | 15.53                  |
| <b>MV-20</b>     | 3327.9                           | 3841                         | 15.42                  |
| <b>MV-21</b>     | 3305.5                           | 3833.1                       | 15.96                  |
| <b>MV-22</b>     | 3317.3                           | 3835.8                       | 15.63                  |
| <b>MV-23</b>     | 3507.3                           | 4019.9                       | 14.62                  |
| <b>MV-24</b>     | 3225.4                           | 3749.1                       | 16.24                  |
| <b>MV-25</b>     | 3373.5                           | 3910.3                       | 15.91                  |
| <b>MV-26</b>     | 3335.4                           | 3856.6                       | 15.63                  |
| <b>MV-27</b>     | 3469.4                           | 3972.9                       | 14.51                  |
| <b>MV-28</b>     | 3318.6                           | 3830.9                       | 15.44                  |
| <b>MV-29</b>     | 3357.1                           | 3877                         | 15.49                  |
| <b>MV-30</b>     | 3499.2                           | 3999.3                       | 14.29                  |
|                  | Absorción promedio (%)           |                              | 15.52                  |
|                  | Desviación estándar ( $\sigma$ ) |                              | 0.62                   |
|                  | Coefficiente de variación (cv)   |                              | 3.96%                  |

## 6. Cálculo de la resistencia a compresión en pilas ( $f'm$ ).

Tabla. 34 Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de la muestra de la ladrillera Santos Campos

| Especimen | Dimensiones |     |     |     |            |        |     |     |            |        | Esbeltez | P. max. | Área | fm  | Factor | fm kg/cm2 |            |        |            |        |        |
|-----------|-------------|-----|-----|-----|------------|--------|-----|-----|------------|--------|----------|---------|------|-----|--------|-----------|------------|--------|------------|--------|--------|
|           | L (mm)      |     |     |     | Lprom (mm) | t (mm) |     |     | tprom (mm) | H (mm) |          |         |      |     |        |           | Hprom (mm) | H/t    | Ton        | cm2    | kg/cm2 |
| PLC-01    | 210         | 220 | 213 | 215 | 214.5      | 122    | 118 | 121 | 114        | 118.8  | 510      | 525     | 515  | 523 | 518.3  | 4.36      | 5000       | 254.72 | 19.63      | 0.972  | 19.080 |
| PLC-02    | 210         | 211 | 211 | 210 | 210.5      | 121    | 123 | 122 | 120        | 121.5  | 520      | 522     | 523  | 524 | 522.3  | 4.30      | 4850       | 255.76 | 18.96      | 0.968  | 18.356 |
| PLC-03    | 212         | 210 | 205 | 204 | 207.8      | 122    | 125 | 121 | 119        | 121.8  | 530      | 524     | 525  | 523 | 525.5  | 4.32      | 4500       | 252.94 | 17.79      | 0.969  | 17.240 |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        | fm:        | 18.23  |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        |            | Kg/cm2 |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        | $\sigma$ : | 0.93   |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        |            | Kg/cm2 |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        | $f'm$ :    | 17.30  |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        |            | Kg/cm2 |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        | c.v.       | 5.09%  |        |

Tabla. 35 Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de la muestra de la ladrillera Vilchez

| Especimen | Dimensiones |     |     |     |            |        |     |     |            |        | Esbeltez | P. max. | Área | fm  | Factor | fm kg/cm2 |            |        |            |        |        |
|-----------|-------------|-----|-----|-----|------------|--------|-----|-----|------------|--------|----------|---------|------|-----|--------|-----------|------------|--------|------------|--------|--------|
|           | L (mm)      |     |     |     | Lprom (mm) | t (mm) |     |     | tprom (mm) | H (mm) |          |         |      |     |        |           | Hprom (mm) | H/t    | Ton        | cm2    | kg/cm2 |
| PLV-01    | 215         | 215 | 215 | 220 | 216.3      | 125    | 123 | 124 | 125        | 124.3  | 535      | 532     | 525  | 533 | 531.3  | 4.28      | 5500       | 268.69 | 20.47      | 0.967  | 19.794 |
| PLV-02    | 215         | 215 | 215 | 215 | 215.0      | 124    | 126 | 125 | 126        | 125.3  | 545      | 540     | 525  | 540 | 537.5  | 4.29      | 5200       | 269.29 | 19.31      | 0.967  | 18.673 |
| PLV-03    | 215         | 215 | 215 | 214 | 214.8      | 125    | 125 | 125 | 120        | 123.8  | 540      | 543     | 535  | 535 | 538.3  | 4.35      | 5400       | 265.75 | 20.32      | 0.971  | 19.730 |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        | fm:        | 19.40  |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        |            | Kg/cm2 |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        | $\sigma$ : | 0.63   |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        |            | Kg/cm2 |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        | $f'm$ :    | 18.77  |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        |            | Kg/cm2 |        |
|           |             |     |     |     |            |        |     |     |            |        |          |         |      |     |        |           |            |        | c.v.       | 3.25%  |        |

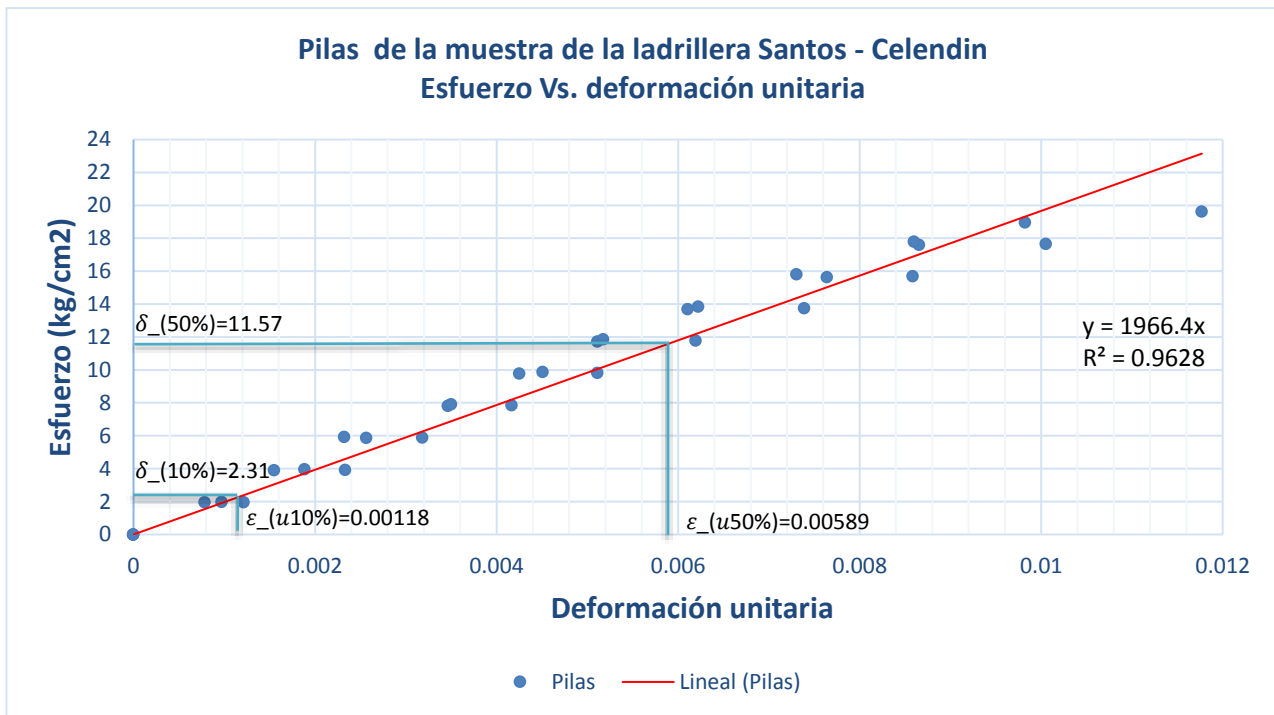


### 6.1. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas.

Tabla. 36 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación muestra de la ladrillera Santos Campos

| PLC - 01   |           |            |                            | PLC - 2    |           |            |                            |
|------------|-----------|------------|----------------------------|------------|-----------|------------|----------------------------|
| Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0          | 0.00      | 0.0000     | 0.00                       | 0          | 0         | 0.0000     | 0.00                       |
| 500        | 0.63      | 0.0012     | 1.96                       | 500        | 0.41      | 0.0008     | 1.95                       |
| 1000       | 1.21      | 0.0023     | 3.93                       | 1000       | 0.81      | 0.0016     | 3.91                       |
| 1500       | 1.65      | 0.0032     | 5.89                       | 1500       | 1.34      | 0.0026     | 5.86                       |
| 2000       | 2.16      | 0.0042     | 7.85                       | 2000       | 1.81      | 0.0035     | 7.82                       |
| 2500       | 2.65      | 0.0051     | 9.81                       | 2500       | 2.22      | 0.0043     | 9.77                       |
| 3000       | 3.21      | 0.0062     | 11.78                      | 3000       | 2.67      | 0.0051     | 11.73                      |
| 3500       | 3.83      | 0.0074     | 13.74                      | 3500       | 3.19      | 0.0061     | 13.68                      |
| 4000       | 4.45      | 0.0086     | 15.70                      | 4000       | 3.99      | 0.0076     | 15.64                      |
| 4500       | 5.21      | 0.0101     | 17.67                      | 4500       | 4.52      | 0.0087     | 17.59                      |
| 5000       | 6.10      | 0.0118     | 19.63                      | 4850       | 5.13      | 0.0098     | 18.96                      |

Grafico. 3 Esfuerzo Vs deformación unitaria de pilas de la muestra de la ladrillera Santos

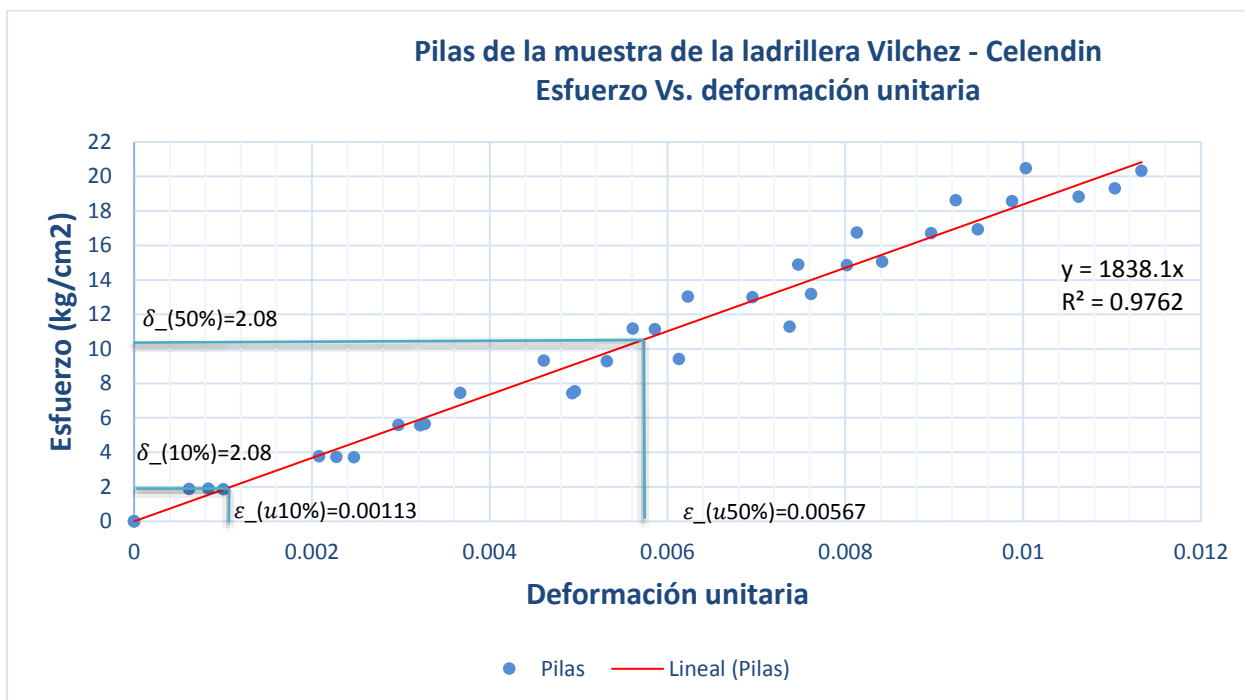


Se observa la nube de puntos, donde a partir de esta se traza una línea de tendencia de color rojo; las líneas azules nos permiten identificar los esfuerzos y deformaciones unitarias al 10% y 50%.

**Tabla. 37 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación muestra de la ladrillera Vilchez**

| PLV - 01   |           |            |                            | PLV - 2    |           |            |                            |
|------------|-----------|------------|----------------------------|------------|-----------|------------|----------------------------|
| Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0          | 0.00      | 0.0000     | 0.00                       | 0          | 0         | 0.0000     | 0.00                       |
| 500        | 0.33      | 0.0006     | 1.86                       | 500        | 0.54      | 0.0010     | 1.86                       |
| 1000       | 1.21      | 0.0023     | 3.72                       | 1000       | 1.33      | 0.0025     | 3.71                       |
| 1500       | 1.58      | 0.0030     | 5.58                       | 1500       | 1.73      | 0.0032     | 5.57                       |
| 2000       | 1.95      | 0.0037     | 7.44                       | 2000       | 2.65      | 0.0049     | 7.43                       |
| 2500       | 2.45      | 0.0046     | 9.30                       | 2500       | 2.86      | 0.0053     | 9.28                       |
| 3000       | 2.98      | 0.0056     | 11.17                      | 3000       | 3.15      | 0.0059     | 11.14                      |
| 3500       | 3.31      | 0.0062     | 13.03                      | 3500       | 3.74      | 0.0070     | 13.00                      |
| 4000       | 3.97      | 0.0075     | 14.89                      | 4000       | 4.31      | 0.0080     | 14.85                      |
| 4500       | 4.32      | 0.0081     | 16.75                      | 4500       | 4.82      | 0.0090     | 16.71                      |
| 5000       | 4.91      | 0.0092     | 18.61                      | 5000       | 5.31      | 0.0099     | 18.57                      |
| 5500       | 5.33      | 0.0100     | 20.47                      | 5200       | 5.93      | 0.0110     | 19.31                      |

**Grafico. 4 Esfuerzo Vs deformación unitaria de pilas de la muestra de la ladrillera Vilchez**



Se observa la nube de puntos, donde a partir de esta se traza una línea de tendencia de color rojo; las líneas azules nos permiten identificar los esfuerzos y deformaciones unitarias al 10% y 50%.

**Tabla. 38** Calculo de los módulos de elasticidad de las unidades de ladrillo artesanal

| Tipo       | $\epsilon_{u10\%}$ | $\epsilon_{u50\%}$ | $\delta_{10\%}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\delta_{50\%}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Módulo de elasticidad (Em)<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) práctica |
|------------|--------------------|--------------------|--|--|--|
| L. Santos  | 0.00118            | 0.00589            | 2.31                                     | 11.57                                    | 1.97 E+03  |
| L. Vilchez | 0.00113            | 0.00567            | 2.08                                     | 10.42                                    | 1.84 E+03  |

$\epsilon_u$  : Deformación unitaria       $\delta$ : Esfuerzo

### 7. Cálculo de la resistencia al corte en muretes (v'm).

**Tabla.39** Ensayo a la resistencia al corte de muretes de la muestra de la ladrillera Santos Campos

| Espécimen | Dimensiones |           |           | Dimensiones con yeso |            |            | P máx.<br>Kg | Área<br>cm <sup>2</sup> | vm<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------|-------------|-----------|-----------|----------------------|------------|------------|--------------|-------------------------|--------------------------|
|           | L<br>(mm)   | A<br>(mm) | t<br>(mm) | D<br>(mm)            | Lo<br>(mm) | Ao<br>(mm) |              |                         |                          |
| MC-01     | 1005        | 1002      | 121       | 1505                 | 1013       | 1013       | 4,900        | 1,821.05                | 2.69                     |
| MC-02     | 1006        | 1001      | 122       | 1504                 | 1012       | 1012       | 4,500        | 1,834.88                | 2.45                     |

vm Prom: 2.57  
Kg/cm2

Desviación estándar (  $\sigma$  ): 0.17  
Kg/cm2

Resistencia al corte (v'm): 2.40  
Kg/cm2

Coefficiente de variación (cv): 6.55%

**Tabla. 40** Ensayo a la resistencia al corte de muretes de la muestra de la ladrillera Vilchez

| Espécimen | Dimensiones |           |           | Dimensiones con yeso |            |            | P máx.<br>Kg | Área<br>cm <sup>2</sup> | vm<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------|-------------|-----------|-----------|----------------------|------------|------------|--------------|-------------------------|--------------------------|
|           | L<br>(mm)   | A<br>(mm) | t<br>(mm) | D<br>(mm)            | Lo<br>(mm) | Ao<br>(mm) |              |                         |                          |
| MV-01     | 1011        | 1001      | 121       | 1445                 | 1023       | 1010       | 6,600        | 1,748.45                | 3.77                     |
| MV-02     | 1008        | 1005      | 123       | 1452                 | 1015       | 1011       | 6,900        | 1,785.96                | 3.86                     |

vm Prom: 3.82  
Kg/cm2

Desviación estándar (  $\sigma$  ): 0.06  
Kg/cm2

Resistencia al corte (v'm): 3.76  
Kg/cm2

Coefficiente de variación (cv): 1.64%

## 7.1. Cálculo del módulo de corte en muretes.

**Tabla. 41 Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Santos Campos.**

| <b>Datos muretes de la ladrillera Santos</b> |           |            |      |            |           |            |      |
|--|-----------|------------|------|------------|-----------|------------|------|
| MC - 01                                      |           |            |      |            |           |            |      |
| Vertical                                     |           |            |      | Horizontal |           |            |      |
| Carga (kg)                                   | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. | Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. |
| 0  | 0.0       | 0.00000    | 0.00 | 0          | 0         | 0.00000    | 0.00 |
| 200  | 0.5       | 0.00033    | 0.11 | 200        | 0.15      | 0.00011    | 0.12 |
| 400  | 0.7       | 0.00047    | 0.22 | 400        | 0.24      | 0.00017    | 0.23 |
| 600  | 1.2       | 0.00080    | 0.33 | 600        | 0.32      | 0.00023    | 0.35 |
| 800  | 1.6       | 0.00106    | 0.44 | 800        | 0.62      | 0.00044    | 0.47 |
| 1000   | 1.9       | 0.00126    | 0.55 | 1000       | 0.7       | 0.00049    | 0.58 |
| 1200   | 2.0       | 0.00133    | 0.66 | 1200       | 0.75      | 0.00053    | 0.70 |
| 1400   | 2.5       | 0.00166    | 0.77 | 1400       | 0.87      | 0.00061    | 0.82 |
| 1600   | 2.5       | 0.00166    | 0.88 | 1600       | 0.99      | 0.00070    | 0.93 |
| 1800   | 2.9       | 0.00193    | 0.99 | 1800       | 1.17      | 0.00082    | 1.05 |
| 2000   | 3.0       | 0.00199    | 1.10 | 2000       | 1.45      | 0.00102    | 1.16 |
| 2200   | 3.2       | 0.00213    | 1.21 | 2200       | 1.57      | 0.00111    | 1.28 |
| 2400   | 3.4       | 0.00226    | 1.32 | 2400       | 1.75      | 0.00123    | 1.40 |
| 2600   | 3.6       | 0.00239    | 1.43 | 2600       | 1.94      | 0.00137    | 1.51 |
| 2800   | 3.8       | 0.00252    | 1.54 | 2800       | 2.15      | 0.00151    | 1.63 |
| 3000   | 3.9       | 0.00259    | 1.65 | 3000       | 2.35      | 0.00166    | 1.75 |
| 3200   | 4.0       | 0.00266    | 1.76 | 3200       | 2.42      | 0.00171    | 1.86 |
| 3400   | 4.1       | 0.00272    | 1.87 | 3400       | 2.55      | 0.00180    | 1.98 |
| 3600   | 4.3       | 0.00286    | 1.98 | 3600       | 2.69      | 0.00190    | 2.10 |
| 3800   | 4.4       | 0.00292    | 2.09 | 3800       | 2.78      | 0.00196    | 2.21 |
| 4000   | 4.7       | 0.00312    | 2.20 | 4000       | 2.89      | 0.00204    | 2.33 |
| 4200   | 4.8       | 0.00319    | 2.31 | 4200       | 3.05      | 0.00215    | 2.45 |
| 4400   | 5.0       | 0.00332    | 2.42 | 4400       | 3.17      | 0.00223    | 2.56 |
| 4600   | 5.3       | 0.00352    | 2.53 | 4600       | 3.29      | 0.00232    | 2.68 |
| 4800   | 5.5       | 0.00365    | 2.64 | 4800       | 3.42      | 0.00241    | 2.80 |
| 4900   | 6.0       | 0.00399    | 2.69 | 4900       | 3.51      | 0.00247    | 2.85 |

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del ensayo a corte de muretes

Se procedió de la misma manera para el espécimen restante

Grafico. 5 Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical de muretes de la muestra de la ladrillera Santos Campos

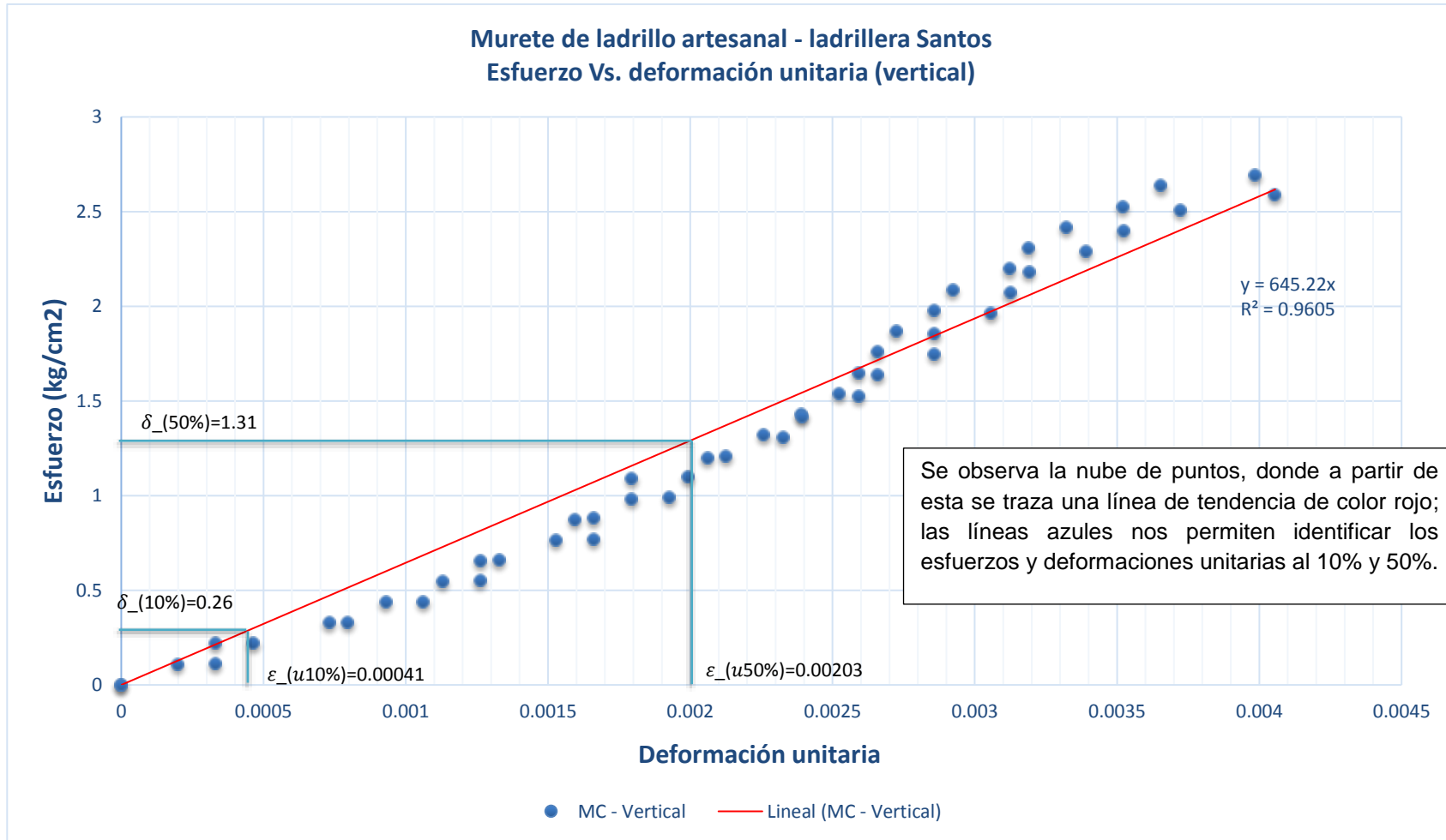
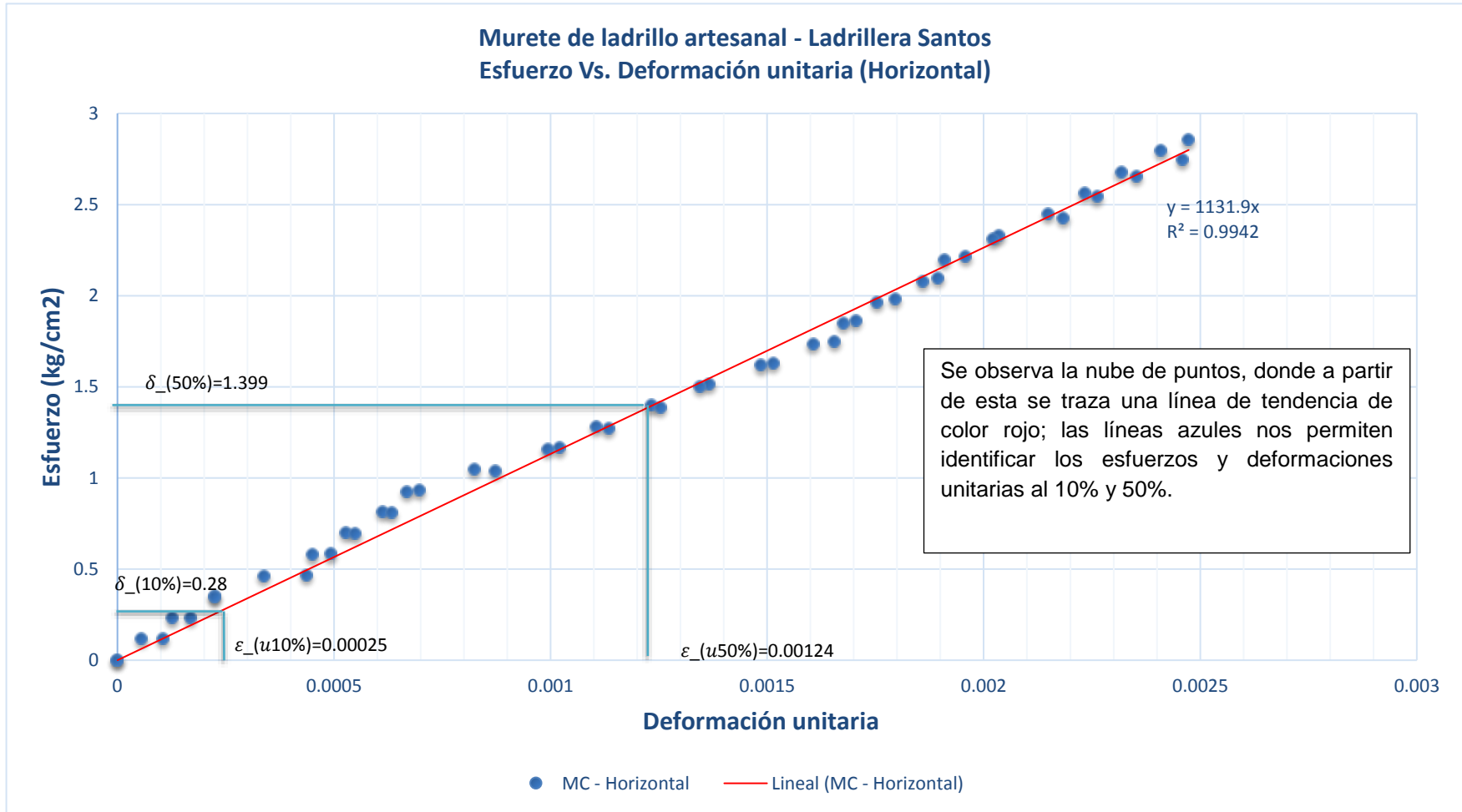


Grafico. 6 Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal de muretes de la muestra de la ladrillera Santos Campos



**Tabla. 42 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Vilchez.**

| <b>Datos muretes de la ladrillera Vilchez</b> |           |            |      |            |           |            |      |
|---|-----------|------------|------|------------|-----------|------------|------|
| MV - 01                                       |           |            |      |            |           |            |      |
| Vertical                                      |           |            |      | Horizontal |           |            |      |
| Carga (kg)                                    | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. | Carga (kg) | Def. (mm) | Def. Unit. | Esf. |
| 0   | 0.0       | 0.00000    | 0.00 | 0          | 0.0       | 0.00000    | 0.00 |
| 200   | 0.2       | 0.00014    | 0.11 | 200        | 0.1       | 0.00007    | 0.12 |
| 400   | 0.6       | 0.00042    | 0.23 | 400        | 0.2       | 0.00015    | 0.23 |
| 600   | 0.9       | 0.00062    | 0.34 | 600        | 0.3       | 0.00022    | 0.35 |
| 800   | 1.0       | 0.00069    | 0.46 | 800        | 0.3       | 0.00024    | 0.47 |
| 1000  | 1.5       | 0.00104    | 0.57 | 1000       | 0.4       | 0.00029    | 0.58 |
| 1200  | 1.8       | 0.00125    | 0.69 | 1200       | 0.5       | 0.00033    | 0.70 |
| 1400  | 1.9       | 0.00131    | 0.80 | 1400       | 0.5       | 0.00037    | 0.82 |
| 1600  | 2.0       | 0.00138    | 0.92 | 1600       | 0.6       | 0.00042    | 0.93 |
| 1800  | 2.0       | 0.00138    | 1.03 | 1800       | 0.6       | 0.00043    | 1.05 |
| 2000  | 2.1       | 0.00145    | 1.14 | 2000       | 0.7       | 0.00047    | 1.17 |
| 2200  | 2.2       | 0.00152    | 1.26 | 2200       | 0.7       | 0.00047    | 1.28 |
| 2400  | 2.5       | 0.00173    | 1.37 | 2400       | 0.7       | 0.00048    | 1.40 |
| 2600  | 2.6       | 0.00180    | 1.49 | 2600       | 0.7       | 0.00049    | 1.52 |
| 2800  | 2.8       | 0.00194    | 1.60 | 2800       | 0.7       | 0.00050    | 1.63 |
| 3000  | 3.0       | 0.00208    | 1.72 | 3000       | 0.7       | 0.00052    | 1.75 |
| 3200  | 3.1       | 0.00215    | 1.83 | 3200       | 0.8       | 0.00054    | 1.87 |
| 3400  | 3.2       | 0.00221    | 1.94 | 3400       | 0.8       | 0.00057    | 1.98 |
| 3600  | 3.2       | 0.00221    | 2.06 | 3600       | 0.8       | 0.00059    | 2.10 |
| 3800  | 3.3       | 0.00228    | 2.17 | 3800       | 0.9       | 0.00062    | 2.22 |
| 4000  | 3.5       | 0.00242    | 2.29 | 4000       | 0.9       | 0.00065    | 2.33 |
| 4200  | 3.6       | 0.00249    | 2.40 | 4200       | 1.0       | 0.00068    | 2.45 |
| 4400  | 3.8       | 0.00263    | 2.52 | 4400       | 1.0       | 0.00070    | 2.57 |
| 4600  | 3.9       | 0.00270    | 2.63 | 4600       | 1.1       | 0.00079    | 2.68 |
| 4800  | 4.0       | 0.00277    | 2.75 | 4800       | 1.2       | 0.00083    | 2.80 |
| 5000  | 4.1       | 0.00284    | 2.86 | 5000       | 1.2       | 0.00086    | 2.92 |
| 5200  | 4.3       | 0.00298    | 2.97 | 5200       | 1.3       | 0.00090    | 3.03 |
| 5400  | 4.5       | 0.00311    | 3.09 | 5400       | 1.3       | 0.00095    | 3.15 |
| 5600  | 4.6       | 0.00318    | 3.20 | 5600       | 1.4       | 0.00100    | 3.27 |
| 5800  | 4.8       | 0.00332    | 3.32 | 5800       | 1.5       | 0.00102    | 3.38 |
| 6000  | 5.0       | 0.00346    | 3.43 | 6000       | 1.5       | 0.00107    | 3.50 |
| 6200  | 5.1       | 0.00353    | 3.55 | 6200       | 1.6       | 0.00111    | 3.62 |
| 6400  | 5.3       | 0.00367    | 3.66 | 6400       | 1.6       | 0.00116    | 3.73 |
| 6600  | 5.5       | 0.00381    | 3.77 | 6600       | 1.7       | 0.00121    | 3.85 |

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del ensayo a corte de muretes

Se procedió de la misma manera para el espécimen restante

Grafico. 7 Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical de muretes de la muestra de la ladrillera Vilchez

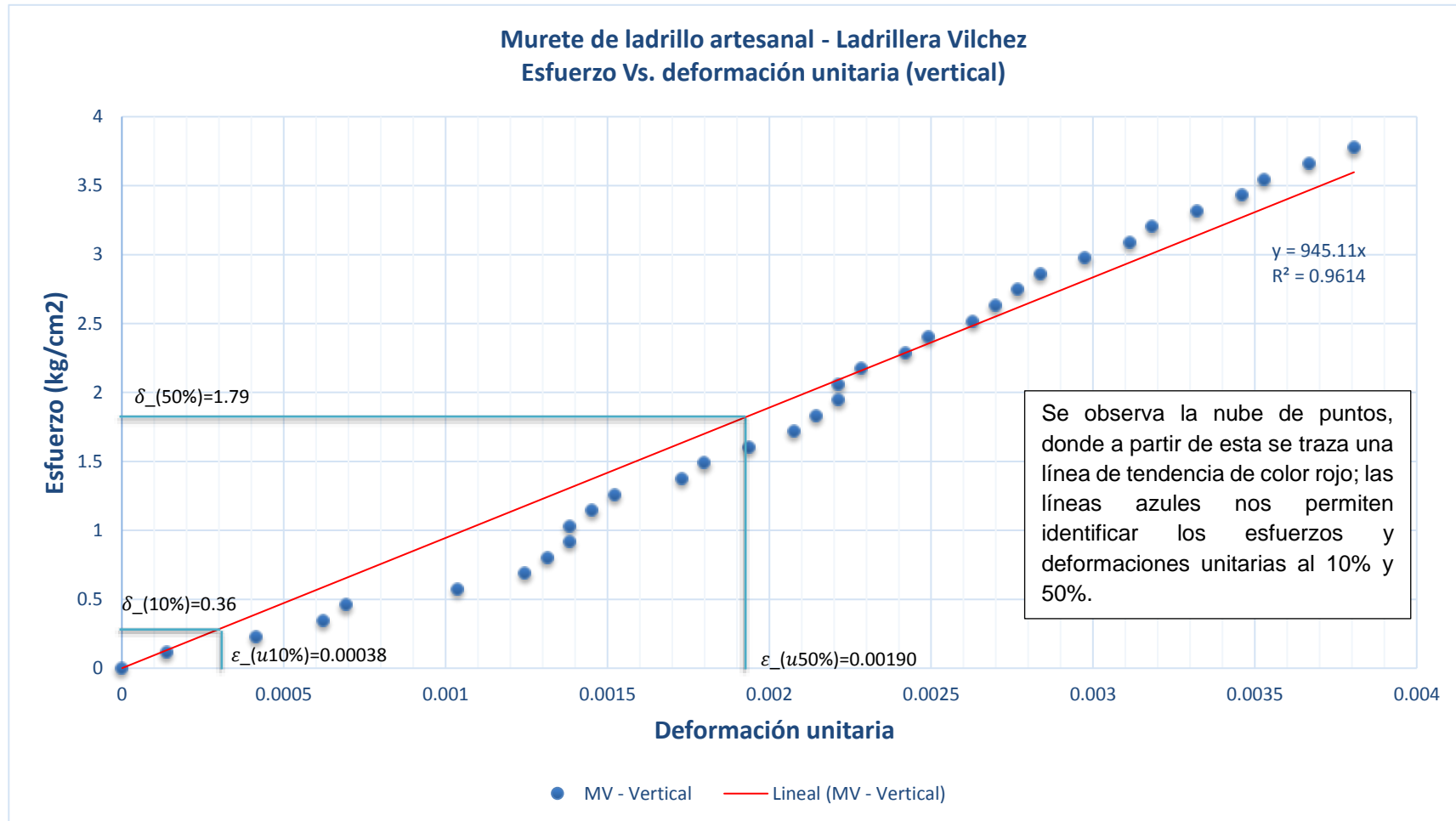
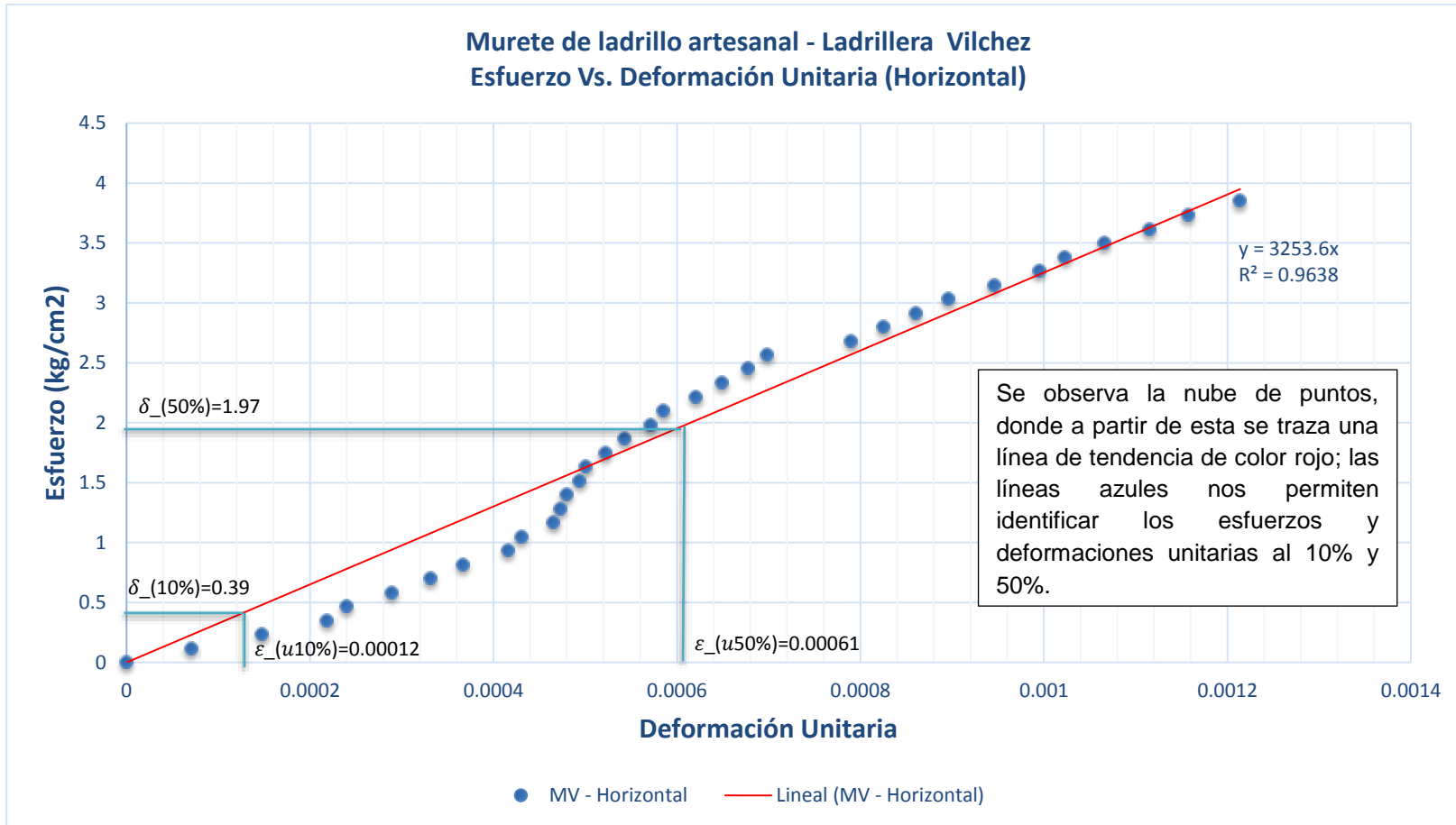




Grafico. 8 Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal de muretes de la muestra de la ladrillera Vilchez



**Tabla. 43 Cálculo del módulo de corte del ensayo en muretes de ladrillo**

| Tipo              | Vertical leído      |                     | Horizontal leído    |                     | $\delta_{10\%}$ | $\delta_{50\%}$ | Módulo de corte<br>(Gm) (kg/cm <sup>2</sup> )<br>práctica |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---|
|                   | $\epsilon_{uv10\%}$ | $\epsilon_{uv50\%}$ | $\epsilon_{uH10\%}$ | $\epsilon_{uH50\%}$ |                 |                 |   |
| <b>L. Santos</b>  | 0.00041             | 0.00203             | 0.00025             | 0.00124             | 0.28            | 1.39            | 428.77  |
| <b>L. Vilchez</b> | 0.00038             | 0.00190             | 0.00012             | 0.00061             | 0.39            | 1.97            | 786.54  |

$\epsilon_{uv}, \epsilon_{uH}$  : Deformación unitaria vertical y horizontal respectivamente leída en los gráficos anteriores

$\delta$ : Esfuerzo leído en los gráficos anteriores.

## 8. Mortero.

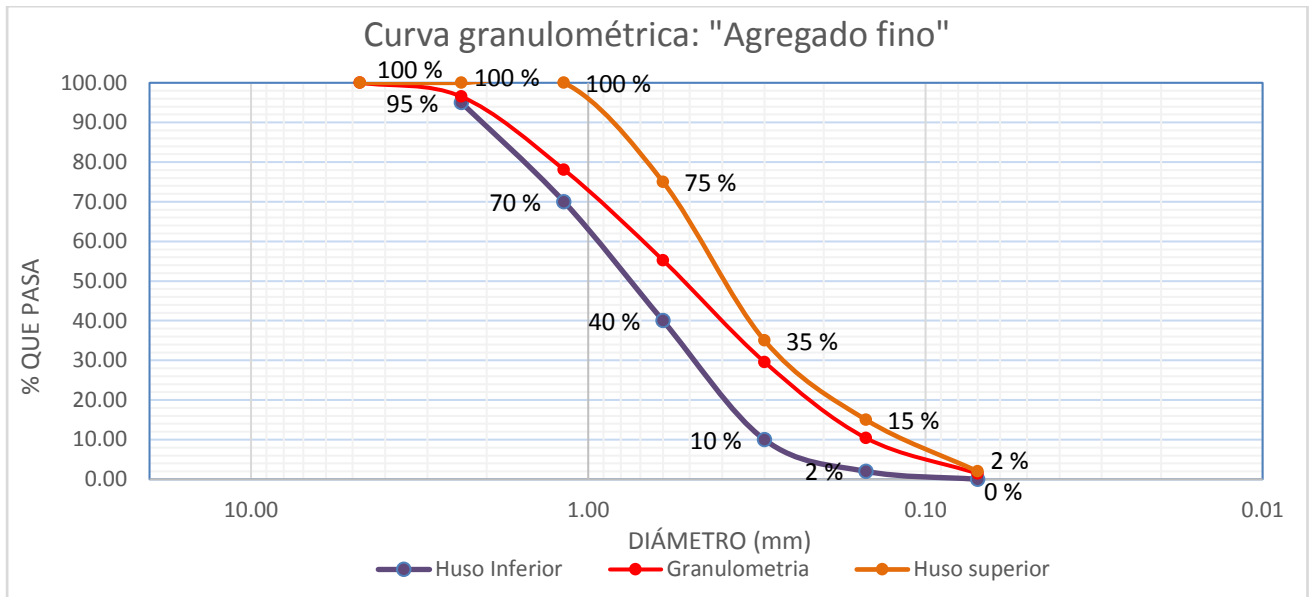
### 8.1. Propiedades del agregado fino.

#### A. Análisis Granulométrico del agregado fino.

El ensayo se realizó según la norma ASTM C33-07; el uso granulométrico es del tipo C.

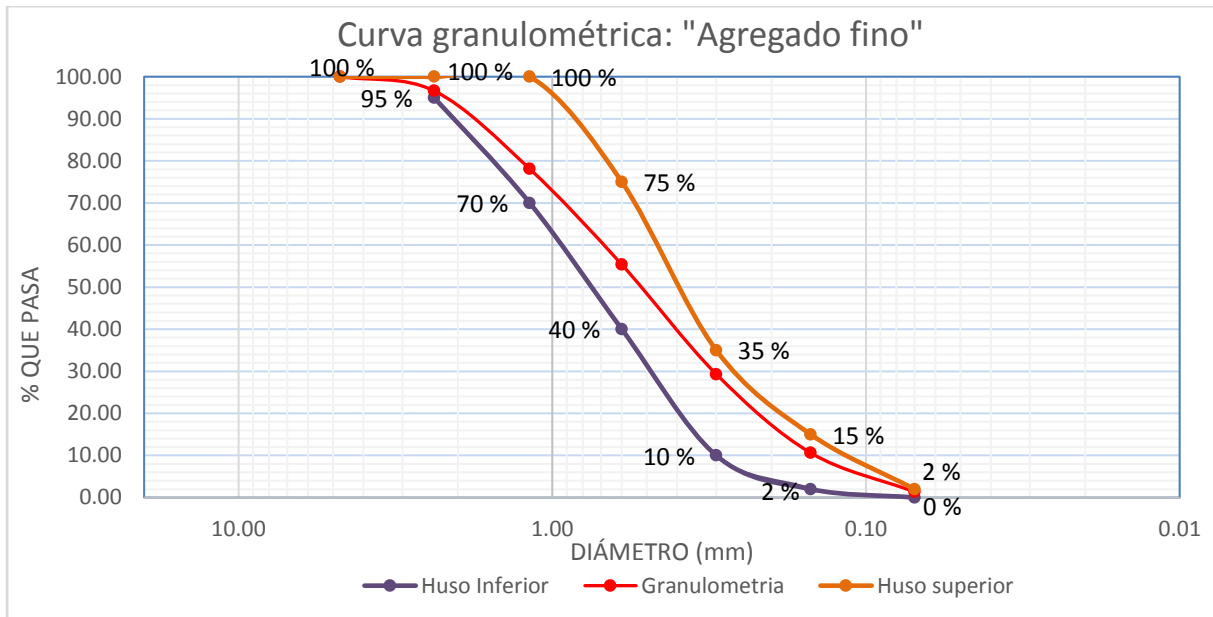
❖ Ensayo N° 01

| Peso de la muestra seca al horno = 500 gr. |                  |                          |            |                         |               |
|--|------------------|--------------------------|------------|-------------------------|---------------|
| Tamiz N°                                   | Abertura<br>(mm) | Peso<br>retenido<br>(gr) | % retenido | % Retenido<br>acumulado | % que<br>pasa |
| <b>4</b>                                   | 4.75             | 0                        | 0          | 0                       | 100           |
| <b>8</b>                                   | 2.38             | 17.4                     | 3.48       | 3.48                    | 96.52         |
| <b>16</b>                                  | 1.18             | 92.1                     | 18.42      | 21.90                   | 78.10         |
| <b>30</b>                                  | 0.6              | 114.3                    | 22.86      | 44.76                   | 55.24         |
| <b>50</b>                                  | 0.3              | 128.3                    | 25.66      | 70.42                   | 29.58         |
| <b>100</b>                                 | 0.15             | 95.9                     | 19.18      | 89.60                   | 10.40         |
| <b>200</b>                                 | 0.07             | 44.8                     | 8.96       | 98.56                   | 1.44          |
| <b>Cazoleta</b>                            |                  | 7.2                      | 1.44       | 100.00                  | 0.00          |



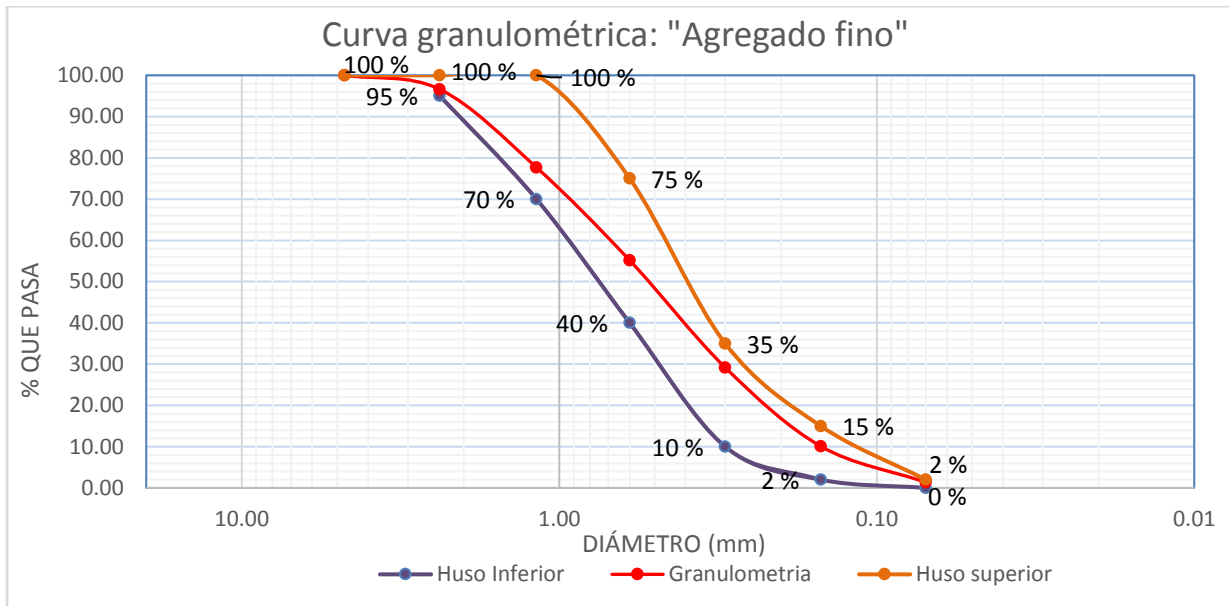
❖ **Ensayo N° 02**

| <b>Peso de la muestra seca al horno = 500 gr.</b> |                      |                           |                   |                             |                   |
|---|----------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| <b>Tamiz N°</b>                                   | <b>Abertura (mm)</b> | <b>Peso retenido (gr)</b> | <b>% retenido</b> | <b>% Retenido acumulado</b> | <b>% que pasa</b> |
| <b>4</b>  | 4.75                 | 0                         | 0.00              | 0.00                        | 100.00            |
| <b>8</b>  | 2.38                 | 16.8                      | 3.36              | 3.36                        | 96.64             |
| <b>16</b>   | 1.18                 | 92.7                      | 18.54             | 21.90                       | 78.10             |
| <b>30</b>   | 0.6                  | 113.8                     | 22.76             | 44.66                       | 55.34             |
| <b>50</b>   | 0.3                  | 130.1                     | 26.02             | 70.68                       | 29.32             |
| <b>100</b>  | 0.15                 | 93.5                      | 18.70             | 89.38                       | 10.62             |
| <b>200</b>  | 0.07                 | 46.3                      | 9.26              | 98.64                       | 1.36              |
| <b>Cazoleta</b>                                   |                      | 6.8                       | 1.36              | 100.00                      | 0.00              |



❖ Ensayo N° 03

| <b>Peso de la muestra seca al horno = 500 gr.</b> |                      |                           |                   |                             |                   |
|---|----------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| <b>Tamiz N°</b>                                   | <b>Abertura (mm)</b> | <b>Peso retenido (gr)</b> | <b>% retenido</b> | <b>% Retenido acumulado</b> | <b>% que pasa</b> |
| <b>4</b>  | 4.75                 | 0                         | 0                 | 0                           | 100               |
| <b>8</b>  | 2.38                 | 16.9                      | 3.38              | 3.38                        | 96.62             |
| <b>16</b>   | 1.18                 | 94.7                      | 18.94             | 22.32                       | 77.68             |
| <b>30</b>   | 0.6                  | 112.6                     | 22.52             | 44.84                       | 55.16             |
| <b>50</b>   | 0.3                  | 129.9                     | 25.98             | 70.82                       | 29.18             |
| <b>100</b>  | 0.15                 | 95.4                      | 19.08             | 89.90                       | 10.10             |
| <b>200</b>  | 0.07                 | 43.6                      | 8.72              | 98.62                       | 1.38              |
| <b>Cazoleta</b>                                   |                      | 6.9                       | 1.38              | 100.00                      | 0.00              |



## B. Módulo de fineza

De la granulometría anterior, para calcular el módulo de finura, se suma los porcentajes retenidos acumulados en las mallas estándar y se divide entre cien (100), se encontraron los siguientes resultados.

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| Ensayo N° 01    | mf = 2.30        |
| Ensayo N° 02    | mf = 2.30        |
| Ensayo N° 03    | mf = 2.31        |
| <b>Promedio</b> | <b>mf = 2.30</b> |

## C. Peso específico y absorción.

El ensayo se realizó según la norma ASTM C128-07

| Descripción   | Ensayo 1   | Ensayo 2   | Ensayo 3   |                 |
|---|------------|------------|------------|-----------------|
| peso de la fiola  | 200.10 gr  | 200.10 gr  | 200.10 gr  |                 |
| Peso de la muestra saturada con superficie seca                                 | 500.00 gr  | 500.00 gr  | 500.00 gr  |                 |
| Peso de la muestra saturada con superficie seca +peso de la fiola               | 700.10 gr  | 700.10 gr  | 700.10 gr  |                 |
| Peso de la muestra saturada con superficie seca+ peso de la fiola+peso del agua | 1010.10 gr | 1009.80 gr | 1009.30 gr |                 |
| Volumen de agua añadida (Va)  | 310.0 cm3  | 309.7 cm3  | 309.2 cm3  | <b>Promedio</b> |
| Peso de la arena seca (Wo)  | 490.1 gr   | 489.9 gr   | 490.8 gr   |                 |
| Volumen de la fiola (V)   | 500.0 cm3  | 500.0 cm3  | 500.0 cm3  |                 |

|  |                         |                         |                         |                         |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $P_{masa} = W_o / (V - V_a)$               | 2.58 gr/cm <sup>3</sup> | 2.57 gr/cm <sup>3</sup> | 2.57 gr/cm <sup>3</sup> | 2.58 gr/cm <sup>3</sup> |
| $P_{esss} = 500 / (V - V_a)$               | 2.63 gr/cm <sup>3</sup> | 2.63 gr/cm <sup>3</sup> | 2.62 gr/cm <sup>3</sup> | 2.63 gr/cm <sup>3</sup> |
| $P_{ea} = W_o / [(V - V_a) - (500 - W_o)]$ | 2.72 gr/cm <sup>3</sup> | 2.72 gr/cm <sup>3</sup> | 2.70 gr/cm <sup>3</sup> | 2.71 gr/cm <sup>3</sup> |
| $Abs = [(500 - W_o) * 100] / W_o$          | 2.02%                   | 2.06%                   | 1.87%                   | 1.99%                   |

#### D. Contenido de humedad (W%)

| Ensayo N°                     | 1     | 2     | 3     |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso muestra húmeda           | 1000  | 1000  | 1000  |
| Peso muestra seca             | 967.1 | 961.3 | 965.5 |
| Contenido de humedad %        | 3.40% | 4.03% | 3.57% |
| Peso unitario suelto promedio | 3.67% |       |       |

#### E. Peso unitario

Estos ensayos se realizaron acorde a la norma ASTM C29/C29M - 07

##### ➤ Peso Unitario suelto seco

|                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| V. Agua en el molde | 9884.44 cm <sup>3</sup> |
| P. agua en el molde | 9.88 kg                 |
| Factor              | 101.17                  |

| Ensayo N°                                      | 1                         | 2       | 3       |
|--|---------------------------|---------|---------|
| Peso del molde (kg)                            | 4.215                     | 4.215   | 4.215   |
| Peso del molde + material (kg)                 | 18.53                     | 18.5    | 18.47   |
| Peso de material (kg)                          | 14.315                    | 14.285  | 14.255  |
| Factor (F)                                     | 101.17                    | 101.17  | 101.17  |
| Peso unitario suelto seco (kg/m <sup>3</sup> ) | 1448.24                   | 1445.20 | 1442.17 |
| Peso unitario suelto promedio                  | 1445.20 kg/m <sup>3</sup> |         |         |

##### ➤ Peso unitario seco compactado

|                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| V. Agua en el molde | 9884.44 cm <sup>3</sup> |
| P. agua en el molde | 9.88 kg                 |
| Factor              | 101.17                  |

| Ensayo N°  | 1                         | 2       | 3       |
|--|---------------------------|---------|---------|
| Peso del molde (kg)                                | 4.215                     | 4.215   | 4.215   |
| Peso del molde + material (kg)                     | 20.2                      | 19.5    | 20.7    |
| Peso de material (kg)                              | 15.985                    | 15.285  | 16.485  |
| Factor (F)   | 101.17                    | 101.17  | 101.17  |
| Peso unitario seco compactado (kg/m <sup>3</sup> ) | 1617.19                   | 1546.37 | 1667.77 |
| Peso unitario seco compactado promedio             | 1610.44 kg/m <sup>3</sup> |         |         |

## 8.2. Diseño analítico del mortero.

|                                | <b>Cemento</b> | <b>Agregado fino</b> | <b>A/C</b> |                    |
|--------------------------------|----------------|----------------------|------------|--------------------|
| <b>Proporción del mortero:</b> | 1              | 4                    | 0.9        | (Volumen aparente) |

### Cemento

|                   |                         |            |
|-------------------|-------------------------|------------|
| Tipo :            | I                       | ASTM C-150 |
| Peso específico : | 3.12 gr/cm <sup>3</sup> |            |

### Características del agregado fino:

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| Peso específico de masa       | 2.58 gr/cm <sup>3</sup>   |
| Peso unitario suelto seco     | 1445.20 kg/m <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado seco | 1610.44 kg/m <sup>3</sup> |
| Contenido de humedad (%)      | 3.67                      |
| Absorción (%)                 | 1.99                      |
| Módulo de finura              | 2.30                      |

### Cantidad de materiales en base a una bolsa de cemento (secos)

|              |           |
|--------------|-----------|
| Cemento      | 42.50 Kg  |
| A. fino      | 163.69 Kg |
| Agua Añadida | 38.25 lt  |

### Volúmenes absolutos

|              |                         |
|--------------|-------------------------|
| Cemento      | 0.013622 m <sup>3</sup> |
| A. fino      | 0.063447 m <sup>3</sup> |
| Agua Añadida | 0.038250 m <sup>3</sup> |
| Suma         | 0.115318 m <sup>3</sup> |

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| Aire 3.5 % | 0.004036 m <sup>3</sup> |
|------------|-------------------------|

**Volumen total 0.119355 m<sup>3</sup>**

### Factor cemento

$$F.C. = 1 / \text{volumen total} = 8.378 \text{ bolsas}$$

### Materiales por m<sup>3</sup> (secos)

|              |            |
|--------------|------------|
| Cemento      | 356.08 Kg  |
| A. fino      | 1371.48 Kg |
| Agua Añadida | 320.47 lt  |

### Materiales por m<sup>3</sup> (húmedos)

|                |            |
|----------------|------------|
| Cemento        | 356.08 Kg  |
| A. fino        | 1421.81 Kg |
| Agua de diseño | 297.43 lt  |

### Proporción en peso de la mezcla en obra

|  | <b>Cemento</b> | <b>Agregado fino</b> | <b>A/C</b> |
|--|----------------|----------------------|------------|
|  | 1              | 3.993                | 0.835      |

### 8.3. Cálculo de la resistencia a compresión del mortero.

*Tabla. 44 Calculo resistencia a la compresión de las probetas de mortero.*

| Espécimen                                      | Carga (Kg) | Diámetro (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Resistencia del mortero Mpa (28 días) | Resistencia del mortero kg/cm <sup>2</sup> (28 días) |
|--|------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|--|
| Mortero 1                                      | 3550       | 5.08          | 20.27                   | 17.18                                 | 175.15   |
| Mortero 2                                      | 3480       | 5.08          | 20.27                   | 16.84                                 | 171.70   |
| Mortero 3                                      | 3450       | 5.08          | 20.27                   | 16.69                                 | 170.22   |
| Mortero 4                                      | 3390       | 5.08          | 20.27                   | 16.40                                 | 167.26   |
| Mortero 5                                      | 3410       | 5.08          | 20.27                   | 16.50                                 | 168.24   |
| Mortero 6                                      | 3640       | 5.08          | 20.27                   | 17.61                                 | 179.59   |
| Mortero 7                                      | 3150       | 5.08          | 20.27                   | 15.24                                 | 155.42   |
| Mortero 8                                      | 3200       | 5.08          | 20.27                   | 15.48                                 | 157.88   |
| Mortero 9                                      | 3710       | 5.08          | 20.27                   | 17.95                                 | 183.04   |
| Mortero 10                                     | 3350       | 5.08          | 20.27                   | 16.21                                 | 165.28   |
| Mortero 11                                     | 3610       | 5.08          | 20.27                   | 17.47                                 | 178.11   |
| Mortero 12                                     | 3420       | 5.08          | 20.27                   | 16.55                                 | 168.74   |
| Mortero 13                                     | 3350       | 5.08          | 20.27                   | 16.21                                 | 165.28   |
| Mortero 14                                     | 3510       | 5.08          | 20.27                   | 16.98                                 | 173.18   |
| Mortero 15                                     | 3400       | 5.08          | 20.27                   | 16.45                                 | 167.75   |
| Mortero 16                                     | 3110       | 5.08          | 20.27                   | 15.05                                 | 153.44   |
| Mortero 17                                     | 3220       | 5.08          | 20.27                   | 15.58                                 | 158.87   |
| Mortero 18                                     | 3660       | 5.08          | 20.27                   | 17.71                                 | 180.58   |
| Mortero 19                                     | 3450       | 5.08          | 20.27                   | 16.69                                 | 170.22   |
| Mortero 20                                     | 3250       | 5.08          | 20.27                   | 15.72                                 | 160.35   |
| Mortero 21                                     | 3480       | 5.08          | 20.27                   | 16.84                                 | 171.70   |
| Mortero 22                                     | 3200       | 5.08          | 20.27                   | 15.48                                 | 157.88   |
| Mortero 23                                     | 3300       | 5.08          | 20.27                   | 15.97                                 | 162.82   |
| Mortero 24                                     | 3450       | 5.08          | 20.27                   | 16.69                                 | 170.22   |
| Mortero 25                                     | 3400       | 5.08          | 20.27                   | 16.45                                 | 167.75   |
| Mortero 26                                     | 3600       | 5.08          | 20.27                   | 17.42                                 | 177.62   |
| Mortero 27                                     | 3810       | 5.08          | 20.27                   | 18.43                                 | 187.98   |
| Mortero 28                                     | 3500       | 5.08          | 20.27                   | 16.93                                 | 172.68   |
| Mortero 29                                     | 3530       | 5.08          | 20.27                   | 17.08                                 | 174.16   |
| Mortero 30                                     | 3320       | 5.08          | 20.27                   | 16.06                                 | 163.80   |
| <b>Promedio resistencia f<sub>c</sub></b>      |            |               |                         | 16.60 Mpa                             | 169.23 Kg/cm <sup>2</sup>                            |
| <b>Desviación estándar <math>\sigma</math></b> |            |               |                         | 0.82 Mpa                              | 8.36 Kg/cm <sup>2</sup>                              |
| <b>Resistencia compresión f'<sub>c</sub></b>   |            |               |                         | 15.78 Mpa                             | 160.87 Kg/cm <sup>2</sup>                            |
| <b>Coefficiente de variación (%)</b>           |            |               |                         | 4.94%                                 | 4.94%  |



## Anexo B. Panel fotográficos



*Foto. 1 Transporte de los ladrillos de la ladrillera del señor Santos Campos*



**Foto. 2 Transporte de los ladrillos de la ladrillera del señor Jhon Vilchez**



**Foto. 3 Medición del largo, ancho y alto de las unidades de albañilería**



**Foto. 4 Medición del alabeo**



**Foto. 5 Ensayo a compresión de unidades de albañilería.**



**Foto. 6 Ladrillo soportado por varillas –ensayo de succión**



**Foto. 7 Registro del peso después de ser sumergidos en agua- ensayo absorción**



**Foto. 8 Construcción de las pilas**



**Foto. 9 Falla típica de las pilas de ladrillo**



**Foto. 10 Control de la junta del murete**



**Foto. 11 Falla típica de los muretes de ladrillo de arcilla**



**Foto. 12 Ensayo del peso específico de la arena**



**Foto. 13 Ensayo de granulometría**





**Foto. 14 Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado fino**



**Foto. 15 Ensayo de peso unitario compactado seco del agregado fino**





**Foto. 16 Falla en el mortero**



**Foto. 17 Comprobación del contenido de aire en la mezcla en la olla de Washington**