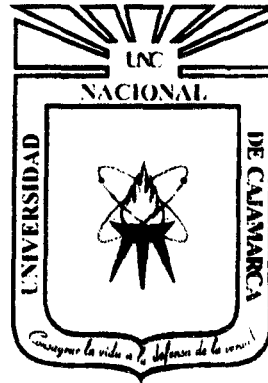


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS  
DEL LADRILLO DE ARCILLA ELABORADO EN EL  
CENTRO POBLADO MENOR DE OTUZCO Y LADRILLO  
INDUSTRIALES REX”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**STALIN JESÚS RUIZ RIVERA**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO**

**CAJAMARCA PERÚ**

**2015**

## DEDICATORIA

A mi padre Dolores Ruiz Fernández, a mi madre, Julbia Consuelo Rivera Fernández, a mis hermanas Marlith, Edith y Lizbeth, dedico esta tesis con todo cariño y amor porque hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba a ustedes por siempre mi corazón y eterno aprecio.

A mis amigos y amigas por su cariño, aprecio, consejos y más el cual ha permitido para crecer de manera personal.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermanas, por su apoyo moral, económico, por ayudarme a llegar a donde estoy y por enseñarme a ser mejor persona cada día.

A mi asesor de tesis Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, por su ayuda desinteresada en la revisión y contribución en presente trabajo de investigación.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, por impartir sus conocimientos, el cual me ha permitido realizar este trabajo de investigación.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Hipótesis general	2
Variables independientes	2
Variables dependientes	2
1.4. Operacionalización de variables	3
1.5. Justificación de la investigación	4
1.6. Alcances y limitaciones	4
1.6.1. Alcances	4
1.6.2. Limitaciones	5
1.7. Objetivos	5
1.7.1. Objetivo general	5
1.7.2. Objetivos específicos	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>6</b>
2.1. ANTECEDENTES	6
2.1.1. Internacionales	6
2.1.2. Nacionales	8
2.1.3. Locales	12
2.2. MARCO NORMATIVO PERUANO	13
2.2.1. Normas Técnicas Peruanas	13
2.2.2. Norma Técnica Peruana E-070	13
2.2.3. Norma Técnica Peruana E-030	13
2.3. MARCO TEÓRICO	14
2.3.1. Evolución histórica del ladrillo	14
2.3.2. Características de la albañilería	15
2.3.3. Tipos de albañilería y especificaciones reglamentarias	16

<b>A.</b>	<b>Clasificación por la función estructural.</b>	<b>16</b>
a.	<b>Muros portantes.</b>	<b>16</b>
b.	<b>Muros no portantes</b>	<b>17</b>
<b>B.</b>	<b>Clasificación por la distribución del refuerzo.</b>	<b>17</b>
a.	<b>Muros no reforzados o de albañilería simple.</b>	<b>17</b>
b.	<b>Muros reforzados (armados, laminares y confinados)</b>	<b>19</b>
•	<b>Muros armados</b>	<b>19</b>
•	<b>Muros laminares o sándwich</b>	<b>20</b>
•	<b>Albañilería confinada</b>	<b>21</b>
<b>2.3.4.</b>	<b>Componentes de albañilería</b>	<b>24</b>
<b>A.</b>	<b>Unidad de albañilería.</b>	<b>24</b>
<b>B.</b>	<b>Tipología.</b>	<b>24</b>
a.	<b>Unidades sólidas o macizas.</b>	<b>25</b>
b.	<b>Unidades huecas.</b>	<b>25</b>
c.	<b>Unidades tubulares o pandereta.</b>	<b>26</b>
d.	<b>Limitaciones de la aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería.</b>	<b>26</b>
<b>C.</b>	<b>Unidades de Arcilla.</b>	<b>27</b>
a.	<b>Materia prima.</b>	<b>27</b>
b.	<b>Clasificación de los ladrillos de arcilla.</b>	<b>28</b>
c.	<b>Fabricación</b>	<b>28</b>
<b>D.</b>	<b>Unidades calcáreas.</b>	<b>30</b>
<b>E.</b>	<b>Unidades de concreto.</b>	<b>31</b>
<b>F.</b>	<b>Propiedades Físicas y Mecánicas.</b>	<b>32</b>
✓	<b>Variabilidad dimensional</b>	<b>32</b>
✓	<b>Alabeo.</b>	<b>33</b>
✓	<b>Absorción.</b>	<b>33</b>
✓	<b>Succión.</b>	<b>33</b>
✓	<b>Porcentaje de vacíos.</b>	<b>34</b>
✓	<b>Resistencia a la compresión.</b>	<b>35</b>
✓	<b>Módulo de elasticidad.</b>	<b>36</b>
<b>G.</b>	<b>Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales.</b>	<b>37</b>

H.	Limitaciones en su aplicación.	38
I.	Tecnología del mortero.	39
a.	Componentes del mortero.	40
✓	Cemento.	40
✓	Agregado grueso.	40
✓	Cal hidratada.	41
✓	Agua.	42
b.	Ensayo a la compresión.	42
c.	Propiedades	42
✓	Fluidez.	42
✓	Retentividad.	42
d.	Clasificación de las proporciones.	42
J.	Acero de refuerzo.	44
K.	Concreto.	44
2.3.5.	Propiedades de la albañilería simple	44
a.	Modelaje, especímenes y ensayos.	44
b.	Naturaleza de la albañilería y criterios de falla.	45
c.	Ensayo de prismas (pilas)	46
d.	Ensayo de muretes.	49
2.3.6.	Comportamiento sísmico	52
2.3.7.	Incidencia de las propiedades mecánicas del ladrillo y mortero en la resistencia de muros.	54
2.4.	MARCO CONCEPTUAL	55
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		57
3.1.	MATERIALES Y EQUIPOS	57
A.	Materiales	57
B.	Equipos	57
3.2.	MÉTODOS	58
3.2.1.	Metodología de la investigación	58
a.	Localización de la investigación.	58
b.	Periodo de investigación.	61
c.	Tipo de investigación	61
d.	Diseño de la investigación	61

e.	Población.	61
f.	Muestra.	61
g.	Técnica del muestreo.	61
h.	Instrumentos de recolección de datos.	61
i.	Procesamiento y análisis de datos	62
3.2.2.	Procedimientos de la investigación	62
A.	Ensayo de granulometría de la arena.	62
B.	Ensayos clasificatorios del ladrillo	62
a.	Variación dimensional	63
b.	Alabeo	64
c.	Compresión simple	64
o	Cálculo del módulo de elasticidad (Eb) en ladrillos de arcilla.	65
C.	Ensayos no clasificados de ladrillo	66
a.	Ensayos de succión.	66
b.	Ensayos de absorción	67
c.	Porcentaje de área de huecos	67
D.	Prismas de albañilería	68
a.	Pilas	69
✓	Procedimientos de construcción	69
✓	Montaje e instrumentación	69
✓	Cálculo de la resistencia a compresión axial.	69
✓	Cálculo del módulo de elasticidad en Pilas (Em)	71
b.	Muretes	72
✓	Procedimiento de construcción	72
✓	Peso volumétrico de la albañilería	73
✓	Instrumentación y montaje	73
✓	Calculo de la resistencia al corte en muretes.	73
✓	Calculo del Módulo de corte (Gm)	74
E.	Diseño Analítico del mortero.	75
a.	Resistencia a la compresión	75
✓	Módulo de elasticidad del mortero (E'm).	76
b.	Resistencia al corte (Rc)	77
	<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>78</b>

4.1.	Descripción de las unidades de albañilería ensayadas.	78
a.	Variación dimensional	79
b.	Alabeo	81
c.	Compresión simple	81
✓	Módulo de elasticidad ( $E_b$ )	82
4.3.	Ensayos no clasificatorios de ladrillo	83
a.	Ensayo de succión	83
b.	Ensayo de absorción	84
c.	Porcentaje de área de huecos	85
4.4.	Prismas de albañilería	85
a.	Pilas	85
✓	Ensayo a la Resistencia a Compresión Axial	85
✓	Módulo de elasticidad en Pilas.	87
b.	Muretes	87
✓	Calculo del peso volumétrico de los muretes.	87
✓	Ensayo a la resistencia al corte de los muretes.	88
✓	Módulo de corte en muretes ( $G_m$ )	89
✓	Comparación de las resistencias de pilas y muretes	89
4.5.	Mortero.	91
a)	Ensayo a compresión axial de las probetas de mortero y cálculo del módulo de elasticidad.	91
✓	Resultado del módulo de elasticidad del mortero.	92
b)	Ensayo a corte de mortero (tripletes)	92
4.6.	Contraste de hipótesis.	93
<b>CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>94</b>
A.	Conclusiones	94
B.	Recomendaciones	96
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>97</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>99</b>
<b>Anexo A. Procesamiento de Datos</b>		<b>99</b>
1.	<i>Cálculo de la variación dimensional del ladrillo.</i>	99
2.	<i>Cálculo del alabeo del ladrillo.</i>	101
3.	<i>Cálculo de la resistencia a compresión del ladrillo.</i>	103



3.1. Cálculo del módulo de elasticidad. -----	105
4. Cálculo de la succión del ladrillo. -----	110
5. Cálculo de la absorción del ladrillo. -----	112
6. Cálculo del porcentaje de huecos del ladrillo industrial.-----	114
7. Cálculo de la resistencia a compresión en pilas ( $f'm$ ).-----	115
7.1. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas.-----	117
8. Cálculo de la resistencia corte en muretes ( $v'm$ ).-----	122
8.1. Cálculo del módulo de corte en muretes. -----	124
9. Mortero. -----	130
9.1. Propiedades del agregado fino. -----	130
9.2. Diseño analítico del mortero. -----	136
9.3. Cálculo de la resistencia a compresión del mortero. -----	137
✓ Cálculo del módulo de elasticidad del mortero. -----	138
9.4. Cálculo de la resistencia al corte en tripletes.-----	140
Anexo B: Panel fotográfico-----	141
Anexo C: Control estadístico de resistencia de los ladrillos (Deducción del $f'b$ )-----	152

## FIGURAS

Fig. 1: Modelaje de Tabiques de Albañilería (San Bartolomé, A. 1994)-----	17
Fig. 2: Fuerza cortante admisible "Va" (San Bartolomé, A. 1994) -----	18
Fig. 3: Espesor Efectivo de un muro: "t" (San Bartolomé, A. 1994).-----	19
Fig. 4. Muro con refuerzo Horizontal y vertical. -----	19
Fig. 5. Sección transversal Muro Laminar o Sandwich (San Bartolomé, A. 1994)-----	20
Fig. 6. Muros confinados de ladrillos de arcilla. -----	21
Fig. 7. Requisitos mínimos para que un muro se considere confinado (San Bartolomé, A. 1994)-----	22
Fig. 8. Disposición Mínima de estribos (San Bartolomé, A. 1994)-----	23
Fig. 9. Unidades de Albañilería sólida o maciza.-----	25
Fig. 10. Unidad de albañilería hueca. -----	25
Fig. 11. Unidades de albañilería huecas. -----	26

<b>Fig. 12. Unidades de arcilla.</b> -----	<b>28</b>
<b>Fig. 13. Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera industrial.</b> -----	<b>29</b>
<b>Fig. 14. Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera artesanal en Santa Bárbara - Cajamarca</b> -----	<b>30</b>
<b>Fig. 15. Unidades sólidas Sílico-Calcareas.</b> -----	<b>31</b>
<b>Fig. 16. Unidades de Concreto.</b> -----	<b>31</b>
<b>Fig. 17. Curvas normalizadas esfuerzo de compresión (<math>f'b</math>) vs. Deformación unitaria de unidades ensayadas en compresión.</b> -----	<b>36</b>
<b>Fig. 18. Prisma (pila) estándar para el ensayo de compresión (Gallegos, H y Casabonne, C. 2005)</b> -----	<b>46</b>
<b>Fig. 19. Esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de la carga unitaria axial. (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).</b> -----	<b>48</b>
<b>Fig. 20. Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).</b> -----	<b>50</b>
<b>Fig. 21. Esquema de deformación del espécimen (murete) (Gallegos, H y Casabonne, C. 2005)</b> -----	<b>51</b>
<b>Fig. 22. Grafica para el cálculo experimental del Rd. (San Bartolomé, A. 1994)</b> -	<b>53</b>
<b>Fig. 23. Fotografía satelital de la ubicación del estudio</b> -----	<b>58</b>
<b>Fig. 24: Ubicación de la ladrillera artesanal del plan Miraflores del Centro Poblado de Otuzco.</b> -----	<b>59</b>
<b>Fig. 25: Ubicación de la ladrillera industrial Rex de la ciudad de Lima</b> ---	<b>60</b>
<b>Fig. 26. Ladrillo de arcilla fabricado artesanalmente por la ladrillera del señor Andrés Chilón en el Plan Miraflores del centro poblado menor de Otuzco.</b> -----	<b>79</b>
<b>Fig. 27. Ladrillo de arcilla fabricado industrialmente por la fábrica “Rex” de la ciudad de Lima</b> -----	<b>79</b>
<b>Fig. 28. Análisis granulométrico de la arena gruesa en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería.</b> -----	<b>141</b>
<b>Fig. 29. Ladrillo de arcilla fabricado artesanalmente por la ladrillera del señor Andrés Chilón en el Plan Miraflores del centro poblado menor de Otuzco.</b> -----	<b>141</b>

<b>Fig. 30. Ladrillo de arcilla fabricado industrialmente por la fábrica “Rex” de la ciudad de Lima.</b> -----	<b>142</b>
<b>Fig. 31. Secado y limpieza de ladrillo artesanal e industrial</b> -----	<b>142</b>
<b>Fig. 32. Medición del largo, ancho y alto de las unidades de albañilería</b>	<b>142</b>
<b>Fig. 33. Medición del alabeo.</b> -----	<b>143</b>
<b>Fig. 34. Secado, registro de peso y medición de los lados de las unidades</b> -----	<b>143</b>
<b>Fig. 35. Ensayo a compresión de unidades de albañilería.</b> -----	<b>143</b>
<b>Fig. 36. Secado y registro del peso de los ladrillos</b> -----	<b>144</b>
<b>Fig. 37. Succión del ladrillo y peso después de la inmersión del ladrillo.</b> -----	<b>144</b>
<b>Fig. 38. Absorción en ladrillos de arcilla.</b> -----	<b>144</b>
<b>Fig. 39. Arena en los huecos.</b> -----	<b>145</b>
<b>Fig. 40. Construcción de las Pilas de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial)</b> -----	<b>145</b>
<b>Fig. 41. Montaje e instrumentación para el ensayo de pilas de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial)</b> -----	<b>145</b>
<b>Fig. 42. Falla típica de las pilas de ladrillo del Sector Plan Miraflores del CP. Otuzco</b> -----	<b>146</b>
<b>Fig. 43. Falla típica las pilas de ladrillos Industriales REX</b> -----	<b>146</b>
<b>Fig. 44. Construcción de muretes de ladrillo de arcilla (Industrial y Artesanal)</b> -----	<b>146</b>
<b>Fig. 45. Muretes de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial)</b> -----	<b>147</b>
<b>Fig. 46. Muretes de ladrillo de arcilla con capa de yeso en las esquinas.</b> -----	<b>147</b>
<b>Fig. 47. Muretes, listos para ser ensayados en la maquina universal de péndulo.</b> -----	<b>148</b>
<b>Fig. 48. Deflectómetros anexados a soportes universales, para medir deformación.</b> -----	<b>148</b>
<b>Fig. 49. Falla típica de los muretes de ladrillo del Sector Plan Miraflores del C.P. Otuzco</b> -----	<b>149</b>
<b>Fig. 50. Falla típica de los muretes de ladrillos industriales Rex</b> -----	<b>149</b>
<b>Fig. 51. Especímenes de mortero (ensayo a la compresión).</b> -----	<b>149</b>

Fig. 52. Ensayo a la compresión de Especímenes de mortero.-----	149
Fig. 53. Tripletes de albañilería para ensayo al corte de mortero.-----	150
Fig. 54. Ensayo de tripletes de albañilería -----	150
Fig. 55. Falla en los ladrillos artesanales -----	150
Fig. 56. Falla en los ladrillos Industriales-----	151
Fig. 57: Muestra la curva normal para diferentes valores de $\sigma$ -----	153
Fig. 58: Probabilidades de ocurrencia-----	155

### TABLAS

Tabla 1. Limitaciones de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería. -----	27
Tabla 2. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales. -----	38
Tabla 3. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.-----	39
Tabla 4. Granulometría de la arena gruesa -----	41
Tabla 5. Tipos de mortero, NTP E- 070-----	43
Tabla 6 Tipos de morteros, ASTM C – 270 -----	43
Tabla 7. Factores de corrección $f'm$ por esbeltez -----	48
<i>Tabla 8. Características de los ladrillos artesanales del sector Plan Miraflores del CP Otuzco – Cajamarca y ladrillos industriales Rex-----</i>	<i>78</i>
Tabla 9. Resultados del ensayo de variación dimensional.-----	80
Tabla 10. Resultados del ensayo de alabeo del ladrillo. -----	81
Tabla 11. Resultados de los Ensayos de compresión del ladrillo -----	82
Tabla 12: Resultados de módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal e Industrial -----	83
Tabla 13. Resultados del ensayo de Succión de ladrillo. -----	84
Tabla 14. Resultados de ensayo de absorción de ladrillo-----	84
Tabla 15. Resultado del ensayo de porcentaje de área de huecos del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima.-----	85
Tabla 16. Resultados del ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo-----	86
Tabla 17. Resultados del peso volumétrico de muretes de ladrillo. -----	87

Tabla 18. Resultados de ensayos a la resistencia de corte de muretes del ladrillo.-----	88
Tabla 19. Diferencias entre cálculos prácticos y teóricos del $f_m$ , $E_m$ y $G_m$ -----	90
Tabla 20. Análisis de resistencia al corte. -----	91
Tabla 21. Resultados de los Ensayos de compresión del mortero.-----	92
Tabla 22: Ensayo de tripletes.-----	92
Tabla 23. Ensayo de variación dimensional del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.-----	99
Tabla 24. Ensayo de variación dimensional del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima-----	100
Tabla 25. Ensayo de alabeo del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco. -----	101
Tabla 26. Ensayo de alabeo del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima -----	102
Tabla 27. Ensayo de compresión del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco. -----	103
Tabla 28. Ensayo de compresión del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima -----	104
Tabla 29: Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco.----	105
Tabla 30: Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación ladrillo industrial Rex de Lima. -----	107
Tabla 31: Módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal e Industrial-----	110
Tabla 32. Ensayo de Succión del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco. -----	110
Tabla 33. Ensayo de Succión del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima -----	111
Tabla 34. Ensayo de Absorción del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco. -----	112

<b>Tabla 35. Ensayo de Absorción del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima -----</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 36. Ensayo de porcentaje de área de huecos del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima. -----</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 37. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.-----</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 38. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima. -----</b>	<b>116</b>
<b>Tabla 39. Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco -----</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 40. Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco -----</b>	<b>119</b>
<b>Tabla 41: Calculo módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal e Industrial -----</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 42. Ensayo a la resistencia de corte de muretes del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.-----</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 43. Ensayo de resistencia de corte de muretes del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima-----</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 44. Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco -----</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 45. Cálculo del Módulo de corte del ensayo en Muretes de ladrillo -----</b>	<b>129</b>
<b>Tabla 46. Calculo Resistencia a la compresión de las probetas de mortero. -----</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 47: Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco.----</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 48: Calculo módulo de elasticidad del mortero.-----</b>	<b>140</b>
<b>Tabla 49: Ensayo de tripletes.-----</b>	<b>140</b>

## GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de especímenes de ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco -----	106
Gráfico N° 2: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria industrial de especímenes de ladrillo industrial Rex de Lima -----	109
Gráfico N° 3. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de pilas de ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco -----	118
Gráfico N° 4. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de pilas de ladrillo industrial Rex de Lima. -----	121
Gráfico N° 5: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria vertical de muretes ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco-----	125
Gráfico N° 6: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria Horizontal de muretes ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco-----	126
Gráfico N° 7: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria vertical de muretes ladrillo Industrial Rex de Lima-----	127
Gráfico N° 8: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria Horizontal de muretes ladrillo Industrial Rex de Lima-----	128
Gráfico N° 9: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de especímenes de mortero-----	139

## RESUMEN

Debido a la excesiva demanda de vivienda en la ciudad de Cajamarca, el ladrillo se ha convertido en la mejor alternativa en la construcción de las edificaciones, donde los ladrillos elaborados de manera artesanal son más usados que los ladrillos industriales, lo que nos conlleva a preguntar si estos ladrillos cumplen o no con la Norma E – 070. El objetivo del presente trabajo de investigación, es determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Kong, fabricado artesanalmente en sector Plan Miraflores del centro poblado menor de Otuzco – Cajamarca y King Kong elaborado de manera industrial por la fábrica Rex de Lima, para clasificarlo de acuerdo a la norma E-070, para el presente trabajo de investigación se seleccionó veinte unidades, cinco pilas y tres muretes de cada tipo de ladrillo, se realizaron: Ensayos Clasificatorios: variación dimensional, alabeo, compresión simple y ensayos no clasificatorios: succión, absorción, porcentaje de área de huecos, ensayos de pilas y muretes, ensayos de mortero (compresión axial y corte), determinándose la resistencia de los ladrillos ( $f'b$ ), resistencia de pilas ( $f'm$ ), resistencia al corte ( $v'm$ ) y los módulos de elasticidad cada tipo de ladrillo ( $E_b$ ), pilas ( $E_m$ ) y de corte ( $G_m$ ), Clasificando al ladrillo artesanal como tipo I y al industrial como tipo IV de acuerdo a la norma E - 070, se pudo concluir que los dos tipos de ladrillo no cumplieron con las especificaciones proporcionados por el fabricante, pero calificaron como unidades sólidas aptas para ser empleadas en la construcción de muros portantes de acuerdo a la Norma E – 070.

**Palabras clave:** Ladrillo, muretes, pilas, albañilería, propiedades, resistencia



## ABSTRACT

Due to excessive demand for housing in the city of Cajamarca, brick has become the best alternative in the construction of buildings, where bricks made using traditional methods are used that industrial bricks, which leads us to ask whether or not these bricks comply with Standard E - 070. The objective of this research is to determine the physical and mechanical properties of brick King Kong, handcrafted in Plan Miraflores populated area of downtown retail Otuzco - Cajamarca and King Kong produced industrially by Rex factory Lima, to classify according to the E-070 standard for the present investigation twenty units, five cells and three low walls of each type of brick was selected, were performed: Essays Qualifiers: dimensional variation, warping, simple compression and trials qualifiers: suction, absorption, percentage of void area, testing of piles and walls, testing mortar (axial compressive and shear), determining the strength of the bricks ( $f_b$ ) resistance piles ( $f_m$ ), shear ( $v_m$ ) and modulus of elasticity each type of brick ( $E_b$ ), piles ( $E_m$ ) and cutting ( $G_m$ ), handmade bricks Classifying the type I and Industrial type IV according to standard E - 070, it was concluded that the two types of brick did not meet the specifications provided by the manufacturer, but rated as suitable solid units to be used in the construction of load-bearing walls according to Standard E – 070.

**Keywords:** brick, stone walls, piles, masonry, properties, resistance

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

En Cajamarca y en diferentes partes del Perú las construcciones predominantes son las edificaciones de albañilería, que se diferencian de los demás sistemas constructivos, ya que primero se construyen los muros, luego las columnas y posteriormente las vigas de confinamiento.

Para tener edificaciones más seguras y económicas, motivo por el cual en el Perú se ha elaborado una Norma Técnica que permita estandarizar el proceso de fabricación y calidad de las unidades de albañilería en la que está inmerso el ladrillo, esta norma es la Norma Técnica Peruana E – 070.

El ladrillo es un elemento básico para la construcción tradicional. Sin duda es la pieza fundamental para levantar muros portantes y no portantes, dichos muros deben resistir tanto las solicitaciones provenientes de las acciones normales así como peso propio, sobrecargas de uso y acciones eventuales como los sismos, para lo cual debe tener las dimensiones y los refuerzos que le permitan tener un comportamiento seguro frente a todas las acciones que se presenten, este elemento de albañilería es el de uso más frecuente en los estatus medio y bajo de la población, por lo que en algunas ciudades se ha industrializado con el fin de garantizar la seguridad y economía.

Cajamarca, como otras ciudades del Perú no está alejada del crecimiento urbano, lo que ha conllevado a la demanda de vivienda excesiva, siendo el ladrillo la mejor alternativa en la construcción de las edificaciones, y el ladrillo elaborado artesanalmente en los Centros Poblados de Santa Barbará, Otuzco y el Cerrillo del distrito de Baños del Inca, son los que son usados de manera preferencial, en el que su elaboración es de manera artesanal, sin tener un control de calidad; por ello es necesario realizar el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas con el propósito de orientar a la mejora continua y alcanzar las exigencias de la norma de albañilería.

También se tuvo en cuenta el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo Rex elaborado industrialmente la ciudad de Lima, ya que estas unidades de albañilería también se comercializa en la ciudad de Cajamarca y

es una alternativa para mejorar la calidad de la construcción, y de esta manera obtener, muros con menores irregularidades, disminuir la cantidad de mortero en las juntas, y por ende, más resistente a los efectos de los sismos.

De los ensayos que se podrá determinar si ambos tipos de ladrillo cumplen o no como unidades de albañilería para ser empleadas en la construcción de viviendas de acuerdo a la Norma E-070.

## **1.2. Formulación del problema**

El tema objeto de la presente investigación se puede sintetizar en la siguiente interrogante:

¿Los ladrillos elaborados artesanalmente en el centro poblado menor de Otuzco – Cajamarca y ladrillos industriales Rex de la ciudad de Lima, cumplen con las propiedades físico - mecánicas establecidas en la norma E-070?

## **1.3. Hipótesis general**

Los ladrillos de arcilla cocida elaborado artesanalmente en Centro poblado de Otuzco- Cajamarca y los ladrillos industriales Rex de la ciudad de Lima, cumplen con las propiedades físico – mecánicas establecidas en la norma E-070.

### **Variables independientes**

- Ladrillos King Kong de la fábrica “Andrés Chilón” del sector Plan Miraflores del CPM Otuzco y ladrillos industriales King Kong de la fábrica Rex de la ciudad de Lima.

### **Variables dependientes**

- Propiedades físicas y mecánicas.

#### 1.4. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
<p><b>Variables Independientes:</b></p> <p>Ladrillos King Kong de la fábrica "Andrés Chilón" del sector Plan Miraflores del CPM Otuzco.</p> <p>Ladrillos Industriales King Kong de la fábrica Rex de la ciudad de Lima.</p>	<p>Ladrillos comercializados en la ciudad de Cajamarca.</p>	<p>Ladrillo King Kong artesanal sólido.</p> <p>Ladrillo King Kong Rex de 18 huecos.</p>	<p>Ladrillos de buena apariencia. Tipo de fabricación del ladrillo.</p> <p>Tiempo de fabricación y comercialización.</p>	<p>Observación</p> <p>Entrevistas</p>	<p>Ficha de observación.</p> <p>Ficha de recolección de datos.</p>
<p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Propiedades físicas y mecánicas.</p>	<p>Resistencia que describe que tanto resiste un material a las fuerzas aplicadas como la de compresión, corte.</p>	<p>Tipos de propiedades físicas y mecánicas.</p> <p>Tipos de ensayos realizados</p>	<p>Clasificación del ladrillo acorde a la norma E – 070.</p> <p>Resistencia de unidad, pilas y muretes de ladrillo.</p>	<p>Ensayos de laboratorio</p> <p>Procesamiento de datos.</p> <p>Evaluación.</p>	<p>Materiales e instrumentos de laboratorio.</p> <p>Software Excel</p> <p>Normas E-070 Normas técnicas Peruanas</p>

## **1.5. Justificación de la investigación**

La excesiva demanda de edificaciones en la región Cajamarca ha conllevado a la construcción de edificaciones de albañilería de hasta 6 pisos, lo cual hace que sean vulnerables a los efectos del sismo (Cajamarca se encuentra en una zona de actividad sísmica alta, zona 3, según la N.T.P. E-030), por lo que existe la necesidad de conocer las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo que es utilizado en las edificaciones, con la finalidad de conocer su comportamiento estructural y plantear soluciones más acertadas.

Los resultados permitieron clasificar el ladrillo con fines estructurales de acuerdo a la Norma Técnica Peruana, y tener un registro en de sus características técnicas, de manera que los constructores y proyectistas dispongan de esta información, con la finalidad de tomar mejores decisiones en la construcción.

## **1.6. Alcances y limitaciones**

### **1.6.1. Alcances**

La presente investigación brinda información de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de arcilla cocida King Kong elaborada artesanalmente en centro poblado menor de Otuzco – Cajamarca y ladrillos industriales Rex de la ciudad de Lima, y determinar si están en condiciones de ser empleados con fines estructurales o no.

Poner en conocimiento de los estudiantes de ingeniería, productores, instituciones públicas, privadas y sociedad civil, la calidad de ladrillo comercializada en la ciudad de Cajamarca, y establecer si es eficiente cumpliendo la función para la que fue concebida.

Se busca establecer una línea de investigación en la Facultad de Ingeniería con el propósito de 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 y por ende de las construcciones en la ciudad de Cajamarca.

### **1.6.2. Limitaciones**

La presente investigación se limitó sólo a estudiar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de arcilla cocida elaborados artesanalmente en centro poblado menor de Otuzco – Cajamarca y ladrillos industriales Rex de la ciudad de Lima.

No se evaluó el proceso de fabricación, ni los materiales usados para la fabricación del ladrillo artesanal ni para el ladrillo industrial.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general**

✓ Determinar Las Propiedades Físico – Mecánicas Del Ladrillo de arcilla cocida King Kong elaborados artesanalmente en Centro poblado de Otuzco-Cajamarca y ladrillos industriales Rex de la ciudad de Lima.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

✓ Clasificar al ladrillo artesanal e industrial, de arcilla cocida King Kong del centro poblado menor de Otuzco – Cajamarca y ladrillos Rex de la ciudad de Lima, de acuerdo a la norma E - 070 con fines estructurales de la albañilería.

✓ Comparar de los resultados de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal e industrial comercializado en la provincia de Cajamarca.

✓ Comparar los resultados de resistencia axial de los ensayos de pilas y muretes.

## CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. ANTECEDENTES

#### 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, 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 (tasa inicial de absorción)

promedio es de  $0.387 \text{ g/cm}^2/\text{mín.}$ , indica que las piezas de ladrillos deberán tener un pre humedecimiento 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 extrucción u otro medio, y el diseño de mezclas de arcilla que permitan un mejoramiento de las propiedades mecánicas.



### 2.1.2. Nacionales

#### ***E. Sánchez. 1982. Estudio de la variabilidad en la calidad de los ladrillos producidos en la ciudad de Lima. PUCP.***

De alrededor de 50 ladrilleras (incluyendo las clandestinas) existentes en la ciudad de Lima en el año de 1982, se seleccionaron 14 que producían unidades de arcilla para muros portantes. Las principales conclusiones fueron que: No existe control en la calidad de producción (excepto en dos de las ladrilleras muestreadas), por lo que la dispersión de resultados en todas las pruebas resultó elevada; el ladrillo King Kong artesanal, en todos los casos, fue clasificado como tipo II, de acuerdo a las normas ITINTEC; mientras que los de moldeo mecánico clasificaron entre los tipos III y V; el grado de cocción influye sustancialmente sobre la resistencia a compresión; los ladrillos colocados en la parte baja de los hornos abiertos llegaron a tener una resistencia 100% mayor respecto a los ubicados en la zona alta del horno; la succión varió entre 45 a 100 gr/200cm<sup>2</sup>-min, por lo que es necesario regar las unidades de arcilla (artesanal e industrial) un día antes de asentarlas.

#### ***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 ( $f_b = 160$  kg/cm<sup>2</sup>) y mortero 1:4, Los resultados promedios (en Kg/cm<sup>2</sup>) proporcionaron las siguientes fórmulas:

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

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

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%. Lógicamente este proceso no es aplicable en obra.

***Pastorutti, A. y San Bartolomé, A. 1985. Ensayo de carga lateral en muros de albañilería confinados - efectos del refuerzo. Lima, PUCP.***

Se investigó el refuerzo horizontal en los muros de albañilería debido a que los elementos de confinamiento no resultan eficientes en la etapa de post - agrietamiento diagonal, especialmente en las zonas centrales del muro en donde el tamaño de la grieta es grande, se construyeron 4 muros con diferente refuerzo y un muro patrón sin refuerzo. Estos muros se ensayaron a carga lateral cíclica y se pudo concluir lo siguiente: El refuerzo horizontal disminuyó, en etapas de grandes desplazamientos laterales, el deterioro de la albañilería y el de las columnas. A mayor refuerzo, se originan más fisuras pero estas son a su vez más finas. Se observó que es importante que el refuerzo horizontal se ancle en la columnas con un gancho de 90°. Para evitar la pérdida de anclaje cuando se genere fisuras por flexión en las columnas.

***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.

***San Bartolomé, A. 2007. Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de albañilería en el sismo de pisco del 15-08-2007", Lima, PUCP.***

El objetivo de este artículo es indicar los errores cometidos en las construcciones de albañilería, debido a los cuales se produjeron daños catalogados desde leves hasta estados de colapso total, cuando estas edificaciones fueron sometidas a la acción del sismo de Pisco ( $M_s = 7.0$ ,  $M_w = 8.0$ ), ocurrido el 15 de agosto del 2007, concluyendo que el sismo del 15-08-2007, calificado desde el punto de vista estructural por el autor como "leve" para Lima y "moderado" para Pisco o Chincha, puso al desnudo una serie de errores que se cometen en las edificaciones de albañilería, principalmente por el aspecto informal con que se construyen estos sistemas, pese a la existencia de normas nacionales de construcción y diseño estructural; ningún tipo de estructura debió

construirse en la zona licuada de Tambo de Mora, por lo que se propone la creación de un museo de sitio, para que la humanidad entera no repita este error, especial precaución deberá tomarse con las edificaciones ubicadas en los pantanos de Villa, donde a pesar que el sismo fue "leve" en Lima, hubo indicios de licuación; y, los daños severos en Pisco se presentaron principalmente en las zonas arenosas con napa freática elevada. Para este tipo de suelo debe exigirse el empleo de cimentaciones rígidas de concreto armado para todo tipo de edificación.

***San Bartolomé, A; Angles, P. 2008. Comparación del comportamiento sísmico de muros confinados contruidos con ladrillos de concreto y de arcilla. Lima, PUCP.***

En esta investigación se analizó la influencia del dos tipos de ladrillo: de concreto vibrado y de arcilla cocida, en el comportamiento sísmico de la albañilería confinada, para lo cual, en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP, se efectuaron ensayos de carga lateral cíclica en dos muros con las mismas características, pero contruidos cada uno con los ladrillos indicados anteriormente; concluyendo que de acuerdo a los resultados de los ensayos, los ladrillos de concreto y de arcilla calificaron como unidades sólidas, aptas para ser utilizadas en la construcción de muros portantes; la resistencia a compresión ( $f_m$ ) fue similar tanto para las pilas contruidas con ladrillos de arcilla como para las hechas con ladrillos de concreto; la conexión a ras columna-albañilería en los dos muros confinados, evitó problemas que muchas veces se presentan con la conexión dentada tradicional: cangrejas bajo los dientes y rotura de dientes al compactar el concreto de las columnas. Adicionalmente, los chicotes colocados en los extremos de la albañilería cada dos hiladas, permitieron que el desplazamiento en la conexión columna-albañilería sea menor de 1 mm.

### **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 las 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 compresión 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 compresión 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. MARCO NORMATIVO PERUANO**

### **2.2.1. Normas Técnicas Peruanas**

Las normas NTP 331.017, 399.604 y 399.613, establecen los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla destinados para uso de albañilería estructural y no estructural; y, los procedimientos para el muestro y ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, respectivamente.

### **2.2.2. Norma Técnica Peruana E-070**

Establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y por muros armados.

### **2.2.3. Norma Técnica Peruana E-030**

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con la filosofía del

diseño sismo resistente, a fin de evitar pérdidas de vidas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad.

Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaren dañadas por la acción de los sismos.

## **2.3. MARCO TEÓRICO**

### **2.3.1. Evolución histórica del ladrillo**

Se sabe que el ladrillo se originó en las antiguas civilizaciones del Medio Oriente que tenían sus centros en territorios que hoy corresponden a Irak e Irán aproximadamente, pero que extendían mucho más su influencia y se remontan en el tiempo a más de dos mil quinientos años antes de nuestra era. Desde esa región, las caravanas de pueblos nómades y, sucesivamente, las conquistas de Alejandro Magno, las del Imperio Romano y las rutas comerciales de Marco Polo pusieron en contacto a las diversas culturas y contribuyeron a generalizar, entre otras costumbres y modalidades, el uso del ladrillo (Bianucci, MA. 2009). Desde el descubrimiento del fuego, más de 100.000 años atrás, sólo hace alrededor de 7.000 de cuando descubriera que humectando, amasado, secado y posteriormente sometiendo a cocción a las arcillas, éstas se tomaban estables y resistentes, logrando lo que se conoce como cerámica; y apenas 5.500 años que los sumerios aplicaran por primera vez la cerámica a la construcción, elaborando ladrillos que reemplazaban a la piedra. Esto ocurrió en las llanuras mesopotámicas, donde se establecen las tribus nómadas dando origen al sedentarismo que hace surgir las primeras ciudades del mundo, en Sumeria, y que propicia el desarrollo de las construcciones de ladrillos. Estos a su vez brindan la posibilidad de ser combinados y trabados entre sí, facilitando la rigidización de la mampostería.

Ya en el siglo XX, fueron España e Italia los países que más contribuyeron nuevos criterios de diseño de los más actuales ladrillos cerámicos. En tanto, en América, las civilizaciones precolombinas no muestran antecedentes del uso del ladrillo. Para la mayoría de las construcciones importantes se recurría a la piedra encuadrada y pulimentada.

Los Incas y sus predecesores utilizaban la piedra en el altiplano y el adobe en regiones costeras, lo que en general se repetían en todo tipo de construcciones<sup>1</sup>. En cuanto al Perú, los ladrillos de arcilla llegaron en la época de la colonia española, y la primera fábrica de ladrillos fue construida en Lima en el año de 1856.

Cerrando la historia, indicaremos que en el Perú, los primeros ensayos sobre elementos de albañilería se realizaron en la década de los 70 y los escasos resultados alcanzados hasta el año de 1982, fueron utilizados para la elaboración de nuestro primer reglamento relativo específicamente a la albañilería (Norma E- 070, ININVI-82); a la fecha continúan las investigaciones<sup>2</sup>.

### **2.3.2. Características de la albañilería**

Al respecto, Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Mencionan que la albañilería es un material estructural compuesto que, en su forma tradicional, está integrado por unidades asentadas con mortero. En consecuencia es un material de unidades débilmente unidas o apegadas. Este hecho confirmado por ensayos y por la experiencia, permite afirmar que se trata de un material heterogéneo y anisotrópico que tiene por naturaleza, una resistencia a la compresión elevada, dependiente principalmente de la unidad, mientras que la resistencia a la tracción es reducida y está controlada por la adhesión entre la unidad y el mortero. En los últimos años se han introducido modificaciones importantes como:

- ✓ Incorporación cada vez más mayor de unidades hechas a máquinas (sólidas o huecas) fabricadas con diferentes materias primas (arcilla, hormigón, hormigones livianos, etc.).
- ✓ Uso masivo de mortero de cemento-arena y morteros mixtos (cemento-cal-arena).
- ✓ Incorporación de unidades que no requieren mortero para su unión (Mortarless block o unidades tipo mecano), rellenas con hormigón líquido o "grout".
- ✓ Uso de mortero de capa delgada.

---

<sup>1</sup> Bianucci, Ma. El Ladrillo. Orígenes y desarrollo. Chaco Argentina.

<sup>2</sup> San Bartolomé, A. 1994. Construcciones de Albañilería. Comportamiento sísmico y diseño estructural. Primera Ed. Lima, Perú.



Considerando estos antecedentes, para abordar un diseño racional con este material se deben desarrollar los estudios necesarios para:

- ✓ Conocer las propiedades físicas y mecánicas del material.
- ✓ Establecer las mejores técnicas o prácticas de construcción.
- ✓ Redactar y perfeccionar las normas con las cuales se realice el diseño y cálculo de las construcciones de albañilería.

### **2.3.3. Tipos de albañilería y especificaciones reglamentarias**

#### **A. Clasificación por la función estructural.**

Según la función estructural son los muros portantes y no portantes.

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

Muro diseñado y 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 (NTP E-070). 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 en los siguientes sitios:
  - En cambios de espesor en la longitud del muro, para el caso de Albañilería Armada.
  - En donde haya juntas de control en la cimentación, en las losas y techos.
  - En alféizar de ventanas o cambios de sección apreciable en un mismo piso.
- ✓ 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.

## 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. Por lo general, en estos elementos se emplea mortero de baja calidad y ladrillos tubulares (perforaciones paralelas a la cara de asentado) denominados "pandereta", cuya finalidad es aligerar el peso del edificio, con el consiguiente decrecimiento de las fuerzas sísmicas. Sin embargo, si los tabiques no han sido cuidadosamente aislados de la estructura principal, haciéndolos "flotantes", se producirá la interacción tabique-estructura en el plano del pórtico (San Bartolomé, A. 1994)

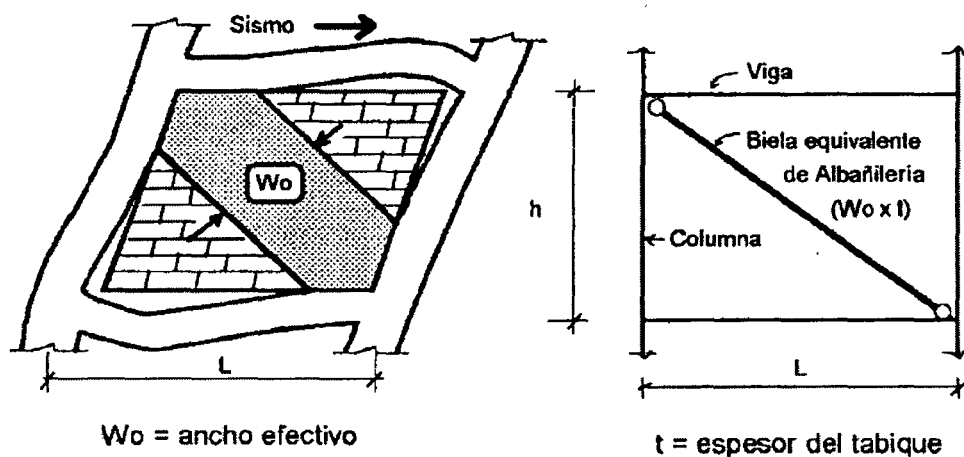


Fig. 1: Modelaje de Tabiques de Albañilería (San Bartolomé, A. 1994)

## B. Clasificación por la distribución del refuerzo.

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

### a. Muros no reforzados o de albañilería simple.

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 Cajamarca existen muchas viviendas de albañilería no reforzada, incluso de dos 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 (**VR** 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.

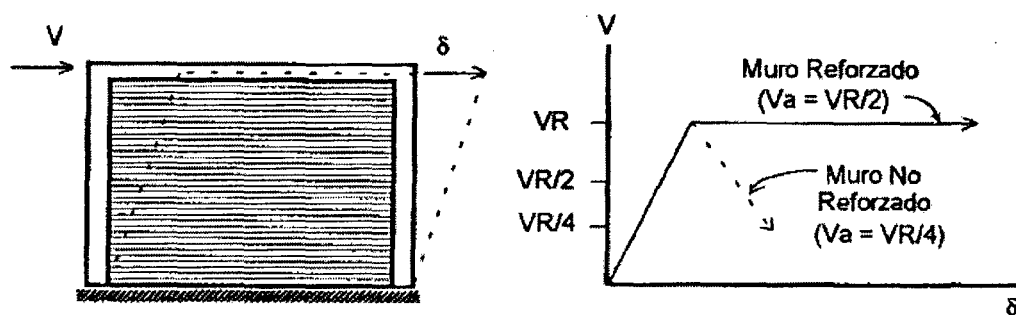


Fig. 2: Fuerza cortante admisible "Va" (San Bartolomé, A. 1994)

El espesor efectivo del muro (Fig. 3) se define como su espesor bruto descontando los acabados (por el posible desprendimiento del tarrajeo producto de las vibraciones sísmicas), las bruñas u otras indentaciones. De acuerdo a la Norma E-070, el espesor efectivo mínimo a emplear en los muros no reforzados debe ser  $t = h/20$  para zonas sísmicas 2 y 3, y  $t = h/25$  para zonas sísmicas 1, donde "h" es la altura libre de piso a techo, o altura de pandeo. Esta fórmula proviene de considerar posibles problemas de pandeo cuando los muros esbeltos se ven sujetos a cargas perpendiculares a su plano, o a cargas verticales excéntricas.

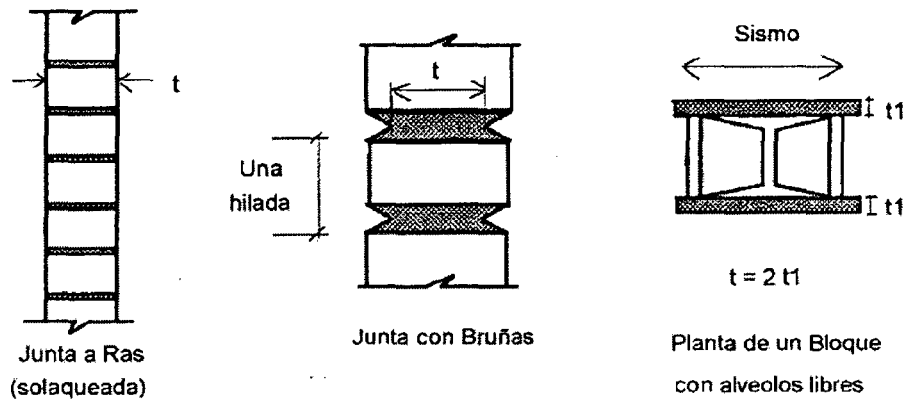


Fig. 3: Espesor Efectivo de un muro: "t" (San Bartolomé, A. 1994).

**b. Muros reforzados (armados, laminares y confinados)**

**• 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. 4).

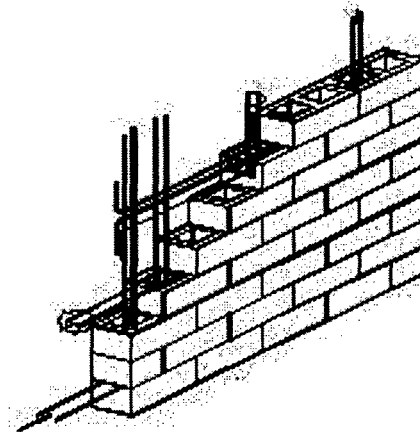


Fig. 4. Muro con refuerzo Horizontal y vertical.

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. (NTP E-070, 2006).

#### • Muros laminares o sándwich

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. 5). 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 sílico - 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).

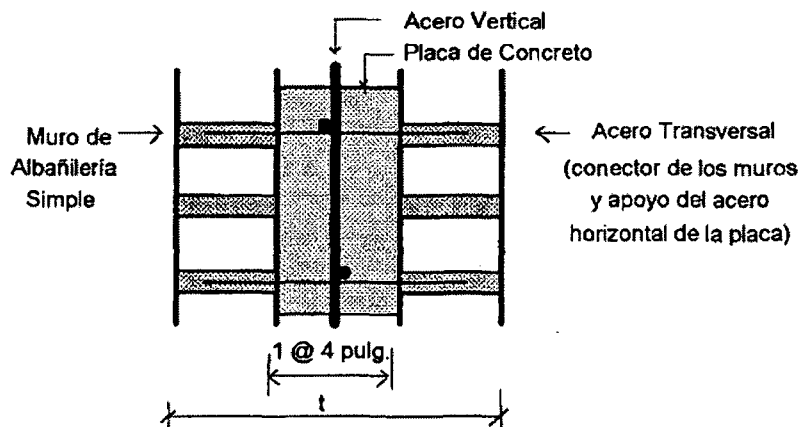


Fig. 5. Sección transversal Muro Laminar o Sandwich (San Bartolomé, A. 1994)

### •Albañilería confinada

Este es el sistema que tradicionalmente se emplea en casi todo el Perú para la construcción de viviendas de hasta 4 pisos (*Fig. 6*).

Según, San Bartolomé, A. 1994, 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. 6. Muros confinados de ladrillos de arcilla.

El pórtico de concreto armado, que rodea al muro, sirve principalmente para ductilizar al sistema; esto es, para otorgarle capacidad de deformación inelástica, incrementando muy levemente su resistencia, por el hecho de que la viga ("solera", "viga collar", "collarín" o "viga ciega") y las columnas son elementos de dimensiones pequeñas y con escaso refuerzo. Adicionalmente, el pórtico funciona como elemento de arriostre cuando la albañilería se ve sujeta a acciones perpendiculares a su plano. 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. 7).

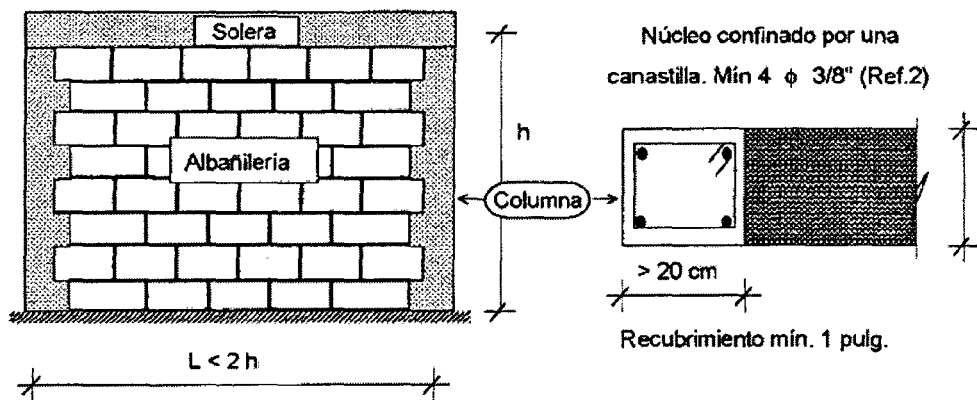


Fig. 7. Requisitos mínimos para que un muro se considere confinado (San Bartolomé, A. 1994)

- ✓ 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 doblez vertical a  $90^\circ$  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 % 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 (Fig. 8).

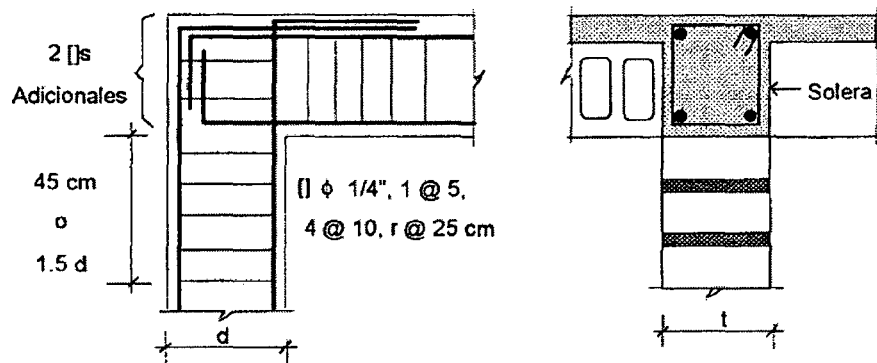


Fig. 8. Disposición Mínima de estribos (San Bartolomé, A. 1994)

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 entpiso, 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 (1/2 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

#### **2.3.4. Componentes de albañilería**

##### **A. Unidad de albañilería.**

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 de sílice y cal. Se forma mediante el moldeo y compactación; produciéndose a través de fábricas industriales, bajo un control de calidad o en precarias canchas artesanales, sin ningún control de calidad; por lo que no debe extrañar las formas, tipos, dimensiones y pesos sean variables y pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares. 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.

##### **B. Tipología.**

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 o 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. 9).

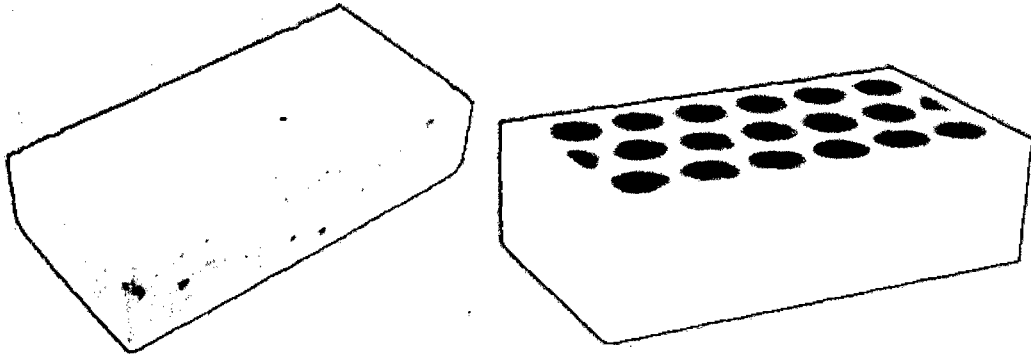


Fig. 9. Unidades de Albañilería sólida o maciza.

**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. 10).

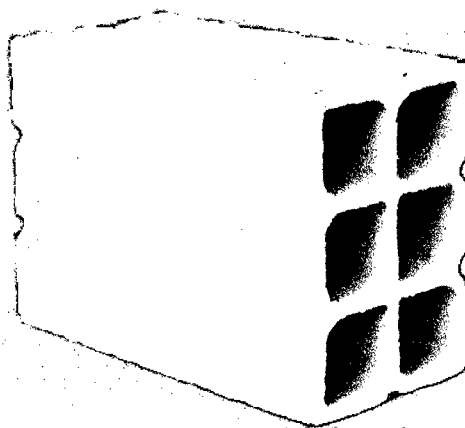


Fig. 10. Unidad de albañilería hueca.

**c. Unidades tubulares o pandereta.**

Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento (Fig. 11).

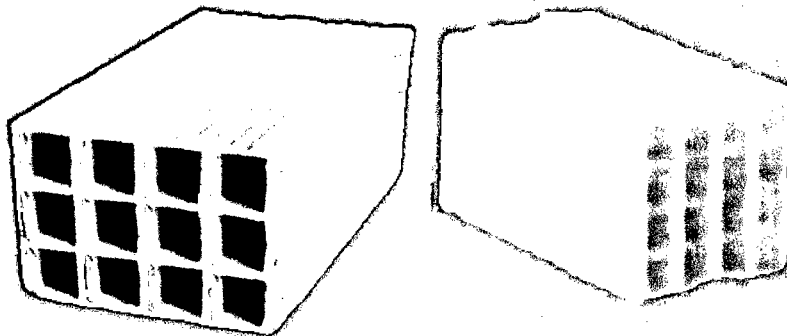


Fig. 11. Unidades de albañilería huecas.

**d. Limitaciones de la aplicación estructural de los 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 de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería.

Tipo	Posibilidad de aplicación			
	Muro en zona sísmica		Muro en zona no sísmica	
	Portante	No Portante	Portante	No Portante
Sólida	Óptima	Aplicable, pero muy pesada y costosa	Óptima para cargas elevadas	Aplicable, pero muy costosa
Hueca	No aplicable tal cual. Óptima si se llenan alvéolos con concreto líquido	Óptima	No aplicable	Óptima
Tubular	No aplicable	Óptima	No aplicable	Óptima

Fuente: Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005

### C. Unidades de Arcilla.

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 8 Kg.)
- ✓ Tipo pastelero: 20x20x2.5 cm. (4 a 6 Kg)
- ✓ 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.)

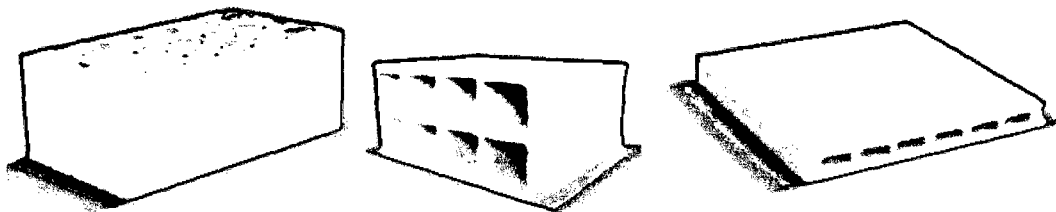


Fig. 12. Unidades de arcilla.

#### **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.

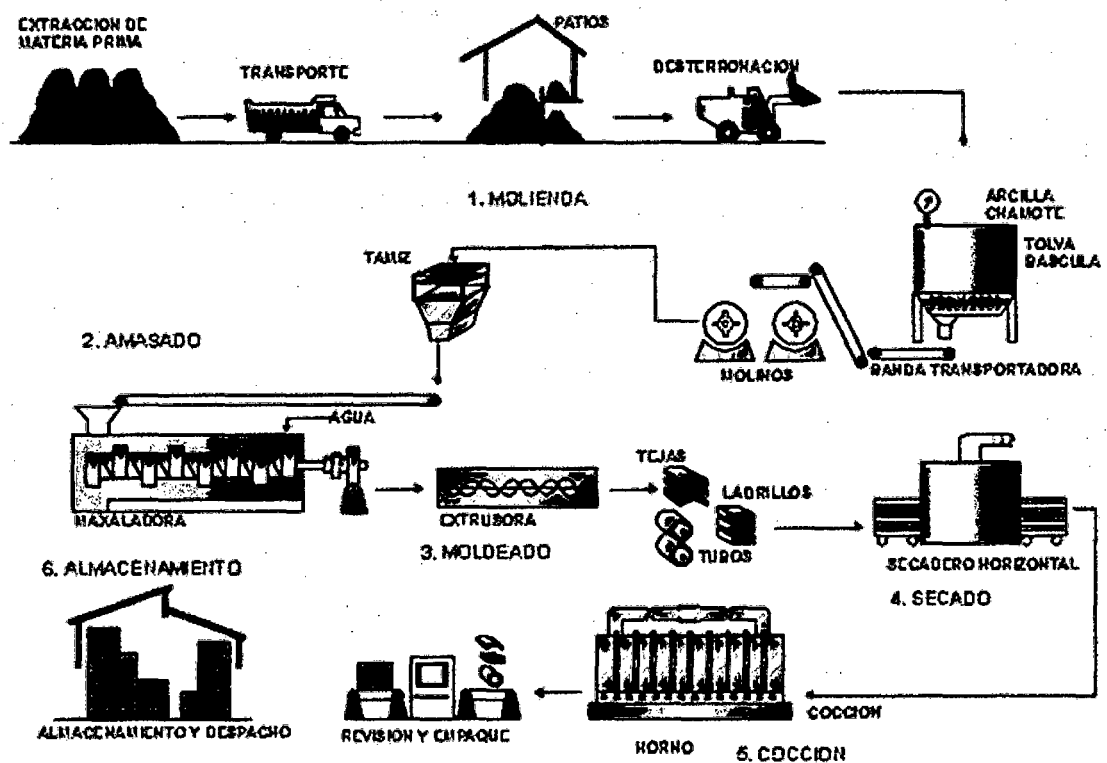


Fig. 13. Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera industrial.

Fernández, K. 2010, esquematiza el proceso de elaboración del ladrillo artesanal en el Centro Poblado Santa Bárbara, y que es similar a los procesos de fabricación en los Centros Poblados del Cerillo, Huacataz y Otuzco, distrito de Baños del Inca, precisando que estas unidades son usadas para la construcción de la mayoría de viviendas en la ciudad de Cajamarca y distritos aledaños.

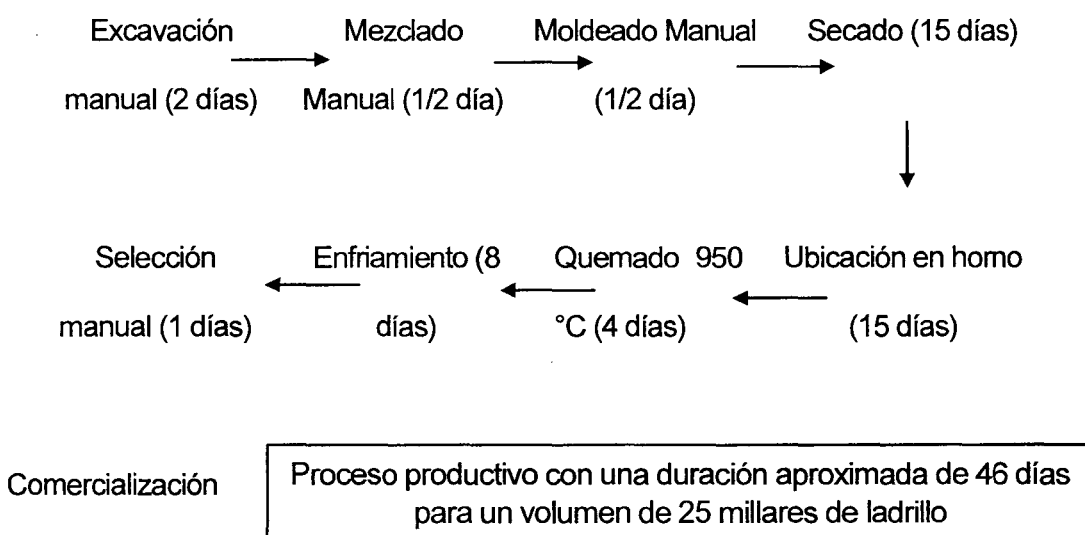


Fig. 14. Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera artesanal en Santa Bárbara - Cajamarca

#### D. Unidades calcáreas.

La materia prima que compone estas unidades son: La cal hidratada (10%) y arena (con un 75% de sílice), lo que da lugar a unidades de color blanco grisáceo, aunque puede añadirse pigmentos que le proporcionan otras tonalidades. La dosificación de los materiales (incluyendo agua) se hace en peso, y para el moldeo de las unidades se utilizan prensas mecánicas o hidráulicas. Luego, las unidades se endurecen curándolas a vapor en cámaras "autoclave" con elevada presión (entre 8 a 17 atmósferas). Durante este proceso la cal reacciona químicamente con el silicio, formando un agente cementante (silicato cálcico hidratado) que une las partículas de arena (San Bartolomé, A. 1994). La ventaja de estas unidades sobre las de arcilla es que sus dimensiones entre el estado crudo y el producto terminado prácticamente no varían; asimismo, por el proceso mecanizado en su fabricación, tienen muy poca variación en su resistencia a

compresión, que suele ser alta. La principal desventaja de estas unidades es que su textura es suave, con poros muy cerrados, esto hace que la adherencia mortero-unidad sea reducida; por esta razón, últimamente se han producido unidades sílico-calcáreas con estrías y perforaciones en su superficie de asentado (San Bartolomé, A. 1994).

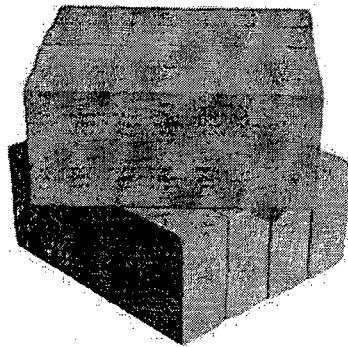


Fig. 15. Unidades sólidas Sílico-Calcáreas.

#### **E. Unidades de concreto.**

Estas unidades pueden ser artesanales (ladrillos) o industriales (ladrillos y bloques), con un tono gris verdoso, aunque puede agregarse pigmentos que varíen su color. Su textura usual es gruesa, con poros abiertos, y su peso puede aligerarse empleando piedra pómez como agregado (San Bartolomé, A. 1994). La ventaja de las unidades de concreto sobre las anteriores es que dependiendo de la dosificación que se emplee (cemento-arena-confitillo- agua), pueden lograrse unidades con una resistencia que dependa del uso a que se destine (San Bartolomé, A. 1994).

Se hacen exclusivamente de cemento portland, agregados grueso y agua. Dependiendo de los requisitos específicos, las mezclas pueden contener otros ingredientes especiales.

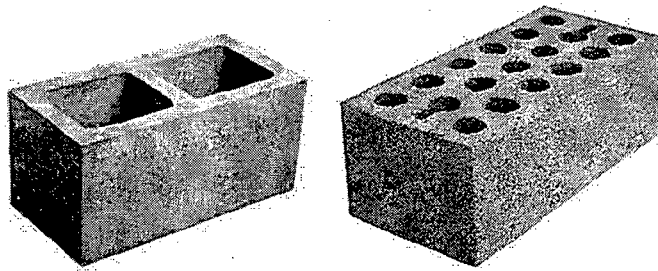


Fig. 16. Unidades de Concreto.



## **F. Propiedades Físicas y Mecánicas.**

### ✓ **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 E-070 del RNE, se expresan como: largo x ancho x altura, en centímetros. El largo y el ancho se refieren a la superficie de asiento, y las dimensiones nominales – comerciales – usualmente incluyen 1cm de junta. La variabilidad dimensional define la altura de las hiladas, ya que se manifiesta, con mayores variaciones, en la necesidad de aumentar el espesor de la junta de mortero por encima de lo estrictamente necesario por adhesión, que es de 9 a 12mm, conduciendo a una albañilería menos resistente en compresión.

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 3mm en el espesor de las juntas horizontales – adicionales al mínimo requerido de 10mm -, la resistencia a compresión de albañilería disminuye en 15%; esto también produce disminución en la resistencia al corte.

Se puede concluir entonces que la calidad del ladrillo determina el espesor de las juntas y la resistencia del muro en compresión y 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, 2006).

✓ **Alabeo.**

Propiedad física, en el que 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, 2006).

✓ **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.

Según la NTP E – 070, es una medida de la permeabilidad de la unidad de albañilería. En las unidades de arcilla no debe exceder el 22%.

Las unidades de albañilería con absorción mayor al 22% serán más porosas, y por lo tanto, menos resistente a la acción de la intemperie. La unidad porosa absorberá agua del mortero, secándolo e impidiendo el adecuado proceso de adherencia mortero-unidad, lo que influye en la disminución de la resistencia del muro.

Las Normas Peruanas limitan dicho valor debido a que la principal causa de la durabilidad es el intemperismo, y las unidades porosas son menos resistentes a la acción de la intemperie. Este aspecto pierde importancia cuando los muros tienen recubrimiento suficiente para protegerlos del intemperismo.

Los ensayos de absorción se procederán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.613, (NTP E-070, 2006).

✓ **Succión.**

La succión es la medida de la avidéz del agua de la unidad de albañilería en la cara de asiento y es la característica fundamental para definir la relación mortero-unidad en la interfase de contacto y, por lo tanto, la resistencia a tracción de la albañilería.

Según San Bartolomé, A. 1994, nos dice que está demostrado que con unidades que tienen una succión excesiva al momento del asentado no se logra, usando métodos ordinarios de construcción, uniones adecuadas con el mortero. Cuando la succión es muy alta, el mortero, debido a la rápida pérdida del agua – que es absorbida por la unidad -, se deforma y endurece, lo que impide un contacto complejo e íntimo con la cara de la siguiente unidad.

El resultado es una adhesión pobre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua.

✓ **Porcentaje de vacíos.**

Es una medida del área de vacíos de la unidad de albañilería. La norma E-070 del RNE limita su uso hasta con 30%, mientras que la NTP 331.017 lo hace hasta con 25%. Las perforaciones favorecen a la cocción de los ladrillos de arcilla, sin embargo los debilitan ante los esfuerzos de compresión.

Es por ello que las Normas Peruanas limitan dicho valor para ser utilizados como muros portantes. Más allá del valor permitido el muro se vuelve frágil, perdiendo ductilidad en caso de un sismo severo. No es un problema de resistencia, sino de la naturaleza de la falla del muro.

García y Caycho (2009), en su estudio de investigación utilizaron ladrillos de la marca Lark con porcentaje de vacíos de 50.00%, afirman: “las continuas aberturas y cerramientos de las grietas diagonales terminan pulverizando a los ladrillos huecos, perdiéndose notablemente la capacidad portante de los muros, tanto ante cargas sísmicas como de gravedad”. Debido a que en muro construido con el porcentaje de vacíos indicado anteriormente, se tiene que: “al iniciarse la trituración de los ladrillos en una etapa temprana del ensayo, observándose una degradación importante de resistencia (25%) para derivas del 0.004”.

Las apreciaciones dadas por García y Caycho (2009) se presentan al utilizar ladrillos con porcentaje de vacíos superiores a los permitidos por las Normas Peruanas. Debido a que el porcentaje de vacíos se encuentra directamente relacionado con el peso de las unidades, Grimm (1996) afirma: “la densidad de las unidades influye en el peso de

las paredes y las variaciones en el peso tienen implicaciones en el diseño estructural, acústico y térmico de las paredes. Presupuestos incorrectos sobre el peso de las paredes pueden producir valores de las cargas muertas y de sismo imprecisos; un factor de seguridad por corte en las paredes reducido y una sobreestimación de las pérdidas por transmisión acústica”.

Las apreciaciones dadas por Grimm (1996) se presentan al variar el porcentaje de vacíos de la unidad, debido a que al aumentar el porcentaje de vacíos, disminuye el peso de la unidad, por ende, su densidad y con ello variaciones en el diseño estructural, presupuesto y en el factor de seguridad.

#### ✓ **Resistencia a la compresión.**

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.

Según MENDOZA, TOLA, la resistencia a la compresión depende de la naturaleza del material y del contenido regulado de elementos desgrasantes, como una cantidad prudencial de cal y cuarzo contenidos en la arcilla. Lamentablemente, esta propiedad es difícil de medir adecuadamente. De un lado, la gran variedad de formas y dimensiones de las unidades, principalmente de sus alturas, impide relacionar el resultado del ensayo de compresión con la verdadera resistencia de la masa componente.

Esto se debe a los efectos de la forma y de la esbeltez en el valor medido y a la restricción, ocasionada por los cabezales de la máquina de compresión, que modifica el estado de esfuerzos de la unidad (Gallegos, Héctor 1991)

San Bartolomé, A. 1994, señala que la resistencia a la compresión, tal como se mide actualmente en el ensayo de compresión estándar, es función no sólo de la resistencia intrínseca de la masa, sino de la altura del testigo y de su forma.

Consecuentemente, los valores obtenidos son sólo indicativos generales del comportamiento estructural de diferentes unidades cuando integran la albañilería asentada con mortero y/o llenas con concreto líquido. Asimismo, su durabilidad debe ser juzgada acompañando al resultado del ensayo de compresión valores de la absorción máxima y del coeficiente de saturación.

✓ **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  $f_b$  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.

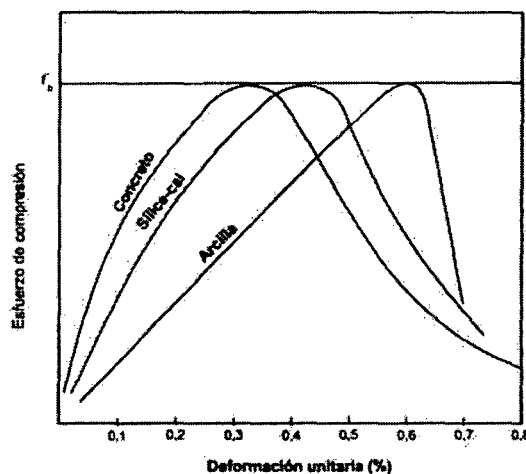


Fig. 17. Curvas normalizadas esfuerzo de compresión ( $f_b$ ) vs. Deformación unitaria de unidades ensayadas en compresión.

### **G. Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales.**

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 o 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 muy 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			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA
	DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)				CARACTERÍSTICA
	Hasta 100 mm	Hasta 100 mm	Hasta 100 mm		A COMPRESIÓN fb mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta.
Ladrillo I	±8	±6	±4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	±7	±6	±4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	±5	±4	±3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	±4	±3	±2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	±3	±2	±1	2	17.6 (180)

fb = Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería.

MPa= Mega pascal

Fuente: NTP E-070

#### **H. 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 Sismorresistente; para las edificaciones con ladrillo artesanal sólido debe establecerse condiciones mínimas que puede ser exceptuada 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 a más	Muro portante en todo edificio.
Solido Artesanal	No	Si, hasta 2 pisos	Si
Solido Industrial	Si	Si	Si
Hueco	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, Hasta 2 pisos

Fuente: NTP E - 070

### **I. Tecnología del 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.

✓ **Cemento.**

Se utiliza básicamente el cemento portland tipo I y excepcionalmente, el cemento portland tipo II, resistente a los sulfates. Cuando se emplee cemento puzolánico IP, 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.

✓ **Agregado grueso.**

Estará constituido por arena gruesa 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 gruesa**

<b>Malla ASTM</b>	<b>% Que Pasa</b>
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: NTP 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.
- ✓ El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
- ✓ No deberá emplearse arena de mar.

✓ **Cal hidratada.**

Debe ser hidratada y normalizada; la que puede existir partículas muy finas, que en vez de funcionar como aglomerante lo hacen como residuos inertes. El peso volumétrico de la cal es del orden de 640 Kg/m<sup>3</sup>.

La cal en el mortero, a diferencia del cemento, endurece muy lentamente al reaccionar con el anhídrido carbónico del ambiente, en un proceso llamado carbonatación.

La carbonatación resulta beneficiosa para el mortero por 2 razones:

☛ Las fisuras se sellan a lo largo del tiempo al formarse cristales de carbonato de calcio, los que proveen alguna resistencia adicional sobre la dada por el cemento.

☛ Al endurecer lentamente se favorece la retentividad de la mezcla.

✓ **Agua.**

El agua será potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

**b. Ensayo a la compresión.**

El ensayo de compresión en probetas de mortero (usualmente cilindros de 5 cm. de diámetro, 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. Propiedades**

✓ **Fluidez.**

Se define como la capacidad que tiene la mezcla de poder discurrir (fluir), o de ser trabajable con el badilejo.

✓ **Retentividad.**

Se define como la capacidad que tiene la mezcla para mantener su consistencia, o de continuar siendo trabajable después de un lapso de tiempo.

**d. Clasificación de las proporciones.**

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**

Tipo	Cemento	Cal	Arena	Usos
P1	1	0 al 1/4	3 a 3 ½	Muros Portantes
P2	1	0 al 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 pre- mezclado), siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes, proporcionen resistencias iguales o mayores a las especificadas en los planos (NTP E-070, 2006).

De no contar con cal hidratada normalizada, se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la *Tabla 5*, (NTP E-070, 2006).

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 morteros, ASTM C – 270**

Tipo	Cemento	Cal	Arena
M	1	1/4	2.8 a 3.8
S	1	¼ al 1/2	2.8 a 4.5

## **J. Acero de refuerzo.**

La armadura deberá cumplir con lo establecido en las Norma Barras de Acero con Resaltes para Concreto Armado (NTP 341.031). Sólo se permite el uso de barras lisas en estribos y armaduras electrosoldadas usadas como refuerzo horizontal. La armadura electrosoldada debe cumplir con la norma de Malla de Alambre de Acero Soldado para Concreto Armado (NTP 350.002).

## **K. Concreto.**

El concreto de los elementos de confinamiento tendrá una resistencia a la compresión mayor o igual a 17,15 MPa (175 Kg/cm<sup>2</sup>) y deberá cumplir con los requisitos establecidos en la Norma Técnica de Edificación E-060 Concreto Armado.

### **2.3.5. Propiedades de la albañilería simple**

#### **a. 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 compresión 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 compresión, 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°, 45° y 90°. 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 compresión 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.

#### **b. Naturaleza de la albañilería y criterios 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 componentes. La descripción cuantitativa de la falla en albañilería no puede basarse en un único criterio general, sino en los diversos modos en que esta puede ocurrir en un material compuesto, (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

### c. 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 prismas se llenan con concreto líquido (unidades huecas), asentadas o apiladas (unidades sólidas), (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

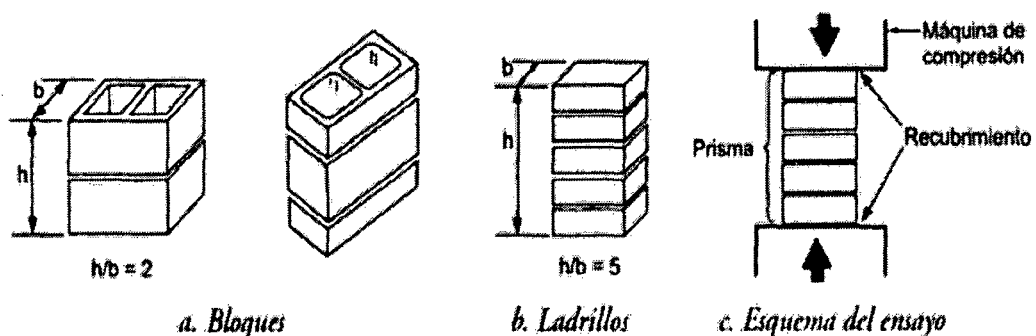


Fig. 18. Prisma (pila) estándar para el ensayo de compresión (Gallegos, H y Casabonne, C. 2005)

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, 2006). La resistencia característica ( $f'm$ ) en pilas, se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar (NTP E-070, 2008).

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 él prima, y en un muro real de albañilería, el ladrillo y el mortero 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,



en el prisma cargado, está sometido a compresión triaxial, y el ladrillo a una combinación de compresión axial y tracción biaxial.

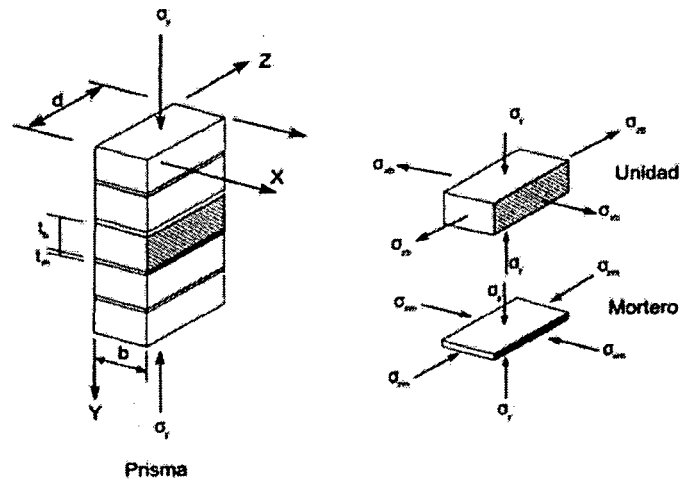


Fig. 19. Esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de la carga unitaria axial. (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

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  $f'm$  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

#### **d. Ensayo de muretes.**

El testigo estándar es un murete cuadrado cuyo lado nominal debe medir 1.20 m. debe ser de albañilería cuyas características se requiere determinar y del espesor del muro investigado. 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.

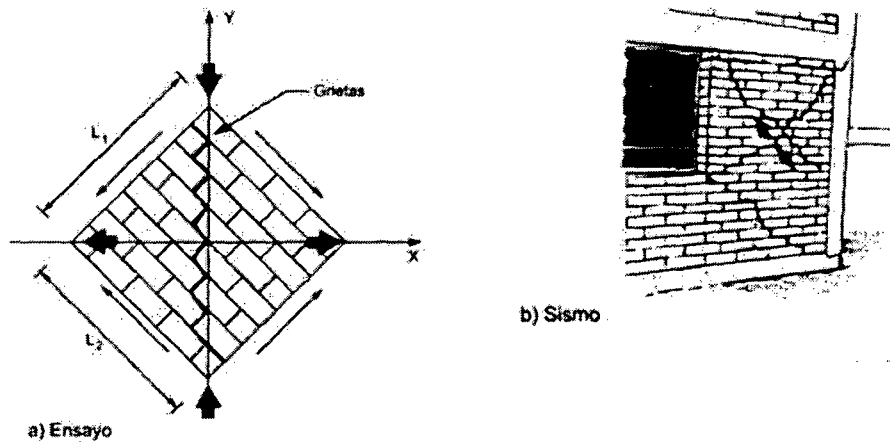


Fig. 20. Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

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, 2006).

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:

$$v_m = \frac{P_u}{A_n} \quad (1.1)$$

$$v'_m = v_m - \sigma \quad (1.2)$$

Donde:

$P_u$  : Carga de rotura.

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

$\sigma$  : Desviación estándar.

$$A_n = \frac{1}{2} (L_1 + L_2) b \gamma \quad (1.3)$$

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

$b$ : Espesor efectivo del murete.

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

La deformación por corte mostrada en el esquema (Fig. 21), se calcula:

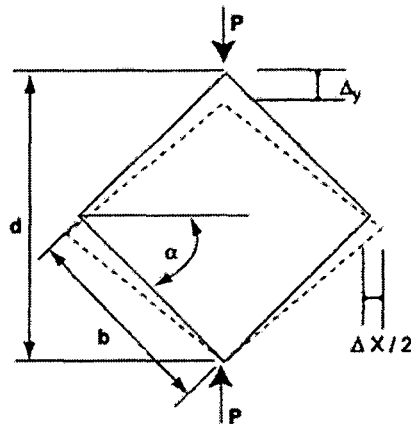


Fig. 21. Esquema de deformación del espécimen (murete) (Gallegos, H y Casabonne, C. 2005)

$$\varepsilon = \frac{\Delta x + \Delta y}{2d} \left( \tan \alpha + \frac{1}{\tan \alpha} \right) \quad (1.4)$$

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 pre-compresiones o estas son muy reducidas, la falla tiende a ocurrir siguiendo las juntas horizontales y verticales, aun ángulo aproximado de 45° con la hilada. Cuando se aplican pre-compresiones 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. El análisis más completo, asumiendo un material homogéneo, ha sido efectuado por Blume, apoyándose en las investigaciones de fotoelasticidad de Frocht.

Blume estableció que los esfuerzos principales para el espécimen cargado como se muestra en la Fig. 19, sin compresiones perpendiculares a la junta, ocurren en el centro del murete y son:

$$\text{Tracción:} \quad \sigma_1 = \sigma_2 = 0.519 \frac{P}{bL} \quad (1.5)$$

$$\text{Compresión:} \quad \sigma_1 = \sigma_y = 1.683 \frac{P}{bL} \quad (1.6)$$

$$\text{Corte:} \quad \tau_{m\acute{a}x} = 1.101 \frac{P}{bL} \quad (1.7)$$

### 2.3.6. 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 ( $R_d$ )

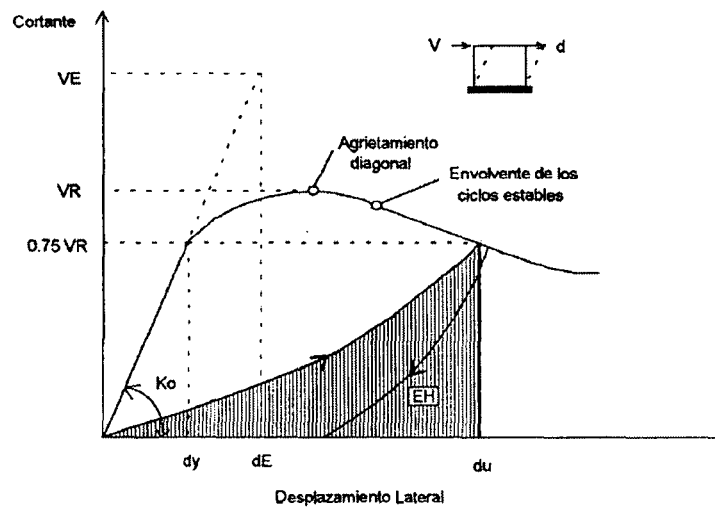


Fig. 22. Gráfica para el cálculo experimental del Rd. (San Bartolomé, A. 1994)

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 "Rd".

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

$$Rd = \frac{VE}{VR} = \sqrt{2K_0} = \frac{EH}{VR} \quad (1.8)$$

Donde:

Ko: Rigidez lateral inicial

EH: Capacidad de absorción de la energía inelástica.

E: Energía elástica equivalente =  $VE \cdot dE/2 = (VE)^2/2K_0$

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

$$\frac{VR^2(2\mu-1)}{K_0}$$

Se obtiene:

$$Rd = \frac{VE}{VR} = \sqrt{2\mu - 1} \quad (1.9)$$

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.

### **2.3.7. 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.

#### 2.4. MARCO CONCEPTUAL

Las siguientes definiciones han sido consideradas de la Norma Técnica Peruana E-070.

- ✓ **Albañilería o Mampostería.** Material estructural compuesto por "unidades de albañilería" asentadas con mortero o por "unidades de albañilería" apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido.
- ✓ **Albañilería Confinada.** Albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de la albañilería. La cimentación de concreto se considerará como confinamiento horizontal para los muros del primer nivel.
- ✓ **Albañilería No Reforzada.** Albañilería sin refuerzo (Albañilería Simple) o con refuerzo que no cumple con los requisitos mínimos de esta Norma.
- ✓ **Albañilería Reforzada o Albañilería Estructural.** Albañilería armada o confinada, cuyo refuerzo cumple con las exigencias de esta Norma.
- ✓ **Construcciones de Albañilería.** Edificaciones cuya estructura está constituida predominantemente por muros portantes de albañilería.
- ✓ **Mortero.** Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería.



- ✓ **Unidad de Albañilería.** Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular.
  
- ✓ **Unidad de Albañilería Alveolar.** Unidad de Albañilería Sólida o Hueca con alvéolos o celdas de tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical. Estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados.
  
- ✓ **Unidad de Albañilería Apilable.** Es la unidad de Albañilería alveolar que se asienta sin mortero.
  
- ✓ **Unidad de Albañilería Hueca.** 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.
  
- ✓ **Unidad de Albañilería Sólida (o Maciza).** Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano.
  
- ✓ **Unidad de Albañilería Tubular (o Pandereta).** Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento.

## **CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. MATERIALES Y EQUIPOS**

#### **A. Materiales**

- ✓ Ladrillo King Kong de la fábrica del señor Andrés Chilón, del sector Plan Miraflores, del CPM Otuzco, Cajamarca, adquirido el día 01 de octubre del 2014
- ✓ Ladrillo King Kong de la fábrica Rex de Lima, adquirido el 04 de octubre, en el establecimiento Celis, Jirón Delfín Cerna, 193 - Cajamarca.
- ✓ Cemento Portland Tipo I (bolsa color verde).
- ✓ Cal hidratada.
- ✓ Arena gruesa de la cantera "El Gavilán".
- ✓ Agua potable.
- ✓ Arena fina.

#### **B. Equipos**

- ✓ Mallas ASTM N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200.
- ✓ 02 Probetas 1000 ml.
- ✓ 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 Cámara fotográfica.
- ✓ 02 Deflectómetro.
- ✓ 01 Vernier digital.
- ✓ 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. MÉTODOS

### 3.2.1. Metodología de la investigación

#### 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 geográficas (grados, minutos, segundos)  
Latitud: 7° 10' 3.01" S  
Longitud: 78° 29' 42.5" W
- ✓ Coordenadas geográficas (grados decimales)  
Latitud: 7.167503 S  
Longitud: 78.495139 W
- ✓ Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)  
X: 776651  
Y: 9206979  
Uso: 17
- ✓ Hemisferio: Sur

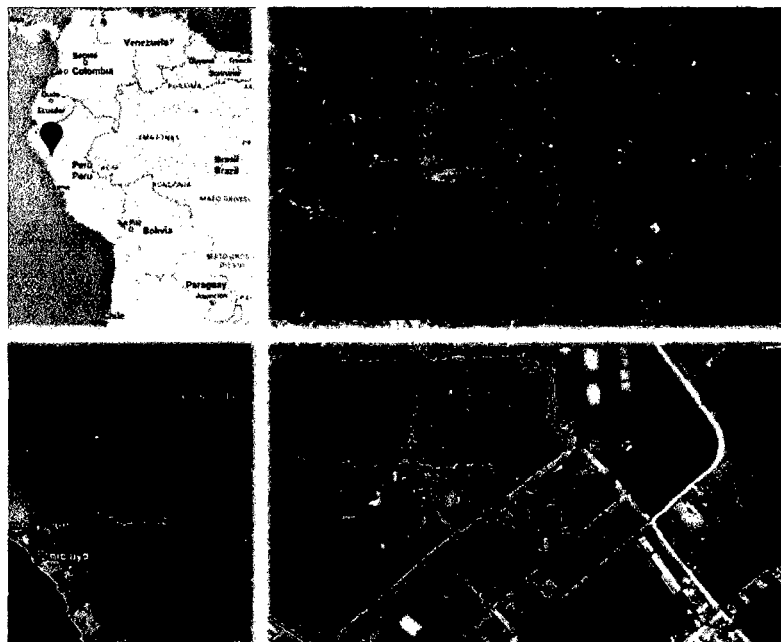


Fig. 23. Fotografía satelital de la ubicación del estudio.

### Ubicación de las ladrilleras.

#### Ladrillera Artesanal del Sr. Andrés Chilón del sector Plan Miraflores del Centro Poblado de Otuzco.

- ✓ Coordenadas geográficas (grados, minutos, segundos)  
Latitud: 7° 07' 20.53" S  
Longitud: 78° 27' 20.77" W
- ✓ Coordenadas geográficas (grados decimales)  
Latitud: 7.1223S  
Longitud: 78.455W
- ✓ Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)  
X: 781114  
Y: 9211956
- ✓ Uso: 17
- ✓ Hemisferio: Sur

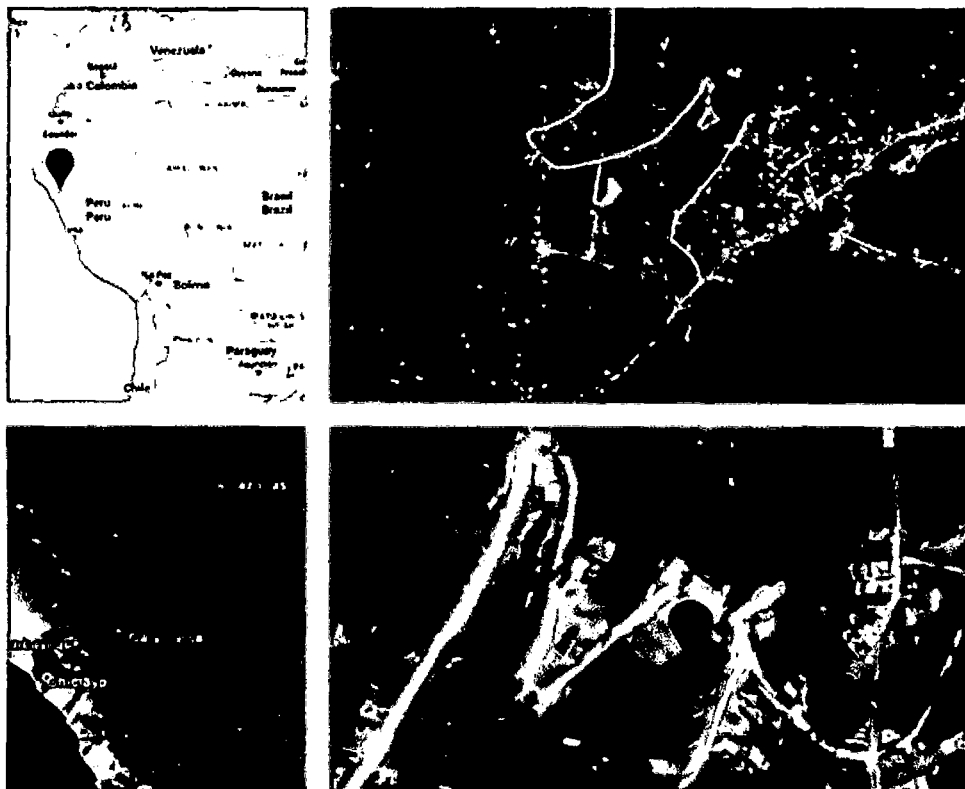


Fig. 24: Ubicación de la ladrillera artesanal del plan Miraflores del Centro Poblado de Otuzco.

**Ladrillera industrial Rex de la ciudad de Lima.**

- ✓ Coordenadas geográficas (grados, minutos, segundos)  
Latitud: 12° 00' 39.02" S  
Longitud: 78° 27' 20.77" W
- ✓ Coordenadas geográficas (grados decimales)  
Latitud: 12.010839 S  
Longitud: 77.055703 W
- ✓ Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)  
X: 276182  
Y: 8671412  
Uso: 18
- ✓ Hemisferio: Sur

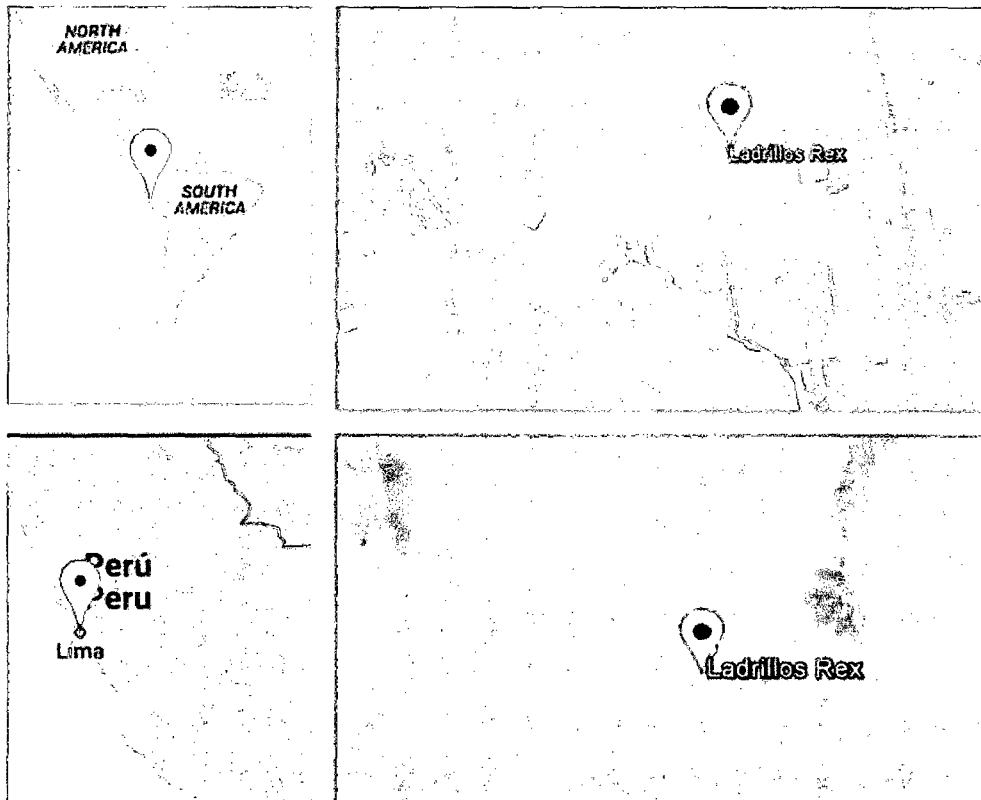


Fig. 25: Ubicación de la ladrillera industrial Rex de la ciudad de Lima

**b. Periodo de investigación.**

La investigación se realizó durante los meses de setiembre 2014 – enero 2015, en un total de 4 meses consecutivos.

**c. Tipo de investigación**

Investigación descriptiva: también llamada investigación estadística, en ella se destacan las características o rasgos de la situación, fenómeno u objeto de estudio, describiéndolas y analizándolas.

**d. Diseño de la investigación**

Diseño no experimental: porque no se manipularon variables durante el desarrollo del trabajo de investigación.

**e. Población.**

Ladrillos de arcilla cocida King Kong, que se ha producido en los meses de Julio 2014 a agosto 2014, artesanalmente en la fábrica "Andrés Chilón" del Sector Plan Miraflores del CPM Otuzco - Cajamarca e industrialmente en la fábrica Rex de la ciudad de Lima.

**f. Muestra.**

- Ladrillos King Kong de la fábrica "Andrés Chilon" del sector Plan Miraflores del CPM Otuzco: n = 550.
- Ladrillos King Kong de la fábrica Rex de Lima: n = 550.

**g. Técnica del muestreo.**

El muestreo se realizó por juicio y conveniencia, debido a que la fábrica "Andrés Chilon" del sector Plan Miraflores del CPM Otuzco, produce de 10 a 14 millares cada 3 meses.

**h. Instrumentos de recolección de datos.**

Se realizaron entrevistas, 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.
- ✓ En el análisis de datos, se hizo con referencia a la norma E-070

### **3.2.2. Procedimientos de la investigación**

#### **A. Ensayo de granulometría de la arena.**

Cantera: El Gavilán.

Recolección de la muestra: se seleccionó por el método del cuarteo. Análisis granulométrico de acuerdo a las Normas NTP 400.037. 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 C-728.

Se determinó el contenido de humedad, según la Norma NTP 400.010, ASTM C-728.

Se calculó el peso unitario de la arena gruesa, según la Norma NTP 400.017.

Según se muestra en la Fig. 28 del Anexo B

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

Se realizó los ensayos de los ladrillos a fin de limitar su aplicación en diseños estructurales.

De acuerdo a la NTP 399.613, se seleccionó 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.

Según la Norma Técnica E- 070, menciona que "el muestreo será efectuado por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades de albañilería"; para la presente investigación se seleccionó 150 ladrillos de cada fabrica.

Se marcaron los especímenes de manera que pueda ser identificado en cualquier momento.

Las propiedades clasificatorias del ladrillo son: Variación dimensional, alabeo, compresión simple.

#### a. Variación dimensional

Se usaron 20 unidades de cada tipo de ladrillo, el ensayo se realizó de la siguiente manera:

✓ Se secó los ladrillos en un horno ventilado de 110 °C a 115 °C, por 24 horas (Fig. 31 del Anexo B).

✓ Después del secado se dejó 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 (Fig. 31 del Anexo B).

✓ Se midió con un vernier digital, el largo, ancho y alto, a la mitad de las aristas que limitan cada cara, realizándose 4 medidas por cada una de las dimensiones (Fig. 34 del Anexo B), promediándose para obtener los resultados que se muestran en la Tabla 9.

Los resultados fueron expresados en porcentaje, y se calculó mediante la siguiente fórmula<sup>3</sup>, con una aproximación de 0.5 mm.

$$V = \frac{ME - MP}{ME} * 100 \quad (2. 1)$$

Donde:

V: Variación dimensional (%).

ME: Medida especificada por el fabricante (mm).

MP: Medida promedio (mm).

---

<sup>3</sup> Ángeles, D. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla. Ing. Civil. Lima, Perú PUCP. 96 p (En Línea)



### b. Alabeo

Se usaron 20 unidades de cada tipo de ladrillo. Para la realización de este ensayo la Norma NTP 399.613, indica que se necesita una varilla de acero con borde recto, regla o cuña de acero graduada al 1 mm y una superficie plana de acero o vidrio de 300 mm \* 300 mm.

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

(Fig. 33 del Anexo B), los resultados se muestran en la Tabla 10

### c. Compresión simple

Se usaron 20 unidades de cada tipo de ladrillo, el ensayo se realizó de la siguiente manera:

✓ Se registró el peso y midiendo el largo, ancho y alto (Fig. 34 del Anexo B).

✓ Luego se ensayaron en la máquina universal para ensayos de compresión uniaxial (Fig. 35 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.

$$fb = \frac{\text{Carga Máx}}{\text{Área Bruta}} \quad (2.2)$$

$$f'b = fb - \sigma \quad (2.3)$$

Donde:

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

$f'b$ : Resistencia a la compresión promedio

$\sigma$ : Desviación estándar.

La deducción de la formula la podemos apreciar en el Anexo C

Los valores se expresan en la Tabla 11

○ **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 20 ladrillos de cada tipo y con los datos obtenidos, se procedió a dibujar la gráfica Esfuerzo vs deformación unitaria, haciendo un diagrama de dispersión para cada tipo de ladrillo (artesanal e industrial).

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

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.4)$$

$$\epsilon_u = \frac{\epsilon_t}{h} \quad (2.5)$$

Donde:

$\sigma$ : 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 calculó 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 Tabla 12.

### C. Ensayos no clasificados de ladrillo

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

- ✓ Succión
- ✓ Absorción
- ✓ Porcentaje de huecos.

#### a. Ensayos de succión.

Se usaron 20 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 (Fig. 36 del Anexo B).
- ✓ 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, (Fig. 37 del Anexo B).

La prueba consistió en pesar los ladrillos secos, colocarlos sobre las barras durante 1 minuto y llenar la bandeja con la finalidad de mantener el nivel de agua original, (Fig. 37 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.

$$S = \frac{200 * (P_{suc} - P_{sec})}{\text{Área Bruta}} \quad (2.6)$$

Donde:

S: Succión (ver Tabla 13)

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 20 unidades de cada tipo de ladrillo. El ensayo se realizó de la siguiente manera:

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 (Fig. 38 del Anexo B), registrando el peso, NTP 399.613. Los resultados fueron expresados en porcentaje dado por la fórmula<sup>4</sup>:

$$A = \frac{P_s - P_{seco}}{P_{seco}} * 100 \quad (2.7)$$

Donde:

A: Absorción (%) (Tabla 14)

Ps: Peso Saturado (gr)

Pseco: Peso seco (gr)

## **c. Porcentaje de área de huecos**

Se usaron 20 unidades de ladrillo industrial Rex, la norma indica que se debe medir y registrar la longitud, el ancho y altura del ladrillo tal como se describe en el procedimiento en la variación dimensional. Sobre la superficie horizontal, se extendió una hoja de papel y sobre el papel se colocó el ladrillo a ser ensayado.

Se rellenó los huecos con arena (Fig. 39 del Anexo B), permitiendo que la arena caiga libremente, con una varilla de acero de ½" se niveló la arena en las perforaciones y con una escobilla suave, se removió el exceso de arena de la parte superior y del papel.

Luego se levantó el ladrillo, cayendo la arena libremente sobre el papel; transfiriéndose la arena de la hoja del papel a la balanza, registrando el peso con aproximación de 0.1 g.

---

<sup>4</sup> Ángeles, D. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla. Ing. Civil. Lima, Perú PUCP. 96 p (En Línea)

Con una cierta cantidad de arena, se llenó una probeta de 1000 ml hasta 500 ml, dejando que la arena caiga libremente, sin agitar ni vibrar la probeta. Se transfirió esta arena a la balanza, pesando con aproximación de 0.1 g.

Se determinó el volumen de arena contenido en el ladrillo perforado, con la siguiente fórmula:

$$V_s = \frac{500ml}{S_c} * S_u \quad (2. 8)$$

Donde:

Vs: Volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo.

Sc: Peso, en g de 500 ml de arena contenido en la probeta.

Su: Peso, en gr de la arena contenido en el ladrillo perforado.

Luego se determinó el porcentaje de vacíos como sigue:

$$\% \text{Área vacíos} = \frac{V_s}{V_u} * \frac{1}{1.64} * 100 \quad (2. 9)$$

Donde:

Vs: Volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo.

Vu: Longitud x ancho x alto.

Los resultados se expresan en la Tabla 15.

#### **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 sollicitaciones de carga reales, no es fácil conocer, ya que los ensayos son costosos, por lo que se elaboró especímenes pequeños (pilas y muretes) a las cuales se les aplicó cargas que son iguales a las sollicitaciones reales.

**a. Pilas**

✓ **Procedimientos de construcción**

Se construyeron 10 pilas de 6 hiladas, 5 pilas de ladrillo fabricado artesanalmente y 5 pilas de ladrillo elaborado industrialmente, con un espesor de mortero de 12 mm, (Fig. 40 del Anexo B). Debido a la alta succión de los ladrillos de arcilla, se regó las unidades por media hora el mismo día antes del asentado.

El diseño del mortero se realizó analíticamente (ver Anexo A), con las proporciones indicadas en la Norma E-070, para muros portantes.

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

Al momento de la construcción se controló 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.

✓ **Montaje e instrumentación**

Se registró 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 colocó manualmente en la maquina universal para ensayos con acero, aplicándose la carga, leyéndose en el dial de carga cada 250 Kg, y con la ayuda de un deflectómetro se registró las deformaciones, para obtener las gráficas Esfuerzo vs. Deformación unitaria (Fig. 41 del Anexo B).

✓ **Cálculo de la resistencia a compresión axial.**

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

$$f_m = \frac{P_{\text{máx.}}}{\text{Área}} \quad (2. 10)$$

Donde:

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

$P_{\text{máx.}}$ : Fuerza máxima que resiste la pila (Kg)

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

Luego se corrigió  $f_m$  según el factor de corrección por esbeltez de la pila, expresados en la Tabla 7.

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 Tabla 16 .

$$f'_m = f_m - \sigma \quad (2. 11)$$

Donde:

$f_m$ : Resistencia a compresión (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 (Fig. 42 del Anexo B).

Las pilas de ladrillo fabricado industrialmente tuvieron una falla frágil y trituración en los bordes (Fig. 43 del Anexo B).

✓ **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 500 kg de carga aplicada para cada una de las unidades de albañilería, con las dimensiones de ancho, largo y altura encontradas anteriormente, con los 5 pilas ensayadas de cada tipo y con los datos obtenidos se procedió a dibujar la gráfica Esfuerzo vs deformación unitaria, haciendo un diagrama de dispersión para cada tipo de ladrillo (artesanal e industrial).

Para calcular el módulo de elasticidad se asume de la gráfica esfuerzo – deformación unitaria, 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 elasticidad es el siguiente:

$$Em = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%})/A}{(\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%})/L_i} \quad (2. 12)$$

Donde:

$P_{50\%}$  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:

$$Em = \frac{\delta}{\varepsilon} \quad (2. 13)$$



Donde:

Em: Modulo de elasticidad.

$\delta$ :  $\sigma'$  (50%) –  $\sigma'$  (10%): 50% menos el 10 % del esfuerzo.

$\epsilon$ :  $\epsilon'$  (50%) –  $\epsilon'$  (10%): 50% menos el 10 % de la deformación Unitaria.

## **b. Muretes**

### ✓ **Procedimiento de construcción**

Se construyeron 6 especímenes de 1.00 \* 1.00 m, 3 muretes de ladrillo fabricado artesanalmente y 3 muretes de ladrillo elaborado industrialmente, con un espesor de mortero de 12 mm y 15 mm, debido a la alta succión de los ladrillos de arcilla, se regó las unidades por media hora el mismo día antes del asentado (Fig. 44 del Anexo B).

Para el diseño del mortero encuentran los valores analíticamente (ver Anexo A), con las proporciones indicadas en la Norma E-070, para muros portantes.

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

Al momento de la construcción se controló la verticalidad con un nivel y plomada.

Se realizó el curado según lo indicado en la Norma E-070, (Fig. 47 del Anexo B).

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 de compresión se efectuó cuando los especímenes cumplieron los 30 días de edad. Luego de construir los muretes se colocó 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 (Fig. 46 del Anexo B). Los muretes se ensayaron cuando cumplieron 30 días de edad.

✓ **Peso volumétrico de la albañilería**

El registro del peso de cada murete se realizó mediante una balanza con capacidad de 300 Kg, con una aproximación de 0.01 g; los resultados se expresan en la Tabla 17

✓ **Instrumentación y montaje**

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

Luego se colocó el murete con los ángulos de acero en los extremos, debidamente plomado con el péndulo de la maquina universal (Fig. 47 del Anexo B), se colocaron con cuidado dos "L" en el muro y anexados a soportes universales se colocaron deflectómetros para poder medir la deformación vertical y horizontal (Fig. 48 del Anexo B). Se empezó aplicar la carga a una velocidad de 25 Ton/min.

✓ **Calculo de la resistencia al corte en muretes.**

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

$$v_m = \frac{P_{\text{máx}}}{A_d} \quad (2. 14)$$

Donde:

$v_m$ : Resistencia al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)

P máx.: Máxima Fuerza que resiste en murete (Kg)

A<sub>d</sub>: 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).

$$v'_m = v_m - \sigma \quad (2. 15)$$

$v_m$ : 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 18.

Los muretes de ladrillo fabricado artesanalmente en el sector Plan Miraflores del Centro Poblado Otuzco, 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 (Fig. 49 del Anexo B).

Los muretes de ladrillo elaborado industrialmente por la fábrica Rex en Lima, tuvieron una falla frágil, inclinada, escalonada, diagonal y se trituró el ladrillo en los puntos de apoyo de los ángulos (Fig. 50 del Anexo B).

#### ✓ **Calculo del Módulo de corte (Gm)**

Se colocó un deformímetro para medir la deformación horizontal y otro para medir la deformación vertical cada 500 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 3 muros ensayadas de cada tipo, se procedió a dibujar la gráfica Esfuerzo vs deformación unitaria, haciendo un diagrama de dispersión para cada tipo de ladrillo (artesanal e industrial).

Para calcular el módulo de corte se asume 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:

$$Gm = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%}) / A_{diagonal}}{(\varepsilon_{H50\%} - \varepsilon_{H10\%}) / LH_i + (\varepsilon_{V50\%} - \varepsilon_{V10\%}) / Lv_i} \quad (2. 16)$$

Donde:

$P50\%$  y  $P10\%$ : Carga axial al 50% y al 10%.

$\varepsilon H50\%$  y  $\varepsilon H10\%$ : Deformación Horizontal al 50% y al 10%.

$\varepsilon V50\%$  y  $\varepsilon V10\%$ : Deformación Vertical al 50% y al 10%.

Adiagonal: Área diagonal.

LHi y LVi: longitud inicial Horizontal y vertical respectivamente

En resumen:

$$Gm = \frac{\delta}{\varepsilon V + \varepsilon H} \quad (2. 17)$$

Donde:

Gm: Modulo de elasticidad.

$\varepsilon V$ :  $\varepsilon_{uv}$  (50%) –  $\varepsilon_{uv}$  (10%): 50% menos 10% de la deformación Vertical

$\varepsilon H$ :  $\varepsilon_{uH}$  (50%) –  $\varepsilon_{uH}$  (10%): 50% menos 10% de la deformación Horizontal

## E. Diseño Analítico del mortero.

El diseño del mortero se realizó analíticamente, con los datos obtenidos de la granulometría de la arena gruesa de la cantera el Gavilán, propiedades físicas del agregado grueso (Ver Anexo A.), cemento portland tipo I (bolsa verde), cal hidratada 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 1:1/4:4 (cemento: cal: arena). Ver diseño de mortero en Anexo A.

### a. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión  $f_c$  se determinó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta en los testigos cilíndricos de 5.08 cm de diámetro y 10.16 cm de altura; y la resistencia a compresión característica del mortero  $f'_c$  se obtuvo restando una desviación estándar al promedio de los resultados.

$$f_c = \frac{\text{Carga M\u00e1x}}{\text{\u00c1rea Bruta}}$$

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

Los testigos cil\u00edndricos se observan en ( Fig. 51 del Anexo B)

✓ **M\u00f3dulo de elasticidad del mortero (E'm).**

Se coloc\u00f3 un deform\u00edmetro en la m\u00e1quina universal para ensayos de acero (Fig. 52 del Anexo B), para medir las deformaciones totales cada 200 kg de carga aplicada para cada una de las unidades de alba\u00f1iler\u00eda, con las dimensiones de 5.08 cm de di\u00e1metro y 10.16 cm de altura, con las 30 probetas de mortero y con los datos obtenidos, se procedi\u00f3 a dibujar la gr\u00e1fica Esfuerzo vs deformaci\u00f3n unitaria, haciendo un diagrama de dispersi\u00f3n para todos los espec\u00edmenes de mortero.

Para obtener el esfuerzo ( $\sigma$ ) y la deformaci\u00f3n unitaria ( $\epsilon_u$ ) se utilizaron las f\u00f3rmulas siguientes:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2. 18)$$

$$\epsilon_u = \frac{\epsilon_t}{h} \quad (2. 19)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo

P: Carga Aplicada

A: \u00c1rea en la que se aplica la carga (Largo x Ancho)

$\epsilon_u$ : Deformaci\u00f3n Unitaria.

$\epsilon_t$ : Deformaci\u00f3n Total.

h: Altura del ladrillo

Los m\u00f3dulos de elasticidad se calcul\u00f3 en el l\u00edmite proporcional el\u00e1stico dada con la gr\u00e1fica esfuerzo vs deformaci\u00f3n unitaria para todos los espec\u00edmenes de mortero.

**b. Resistencia al corte (Rc)**

Se usaron tripletes de albañilería (Fig. 53 del Anexo B), se aplicó la carga en la parte superior del triplete, hasta la falla, anotando la carga última (Fig. 54 del Anexo B).

La resistencia al corte se calculó mediante la fórmula:

$$Rc = \frac{\text{Carga Máx}}{\text{Area de corte}}$$

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Descripción de las unidades de albañilería ensayadas.

- ✓ El ladrillo fabricado artesanalmente en el Sector Plan Miraflores del Centro Poblado Otuzco, no cumple con las dimensiones que el fabricante menciona al momento de la venta (21\*13\*8 cm), ni alcanza una resistencia característica a la compresión de clasificación  $f_b = 4.23$  MPa (43.09 Kg/cm<sup>2</sup>), clasificándose como un ladrillo tipo I. (Tabla 8)
  
- ✓ El ladrillo elaborado industrialmente en la fábrica Rex de Lima, no cumple con las dimensiones descritas en la página web de publicidad <http://www.ladrillosRex.com/paredes.html> (23\*13\*9 cm), pero, si alcanza la resistencia característica a la compresión de clasificación  $f_b = 14.38$  MPa (146.6 Kg/cm<sup>2</sup>), para un ladrillo tipo IV (Tabla 8).

**Tabla 8. Características de los ladrillos artesanales del sector Plan Miraflores del CP Otuzco – Cajamarca y ladrillos industriales Rex**

Características	Ladrillo Artesanal C.P.	Ladrillo Industrial Rex
	Otuzco	de Lima
Tipo	King Kong Sólido	King Kong de 18 huecos
% huecos	0	28.65
Dimensiones	20.9x12.7x7.8	22.8x12.9x9.1 cm
Número de probetas ensayadas	20	20
Peso	3.31 kg	2.72 kg
Resistencia característica a la compresión ( $f_b$ )	4.23 MPa (43.3 kg/cm <sup>2</sup> )	14.38 MPa (146.6 kg/cm <sup>2</sup> )
Desviación estándar ( $\sigma$ )	1.88 MPa (19.20 kg/cm <sup>2</sup> )	2.15 MPa (21.95 kg/cm <sup>2</sup> )
Coefficiente de variación (cv)	30.81 %	13.01 %

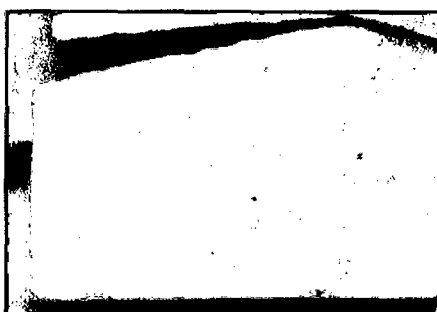


Fig. 26. Ladrillo de arcilla fabricado artesanalmente por la ladrillera del señor Andrés Chilón en el Plan Miraflores del centro poblado menor de Otuzco.

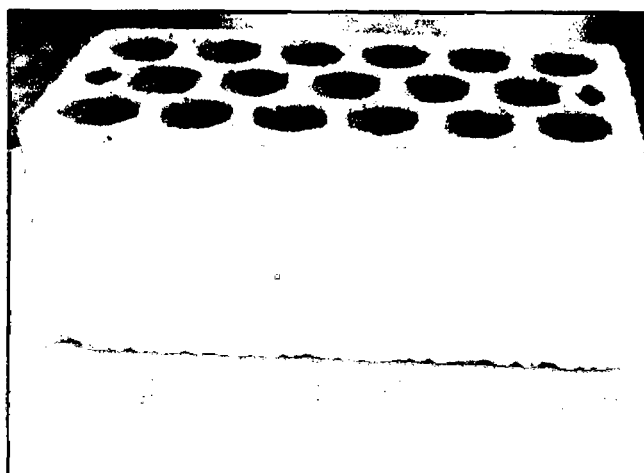


Fig. 27. Ladrillo de arcilla fabricado industrialmente por la fábrica "Rex" de la ciudad de Lima

## 4.2. Ensayos clasificatorios de ladrillo

### a. Variación dimensional

- ✓ De la Tabla 9 se deduce que el ladrillo producido artesanalmente en el Sector Plan Miraflores del CP Otuzco – Cajamarca. Tiene una variación dimensional de 2.22 % respecto a las medidas indicadas (21\*12\*8) por el fabricante al momento de la compra, teniendo un c.v. de 2.23 %.
- ✓ Además expresan que el ladrillo elaborado industrialmente por la fábrica Rex en Lima, presenta una variación dimensional del 0.75 %, respecto a las medidas indicadas (23\*12.5\*9), al momento de la compra y en la web de la ladrillera.



- ✓ El ladrillo industrial Rex, tiene mayor uniformidad en las dimensiones brindadas por el fabricante en relación al ladrillo Artesanal.
- ✓ Según la Norma E-070 los dos ladrillos tienen un porcentaje menor al máximo indicado para un ladrillo clase I, y clase IV respectivamente, siendo el ladrillo Rex el más uniforme en sus dimensiones, así mismo tiene un c.v. De 0.65%

El proceso de cálculo se encuentra el Anexo A.

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

<b>Ladrillo Artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco</b>			
<b>Característica</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>
Medida brindada por el fabricante	L=210.00 mm	A=130.00 mm	H=80.00 mm
Desviación estándar ( $\sigma$ )	$\sigma =2.04$	$\sigma =2.04$	$\sigma =1.75$
Medias Promedio	209.71 mm	127.48 mm	78.23 mm
Coefficiente de variación (c.v.)	0.97 %	0.79 %	2.23 %
Variación Dimensional	0.14 %	1.94 %	2.22 %
<b>Ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima</b>			
<b>Característica</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>
Medida brindada por el fabricante	L=230.00 mm	A=130.00 mm	H=80.00 mm
Desviación estándar ( $\sigma$ )	$\sigma =1.27$	$\sigma =0.84$	$\sigma =1.75$
Medias Promedio	228.41 mm	127.48 mm	78.23 mm
Coefficiente de variación (c.v.)	0.55 %	0.65 %	0.52 %
Variación Dimensional	0.69 %	0.46 %	-0.75 %

## b. Alabeo

Podemos observar Tabla 10 en la que tanto el ladrillo fabricado artesanalmente e industrialmente. Cumplen lo señalado en la norma E – 070. Para un ladrillo de clase I y clase IV respectivamente, siendo más cóncavo en 0.99 mm y más convexo en 0.98 mm el ladrillo artesanal y por ende, los muros tendrán mayor espesor de mortero, afectando esto a la resistencia ya que por cada milímetro de junta adicional de mortero, el resistencia baja un 15 %.

El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

**Tabla 10. Resultados del ensayo de alabeo del ladrillo.**

<b>Ladrillo Artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco</b>	
Cóncavo	0.99
Convexo	0.98
<b>Ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima</b>	
Cóncavo	0.48
Convexo	0.33

## c. Compresión simple

Se puede observar en la Tabla 11 que el ladrillo producido artesanalmente en el Sector Plan Miraflores del CP Otuzco – Cajamarca, tiene una resistencia a la compresión simple de 4.23 Mpa (43.09 kg/cm<sup>2</sup>) y el ladrillo elaborado industrialmente por la fábrica Rex en lima, tiene una resistencia a las compresión simple de 14.38 Mpa (146.68 kg/cm<sup>2</sup>), clasificando dichos valores como ladrillo de clase I y clase IV respectivamente según la norma E – 070

De los valores anteriores el ladrillo Rex tiene mayor resistencia a la compresión simple en un 240.40 % con respecto al ladrillo artesanal, esto se debe a que el ladrillo industrial es elaborado de forma mecanizada, respetando las normas y los estándares de calidad, siendo más uniforme en sus medidas y composición, en cambio el ladrillo artesanal es elaborado de forma empírica sin respetar la normas y tiene variaciones de unidad a unidad.

El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

**Tabla 11. Resultados de los Ensayos de compresión del ladrillo**

<b>Ladrillo Artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco</b>		
<b>Característica</b>	<b>Mpa</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
Resistencia a la compresión promedio (fb)	6.11	32.29
Desviación estándar ( $\sigma$ )	1.88	19.20
Resistencia a la compresión (f'b)	4.23	43.09
Coefficiente de variación (c.v.) %	30.82	30.82
<b>Ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima</b>		
<b>Característica</b>	<b>Mpa</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
Resistencia a la compresión (fb)	16.54	168.63
Desviación estándar ( $\sigma$ )	2.15	21.95
Resistencia a la compresión (f'b)	14.38	146.68
Coefficiente de variación (c.v.) %	13.01	13.01

✓ **Módulo de elasticidad (Eb)**

De la Tabla 12 podemos observar que los módulos de elasticidad son menores con respecto a los teóricos en -57.82% para el ladrillo artesanal elaborado en el Plan Miraflores del C.P. menor de Otuzco y -66.75% para el ladrillo elaborado industrialmente por la fábrica Rex de Lima, 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 e Industrial**

Tipo	Módulo de Elasticidad (Eb) (kg/cm <sup>2</sup> ) Práctica	Módulo de Elasticidad (Eb) (kg/cm <sup>2</sup> ) Teórica	Diferencia teórica y practica (%)
LAO	9829.78	17692	-44.43
LIR	2074.39	58672	-64.65

LAO: Ladrillo artesanal Plan Miraflores Otuzco

LIR: Ladrillo industrial Rex

### 4.3. Ensayos no clasificatorios de ladrillo

#### a. 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 del ladrillo elaborado en el Sector Plan Miraflores del CP Otuzco y por la Fabrica REX, tienen valores que sobrepasan lo señalado por la Norma E-070, por lo que debe regarse 30 minutos un día antes de ser asentados. Así mismo se puede indicar que el ladrillo fabricado artesanalmente tiene más capacidad de succión en 19.80gr/200 cm<sup>2</sup> – min.

El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

**Tabla 13. Resultados del ensayo de Succión de ladrillo.**

<b>Ladrillo Artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco</b>	
Succión Promedio	48.67
Desviación estándar ( $\sigma$ )	10.48
Coeficiente de variación (c.v.)	21.54 %
<b>Ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima</b>	
Succión Promedio	28.87
Desviación estándar ( $\sigma$ )	4.02
Coeficiente de variación (c.v.)	13.95

**b. 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 del ladrillo Artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco:  
14.6% < 22%

Absorción del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima: 12.2% < 22% Por lo tanto los dos ladrillos cumplen con la norma E – 070 de albañilería y el ladrillo elaborado artesanalmente en sector Plan Miraflores del CP Otuzco – Cajamarca, tiene mayor capacidad de absorción en 2.4%.

El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

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

<b>Ladrillo Artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco</b>	
Succión Promedio	14.6
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.62
Coeficiente de variación (c.v.)	4.28 %
<b>Ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima</b>	
Succión Promedio	12.2
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.48
Coeficiente de variación (c.v.)	3.91 %

### c. Porcentaje de área de huecos

Se debe de tener en cuenta que las perforaciones pueden favorecer a la cocción interna de los ladrillos de arcilla pero en exceso pueden ocasionar una falla frágil cuando la unidad está bajo esfuerzos de compresión. Por tal razón la Norma E – 070, recomienda emplear ladrillos con un máximo de 30% de perforaciones en la cara del asentado.

De la Tabla 15:

El ladrillo fabricado industrialmente por la fábrica Rex de Lima tiene un 28.65% de perforaciones del área de la cara de asentado, facilitando que el mortero penetre y tenga mayor adherencia entre ladrillo superior e inferior del asentado.

El ladrillo fabricado artesanalmente en el Sector Plan Miraflores del CP Otuzco, es totalmente sólido. Por lo que los dos tipos de ladrillo cumplen con la norma E – 070, como unidades sólidas para ser usadas en zonas sísmicas 2 y 3, en la construcción de muros portantes de edificaciones de 1 a 3 pisos.

**Tabla 15. Resultado del ensayo de porcentaje de área de huecos del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima.**

<b>Ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima</b>	
% de huecos	28.65
Desviación estándar $\sigma$	0.78
Coefficiente de variación (cv)	2.71 %

#### 4.4. Prismas de albañilería

##### a. Pilas

##### ✓ Ensayo a la Resistencia a Compresión Axial

La resistencia promedio de las pilas es mayor la del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima respecto a las pilas elaboradas con ladrillo del sector Plan

Miraflores del CP Otuzco – Cajamarca en  $\Delta f'm = 29.59 \text{ kg/cm}^2$ , el cual nos muestra que el ladrillo REX tiene mayor variación entre una pila y otra (Tabla 16).

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

Tabla 16. Resultados del ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo

<b>Ladrillo Artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco</b>	
<b>Espécimen</b>	<b>Resistencia compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
PLAO-01	47.24
PLAO-02	36.29
PLAO-03	37.64
PLAO-04	35.75
PLAO-05	35.85
<b>Promedio (fm)</b>	<b>38.55</b>
<b>Desviación estándar <math>\sigma</math></b>	<b>4.91</b>
<b>Resistencia a la compresión (f'm)</b>	<b>33.64</b>
<b>Coefficiente de variación (c.v.)</b>	<b>12.74 %</b>
<b>Ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima</b>	
<b>Espécimen</b>	<b>Resistencia compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
PLIR-01	81.77
PLIR-02	63.24
PLIR-03	70.72
PLIR-04	77.72
PLIR-05	63.88
<b>Promedio (fm)</b>	<b>71.46</b>
<b>Desviación estándar <math>\sigma</math></b>	<b>8.23</b>
<b>Resistencia a la compresión (f'm)</b>	<b>63.23</b>
<b>Coefficiente de variación (c.v.)</b>	<b>11.52 %</b>

✓ **Módulo de elasticidad en Pilas.**

Según las gráficas el módulo de elasticidad en pilas de ladrillo artesanal elaborado en el sector Plan Miraflores del CP Otuzco tiene un valor de  $2.28E+04 \text{ Kg/cm}^2$  y las pilas del ladrillo industrial elaborado por Rex de la ciudad de Lima, tiene un valor de  $4.70E+04 \text{ Kg/cm}^2$ .

De esto se puede deducir que el Módulo de elasticidad de las pilas de albañilería elaborado con ladrillo industrial de la fábrica Rex de Lima, tiene mayor capacidad de elasticidad a diferencia de las pilas elaboradas con ladrillo fabricado artesanalmente en el sector Plan Miraflores del CP Otuzco,  $\Delta E_m = 1.42E + 04$ . El cual tendría un mejor comportamiento ante las cargas sísmicas.

**b. Muretes**

✓ **Calculo del peso volumétrico de los muretes.**

De la Tabla 17 : Estos resultados indican que el murete de ladrillo Rex de la Ciudad de Lima, tiene menor peso volumétrico respecto al ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco – Cajamarca, por las perforaciones que tiene el ladrillo y el mortero no llega a rellenar todo el volumen de vacíos. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

**Tabla 17. Resultados del peso volumétrico de muretes de ladrillo.**

Ladrillo de Arcilla	Espécimen	Peso Volumétrico (ton/m3)	Promedio (ton/m3)
Artesanal	MLAO - 01	1.87	1.79
	MLAO - 02	1.79	
	MLAO - 03	1.71	
Industrial	MLIR - 01	1.42	1.43
	MLIR - 02	1.41	
	MLIR - 03	1.47	

MLAO: Muros Ladrillo fabricado artesanalmente en Otuzco.

MLIR: Muros de Ladrillo Industrial Rex



✓ **Ensayo a la resistencia al corte de los muretes.**

De la Tabla 18. La resistencia promedio  $v'_m$  al corte de los muretes del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco – Cajamarca, es mayor respecto a la resistencia promedio  $v'_m$  al corte del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima,  $\Delta v'_m = 0.15 \text{ kg/cm}^2$ , Esto debido a que el ladrillo totalmente solido aporta al esfuerzo cortante durante el ensayo cuando la grieta recorre el ladrillo por su mayor área de corte, existiendo una diferencia mínima entre los muretes con espesor de junta de 12 mm y 15 mm, posiblemente debido al mortero mixto con el que se adhirió los ladrillos.

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 18. Resultados de ensayos a la resistencia de corte de muretes del ladrillo.**

<b>Ladrillo Artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco</b>	
<b>Espécimen</b>	<b>Resistencia al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
MLAO – 01	7.44
MLAO – 02	7.03
MLAO – 03	7.56
Promedio (vm)	7.34
Desviación estándar $\sigma$	0.28
Módulo de elasticidad (v'm)	7.07
Coefficiente de variación (c.v.)	3.77%
<b>Ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima</b>	
<b>Espécimen</b>	<b>Resistencia al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
MLIR – 01	7.29
MLIR – 02	6.89
MLIR – 03	7.46
Promedio (vm)	7.29
Desviación estándar $\sigma$	7.21
Módulo de elasticidad (v'm)	0.29
Coefficiente de variación (c.v.)	6.92

✓ **Módulo de corte en muretes (Gm)**

Según las gráficas el módulo de corte de muretes de ladrillo artesanal elaborado en el sector Plan Miraflores del CP Otuzco tiene un valor de  $1.96E+04 \text{ Kg/cm}^2$  y muretes de ladrillo industrial elaborado por Rex de la ciudad de Lima, tiene un valor de  $3.16E+04 \text{ Kg/cm}^2$ .

De esto se puede deducir que el Módulo de corte de los muretes de albañilería elaborado con ladrillo industrial de la fábrica Rex de Lima, tiene mayor capacidad al corte que los muretes elaboradas con ladrillo fabricado artesanalmente en el sector Plan Miraflores del CP Otuzco,  $\Delta G_m = 1.20E + 04$ . El cual tendrá un mejor comportamiento ante las cargas sísmicas.

✓ **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:

$$E_m = 500f'_m \quad (3. 1)$$

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 ( $E_m$ )

$$G_m = 0.4 * E_m \quad (3. 2)$$

En la Tabla 19:

Se observa las diferencias entre el los cálculos prácticos y teóricos del  $f'_m$ ,  $E_m$  y  $G_m$ .

Tabla 19. 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	
	$f_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$G_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$G_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_m$ (%)	$G_m$ (%)	
King Kong Artesanal	33.64	2.28E+04	1.96E+04	1.68E+04	6.73E+03	35.55	191.32	
King Kong Industrial	63.23	4.70E+04	3.16E+04	3.16E+04	1.26E+04	48.66	149.87	

Artesanal: Fabricados en el Sector Plan Miraflores del C.P. Otuzco

Industrial: Fabrica Rex - Lima

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 20, que los ladrillos no sobrepasan el valor máximo, por lo que  $v'_m$  de diseño será el valor menor de  $v'_m$  y 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 20. Análisis de resistencia al corte.**

Unidades de Albañilería	Ensayos de Laboratorio		Según NTP - 070	$V'_m$ diseño
	$V'_m$	$f'_m$	$V'_m \text{ máx} = v f'_m$	$\text{kg/cm}^2$
	( $\text{kg/cm}^2$ )	( $\text{kg/cm}^2$ )	$\text{kg/cm}^2$	
King Kong Artesanal	7.07	33.64	5.80	5.80
King Kong Industrial	6.92	63.23	7.95	6.92

Los esfuerzos  $v'_m$  obtenidos en el laboratorio para King Kong artesanal es mayor al 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  $v'_m$  actuante  $\leq v'_m$  de diseño, con el propósito de evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados, que son los más frecuentes, en cambio para el ladrillo industrial se debe considerar el  $v'_m$  encontrado para el diseño.

#### 4.5. Mortero.

##### a) Ensayo a compresión axial de las probetas de mortero y cálculo del módulo de elasticidad.

De la Tabla 21 nos indica que ha tenido una resistencia mayor a  $140 \text{ Kg/cm}^2$ . cumpliendo con el diseño, el cual ha contribuido en el aumento de la resistencia axial en las pilas.

**Tabla 21. Resultados de los Ensayos de compresión del mortero.**

<b>Mortero Tipo P2 (1:0.25:4)</b>		
<b>Característica</b>	<b>Mpa</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
Resistencia a la compresión promedio (fc)	16.57	169.04
Desviación estándar ( $\sigma$ )	1.25	12.82
Resistencia a la compresión (fc)	15.32	156.22
Coefficiente de variación (c.v.) %	7.58 %	7.58 %

✓ **Resultado del módulo de elasticidad del mortero.**

De acuerdo al proceso de cálculo mostrado en el Anexo A , el módulo de elasticidad del mortero se obtuvo el valor de 126491.23 kg/cm<sup>2</sup> y podemos apreciar que el módulo de elasticidad encontrada es menor al teórico en - 53.15%.

Los resultados de los ensayos de las probetas del mortero se observan en la Tabla 48 del Anexo A.

**b) Ensayo a corte de mortero (tripletes)**

Los ensayos de los tripletes se realizaron en la máquina de compresión, cuyos resultados se expresan en la siguiente tabla.

**Tabla 22: Ensayo de tripletes.**

<b>Ensayos de tripletes de albañilería</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Resistencia al corte (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Triplete de ladrillo Artesanal Otuzco	9.02
Triplete de ladrillo Industrial Rex	14.09

De la tabla anterior, podemos ver que el triplete fabricado con ladrillo industrial Rex tiene mayor resistencia al corte que el triplete fabricado con ladrillo artesanal del Sector Plan Miraflores – Otuzco en  $6.07 \text{ Kg/cm}^2$ .

Los ladrillos artesanales fallaron en las apoyos, en cambio los industriales fallo en mortero y también en los apoyos (Fig. 55 y Fig. 56 del Anexo B)

#### **4.6. Contraste de hipótesis.**

Se verifica que los ladrillos industriales Rex de la ciudad de Lima clasifica como ladrillo de tipo IV en la norma E- 070 y el ladrillo de arcilla cocida elaborado artesanalmente en Centro poblado de Otuzco - Cajamarca, clasifica como ladrillo de tipo I en la norma E- 070.

## **CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **A. Conclusiones**

1. De acuerdo a las propiedades encontradas y para fines estructurales los ladrillos artesanales fabricados en el Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco califican como un ladrillo Tipo I y puede ser usado sólo en las zona 1 y zona 2 (máximo 2 pisos) y los Ladrillos fabricados industrialmente por Rex de Lima, califican como un ladrillo tipo IV, y se puede usar en las diferentes zonas sísmicas en edificios de hasta 4 pisos, esta clasificación de acuerdo a la norma E – 070, y la Tabla 2 de la presente investigación.
2. La variación dimensional en el ladrillo artesanal king kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco (2.22%) con un coeficiente de variación (c.v.) 2.23 % es mayor respecto a la variación dimensional en el ladrillo industrial Rex de la ciudad de Lima (0.75%) con un c.v. 0.65 %.
3. El alabeo en el ladrillo artesanal king kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco (convexo: 0.99, cóncavo: 0.98) es mayor respecto al alabeo en el ladrillo industrial Rex de la ciudad de Lima (convexo: 0.48, cóncavo: 0.33)
4. La resistencia característica a la compresión axial de las pilas del ladrillo artesanal king kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco (4.23 Mpa - 43.3kg/cm<sup>2</sup>) con coeficiente de variación de es menor respecto a las pilas de ladrillo industrial Rex de la ciudad de Lima (14.38 Mpa - 146.6kg/cm<sup>2</sup>). Lo mismo sucede en módulo de elasticidad, en el que el ladrillo artesanal (Eb=9829.78 kg/cm<sup>2</sup>) es menor al del ladrillo industrial (Eb=207439 kg/cm<sup>2</sup>), no llegando a los módulos de elasticidad teóricos (17692 kg/cm<sup>2</sup> y 58672 kg/cm<sup>2</sup> artesanal e industrial respectivamente) teniendo diferencias de -44.43 % y -64.65% del ladrillo artesanal e industrial respectivamente.
5. La succión en el ladrillo artesanal king kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco (48.67%) con un c.v. 21.54 % es mayor respecto a la succión

en el ladrillo industrial Rex de la ciudad de Lima (28.87% %) con un c.v. 13.95%.

6. La absorción en el ladrillo artesanal king kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco (14.6 %) con un c.v. 4.28 % es mayor respecto a la absorción en el ladrillo industrial Rex de la ciudad de Lima (12.2 %) con un c.v. 3.91 %.

7. El área de huecos en el ladrillo industrial Rex de la ciudad de Lima es de 28.65 % con un c.v. de 2.71 %

8. Las pilas construidas con ladrillo king Kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco, tuvieron una falla que atravesó al ladrillo y el mortero, en cambio en el ladrillo industrial Rex la falla fue frágil, además, la resistencia a compresión de las pilas hechas con ladrillo artesanal (33.64 kg/cm<sup>2</sup>) con un c.v. 12.74% fueron menores a las pilas hechas con ladrillo industrial (63.23 kg/cm<sup>2</sup>) con un c.v. 11.52 %.

9. La resistencia al corte en muretes construidos con ladrillo king Kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco (7.07 kg/cm<sup>2</sup>) con un c.v. 3.77% es mayor a los valores obtenidos para muretes construidos de ladrillo industrial Rex de Lima (6.92 kg/cm<sup>2</sup>) con un c.v. 4.04 %

10. El módulo de elasticidad ( $E_m=2.28E+04$  kg/cm<sup>2</sup>) y el módulo de corte ( $G_m= 1.96E+04$  kg/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos king Kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco son menores a los valores de los ladrillos industriales Rex de Lima ( $E_m=4.70E+04$  kg/cm<sup>2</sup>,  $G_m= 3.16E+04$  kg/cm<sup>2</sup>), teniendo estos últimos mejor comportamiento en las edificaciones ante los sismos moderados que son más frecuentes en el Perú.

11. Los muretes fabricados con ladrillos king Kong del Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco, tuvieron una falla violenta y frágil, por falta de



confinamiento, la falla cruzó el ladrillo y el mortero; mientras que en los muretes de ladrillo Industrial Rex de Lima, tuvieron una falla frágil, inclinada, escalonada y se trituro en el ladrillo en el punto de apoyo de los ángulos. Los muretes de los dos tipos han tenido el comportamiento que se asemeja a la de una estructura no confinada ante sollicitaciones sísmicas, en este caso tracción diagonal.

## **B. Recomendaciones**

1. Se recomienda usar el ladrillo fabricado en el Plan Miraflores del C.P. Menor de Otuzco para edificaciones de hasta 2 pisos en las zonas sísmicas 1 y 2; de la misma manera se recomienda usar el ladrillo industrial Rex, para edificaciones de más de 4 pisos en las zonas sísmicas 1 y 2 y de hasta 4 pisos en la zona sísmica 3.
2. En Cajamarca existe muchas ladrilleras artesanales es por eso que se recomienda hacer un estudio de las diferentes ladrilleras ubicadas en Otuzco, Cerrillo, Huacataz, Santa Barbara, San Jose, y así tener una base de datos de las ladrilleras para tener una mejor referencia a la hora de construir.
3. Las ladrilleras artesanales en Cajamarca, 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 BIBLIOGRÁFICAS

1. Afanador N; Guerrero, G; Mornroy, R 2012, Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Bogotá UMNG. 15 p.
2. Ángeles, D. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de u muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla. Ing. Civil. Lima, Perú PUCP. 96 p.
3. Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Albañilería Estructural. Tercera Ed. Lima, Perú. Fondo Edit. PUCP. 444 p.
4. GALLEGOS VARGAS, HÉCTOR, Albañilería estructural, editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima1991., 1963
5. GRIMM CT, Clay brick masonry weight variation, Journal of Architectural Engineering, 1996 2(4): 135-137.
6. 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. 188 p.
7. TOLA MENOZA, ENRIQUE, Ladrillo, editorial Universidad Nacional de Ingeniería, Lima 1963.
8. NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 – ALBAÑILERÍA, Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima 2006.
9. NORMA TÉCNICA PERUANA 331.017. Ladrillos usados en albañilería, 2003, Lima.

10. PAREDES CASTRO, JONATHAN; CAYCHO PÉREZ, DAVID, Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica, Tesis de título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Abril 2009.
11. Pastorutti, A. y San Bartolomé, A. 1985. Ensayo de carga lateral en muros de albañilería confinados – efectos del refuerzo. Lima PUCP.
12. Quiun, D; San Bartolomé, A; Mendoza, G. 2005. Corrección por esbeltez en pilas de albañilería ensayadas a la compresión axial. Lima. PUCP.
13. San Bartolomé, A. 1994. Construcciones de albañilería. Comportamiento sísmico y diseño estructural. Primera Ed. Lima, Perú, Fondo Edit. PUCP, 246 p.
14. San Bartolomé, A, 2005. COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA - INFORME FINAL (Capítulos 1 a 10). Lima, SENCICO. 147 p.
15. San Bartolomé, A; Ángeles, P. 2008. Comparación del comportamiento sísmico de muros confinados construidos con ladrillos de concreto y de arcilla cocida. Lima, PUCP.
16. Seminario, R, 2013. Variabilidad De Las Propiedades De Los Ladrillos Industriales De 18 Huecos En La Ciudad De Piura. Piura. UDP.

## ANEXOS

### Anexo A. Procesamiento de Datos

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

Tabla 23. Ensayo de variación dimensional del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.

Especimen	Largo (mm)				Ancho (mm)				Altura (mm)						
	L1	L2	L3	L4	L0	A1	A2	A3	A4	A0	H1	H2	H3	H4	H0
LAO-01	215	214	213	213	213.75	128	128	126	128	127.50	78	76	78	78	77.50
LAO-02	210	209	209	208	209.00	126	127	126	125	126.00	77	75	74	74	75.00
LAO-03	207	210	209	208	208.50	127	128	127	128	127.50	78	74	77	74	75.75
LAO-04	208	209	210	208	208.75	128	128	127	128	127.75	77	78	79	75	77.25
LAO-05	211	212	211	211	211.25	128	128	127	127	127.50	82	80	79	80	80.25
LAO-06	209	208	208	209	208.50	126	128	128	127	127.25	75	76	75	79	76.25
LAO-07	211	211	212	210	211.00	128	128	127	130	128.25	77	80	79	76	78.00
LAO-08	212	211	211	206	210.00	129	130	128	128	128.75	79	79	79	80	79.25
LAO-09	207	207	211	210	208.75	126	127	125	127	126.25	76	77	75	76	76.00
LAO-10	214	212	214	213	213.25	127	130	131	128	129.00	80	79	80	79	79.50
LAO-11	206	208	206	210	207.50	127	128	128	129	128.00	80	79	83	80	80.50
LAO-12	208	209	210	211	209.50	128	128	127	127	127.50	76	78	80	77	77.75
LAO-13	208	208	205	207	207.00	126	125	127	127	126.25	75	79	78	78	77.50
LAO-14	211	209	207	209	209.00	127	126	125	126	126.00	76	80	78	79	78.25
LAO-15	209	208	209	212	209.50	127	124	126	127	126.00	79	79	75	77	77.50
LAO-16	210	211	212	211	211.00	129	127	127	128	127.75	81	80	77	76	78.50
LAO-17	209	208	209	210	209.00	125	126	127	128	126.50	84	80	79	77	80.00
LAO-18	209	208	207	209	208.25	129	129	128	130	129.00	80	83	78	80	80.25
LAO-19	208	208	206	206	207.00	128	128	129	127	128.00	77	80	79	76	78.00
LAO-20	214	214	213	214	213.75	127	129	131	128	128.75	88	79	80	79	81.50
Medidas dadas por el fabricante				L	210.00				A	130.00				H	80.00
Desviación estándar.				$\sigma$	2.04				$\sigma$	1.02				$\sigma$	1.75
Medidas promedio				$\bar{L}$	209.71				$\bar{A}$	127.48				$\bar{H}$	78.23
Variabilidad dimensional				%	0.14				%	1.94				%	2.22
Coefficiente de variación (cv)				c.v.	0.97 %				c.v.	0.79 %				c.v.	2.23 %

LAO: Ladrillo fabricado artesanalmente en Otuzco.

Tabla 24. Ensayo de variación dimensional del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima

Especímen	Largo (mm)				Ancho (mm)				Altura (mm)						
	L1	L2	L3	L4	L0	A1	A2	A3	A4	A0	H1	H2	H3	H4	H0
LIR-01	233	232	231	227	230.75	130	130	129	130	129.75	92	90	91	92	91.25
LIR-02	227	227	226	227	226.75	129	129	129	130	129.25	91	92	91	91	91.25
LIR-03	226	228	228	226	227.00	130	129	129	131	129.75	91	90	91	91	90.75
LIR-04	228	229	228	228	228.25	130	129	130	131	130.00	91	91	92	91	91.25
LIR-05	228	228	227	227	227.50	129	131	131	131	130.50	90	91	90	90	90.25
LIR-06	228	227	228	229	228.00	131	130	130	131	130.50	91	91	90	90	90.50
LIR-07	231	233	228	228	230.00	129	130	129	128	129.00	91	90	91	91	90.75
LIR-08	232	232	229	229	230.50	129	130	129	129	129.25	91	91	90	89	90.25
LIR-09	231	232	229	228	230.00	128	129	127	128	128.00	89	91	90	90	90.00
LIR-10	231	229	230	227	229.25	129	129	129	130	129.25	91	90	91	91	90.75
LIR-11	230	228	226	229	228.25	130	129	129	131	129.75	91	91	92	91	91.25
LIR-12	232	232	228	226	229.50	130	129	130	131	130.00	91	91	92	90	91.00
LIR-13	233	229	227	229	229.50	130	131	131	131	130.75	90	91	89	90	90.00
LIR-14	234	228	226	227	228.75	130	130	130	131	130.25	91	91	90	90	90.50
LIR-15	223	231	228	229	227.75	130	130	129	128	129.25	91	91	91	91	91.00
LIR-16	223	229	228	228	227.00	129	130	129	129	129.25	91	90	90	90	90.25
LIR-17	223	227	229	229	227.00	128	129	127	129	128.25	89	91	90	90	90.00
LIR-18	223	232	228	227	227.50	128	129	127	128	128.00	91	90	92	90	90.75
LIR-19	223	229	229	229	227.50	129	130	129	129	129.25	90	90	90	91	90.25
LIR-20	227	229	228	226	227.50	128	129	127	128	128.00	91	91	92	92	91.50
Medidas dadas por el fabricante				L	230.00				A	130.00				H	90.00
Desviación estándar.				$\sigma$	1.27				$\sigma$	0.84				$\sigma$	0.48
Medidas promedio				$\bar{L}$	228.41				$\bar{A}$	129.40				$\bar{H}$	90.68
Variabilidad dimensional				%	0.69				%	0.46				%	-0.75
Coefficiente de variación (c.v.)				c.v.	0.55 %				c.v.	0.65 %				c.v.	0.52 %

LIR: Ladrillos industriales Rex.

## 2. Cálculo del alabeo del ladrillo.

Tabla 25. Ensayo de alabeo del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.

Especímen	Cara A		Cara B	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
	(mm)		(mm)	
LAO-01	1.5	0.0	1.5	0.0
LAO-02	3.0	0.0	2.5	0.0
LAO-03	2.5	0.0	0.0	1.0
LAO-04	1.5	0.0	0.0	1.0
LAO-05	0.2	0.0	0.0	1.0
LAO-06	4.0	0.0	0.0	3.0
LAO-07	0.0	2.0	0.0	5.0
LAO-08	2.0	0.0	0.0	2.0
LAO-09	0.0	3.0	0.0	0.0
LAO-10	0.0	1.5	1.0	0.0
LAO-11	1.5	0.0	1.5	0.0
LAO-12	1.0	0.0	2.0	0.0
LAO-13	1.5	0.0	0.0	2.0
LAO-14	1.5	0.0	0.0	2.5
LAO-15	0.0	2.5	0.0	2.5
LAO-16	0.0	2.0	0.0	2.5
LAO-17	2.0	0.0	0.0	1.5
LAO-18	0.0	2.5	2.5	0.0
LAO-19	2.0	0.0	3.0	0.0
LAO-20	1.5	0.0	0.0	1.5
Promedio	Cóncavo	0.99		
	Convexo	0.98		

LAO: Ladrillo fabricado artesanalmente en Otuzco.

**Tabla 26. Ensayo de alabeo del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima**

Especímen	Cara A		Cara B	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
	(mm)		(mm)	
LIR - 01	0.0	1.0	1.0	0.0
LIR - 02	0.5	0.0	1.0	0.0
LIR - 03	0.0	0.5	0.0	1.5
LIR - 04	1.0	0.0	0.5	0.0
LIR - 05	1.0	0.0	0.0	0.5
LIR - 06	0.5	0.0	0.5	0.0
LIR - 07	1.0	0.0	0.5	0.0
LIR - 08	0.5	0.0	0.5	0.0
LIR - 09	1.0	0.0	0.0	2.0
LIR - 10	0.0	0.5	0.0	0.5
LIR - 11	0.0	0.0	0.0	1.0
LIR - 12	0.0	0.5	1.5	0.0
LIR - 13	1.0	0.0	0.5	0.0
LIR - 14	2.0	0.0	0.0	0.5
LIR - 15	0.0	0.0	0.5	0.0
LIR - 16	1.0	0.0	0.0	1.0
LIR - 17	0.0	1.0	0.0	0.5
LIR - 18	1.5	0.0	0.0	1.0
LIR - 19	0.0	0.5	0.5	0.0
LIR - 20	0.0	0.5	1.0	0.0
Promedio	Cóncavo	0.48		
	Convexo	0.33		

LIR: Ladrillos industriales Rex.

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

Tabla 27. Ensayo de compresión del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.

Especímen	Largo (mm)		Ancho (mm)		Altura (mm)		Peso seco (gr)		Carga Máx. (tn)	Carga Máx. (kN)	Área (m <sup>2</sup> )	f'b (Mpa)	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
	L1	L2	A1	A2	H1	H2							
LAO-01	209	210	128	129	77	78	3289.4	3289.3	22.75	223.10	0.027	8.29	84.51
LAO-02	214	213	126	126	78	76	3032.6	3032.6	16.50	161.81	0.027	6.02	61.34
LAO-03	207	207	129	127	76	77	3236.4	3236.5	25.50	250.07	0.026	9.44	96.24
LAO-04	211	212	128	129	77	76	3271.3	3271.3	18.00	176.52	0.027	6.50	66.23
LAO-05	210	212	129	127	78	79	3321.4	3321.13	13.75	134.84	0.027	4.99	50.91
LAO-06	208	209	127	128	77	79	3286.9	3286.9	20.25	198.58	0.027	7.47	76.17
LAO-07	212	212	128	129	77	76	3323.2	3322.9	14.00	137.29	0.027	5.04	51.39
LAO-08	213	212	130	129	80	80	3456.1	3455.7	25.00	245.17	0.028	8.91	90.85
LAO-09	209	209	127	128	76	76	3246.9	3246.8	18.25	178.97	0.027	6.72	68.49
LAO-10	214	213	130	129	78	78	3411.5	3411.5	21.50	210.84	0.028	7.63	77.76
LAO-11	211	210	128	129	78	79	3293.2	3293.2	16.00	156.91	0.027	5.80	59.15
LAO-12	209	209	129	130	77	78	3122.9	3122.8	11.00	107.87	0.027	3.99	40.64
LAO-13	214	213	128	129	79	80	3380.6	3380.6	18.50	181.42	0.027	6.61	67.43
LAO-14	213	212	128	128	78	80	3299	3299	11.00	107.87	0.027	3.97	40.44
LAO-15	211	212	128	128	77	78	3382.7	3382.6	9.50	93.16	0.027	3.44	35.09
LAO-16	210	212	127	127	76	79	3328.4	3328.4	19.50	191.23	0.027	7.14	72.77
LAO-17	209	210	128	129	79	78	3408.6	3408.6	12.00	117.68	0.027	4.37	44.58
LAO-18	211	210	126	128	78	77	3469.6	3469.4	10.50	102.97	0.027	3.85	39.28
LAO-19	210	213	128	128	78	79	3258.2	3258.2	23.00	225.55	0.027	8.33	84.96
LAO-20	209	211	127	127	77	79	3405.8	3405.2	10.00	98.07	0.027	3.68	37.50
Resistencia a la compresión Promedio											fb	6.11Mpa	62.29 kg/cm <sup>2</sup>
Desviación estándar											σ	1.8Mpa	19.20 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión											fb	4.23Mpa	43.09 kg/cm <sup>2</sup>
Coeficiente de variación (%)											c.v.	30.81 %	30.81%

LAO: Ladrillo fabricado artesanalmente en Otuzco.



Tabla 28. Ensayo de compresión del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima

Espécimen	Largo (mm)		Ancho (mm)		Altura (mm)		Peso seco (gr)		Carga Máx. (tn)	Carga máx. (kN)	Área (m <sup>2</sup> )	f'b (Mpa)	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
	L1	L2	A1	A2	H1	H2							
LIR - 01	234	233	131	130	90	91	2785.9	2785.6	31.75	311.36	0.022	14.32	146.03
LIR - 02	232	230	129	129	90	91	2699	2698.9	33.50	328.52	0.021	15.45	157.56
LIR - 03	227	227	129	129	90	90	2722.5	2722.4	35.00	343.23	0.021	16.43	167.52
LIR - 04	229	230	128	128	90	90	2731.4	2731.4	39.25	384.91	0.021	18.36	187.27
LIR - 05	229	228	128	128	90	90	2714.5	2714.4	41.00	402.07	0.021	19.27	196.47
LIR - 06	229	229	131	131	90	90	2690.8	2690.9	36.50	357.94	0.021	16.72	170.53
LIR - 07	233	233	128	128	91	91	2750.7	2750.6	30.00	294.20	0.021	13.83	140.98
LIR - 08	230	233	129	129	91	90	2724.4	2724.3	32.00	313.81	0.021	14.73	150.18
LIR - 09	231	230	128	128	90	90	2696.1	2696.1	41.50	406.98	0.021	19.33	197.14
LIR - 10	229	230	130	131	92	91	2729.4	2729.4	33.50	328.52	0.021	15.37	156.77
LIR - 11	229	230	130	129	90	90	2782.3	2782.3	38.00	372.65	0.021	17.57	179.20
LIR - 12	230	229	129	130	91	90	2730.5	2730.5	29.00	284.39	0.021	13.41	136.76
LIR - 13	231	230	128	129	91	91	2727.9	2727.9	39.00	382.46	0.021	18.10	184.54
LIR - 14	229	229	127	129	90	91	2730.4	2730.4	44.00	431.49	0.021	20.63	210.39
LIR - 15	230	230	129	130	90	90	2712.2	2712.1	29.50	289.30	0.021	13.61	138.81
LIR - 16	227	228	129	130	90	90	2703.7	2703.6	37.00	362.85	0.021	17.26	176.02
LIR - 17	229	229	130	131	92	91	2748.4	2748.4	31.00	304.01	0.021	14.26	145.39
LIR - 18	228	230	131	130	90	90	2722.4	2722.3	41.50	406.98	0.021	19.09	194.63
LIR - 19	229	230	129	129	90	90	2694	2694	34.50	338.33	0.021	16.02	163.33
LIR - 20	230	231	130	130	89	90	2727	2726.9	37.00	362.85	0.021	16.97	173.06
Resistencia a la compresión Promedio											f'b	16.54Mpa	168.63 kg/cm <sup>2</sup>
Desviación estándar											$\sigma$	2.15Mpa	21.95 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión											f'b	14.38Mpa	146.68 kg/cm <sup>2</sup>
Coeficiente de variación (%)											c.v.	13.01 %	13.01%

LIR: Ladrillo Industrial Rex

### 3.1. Cálculo del módulo de elasticidad.

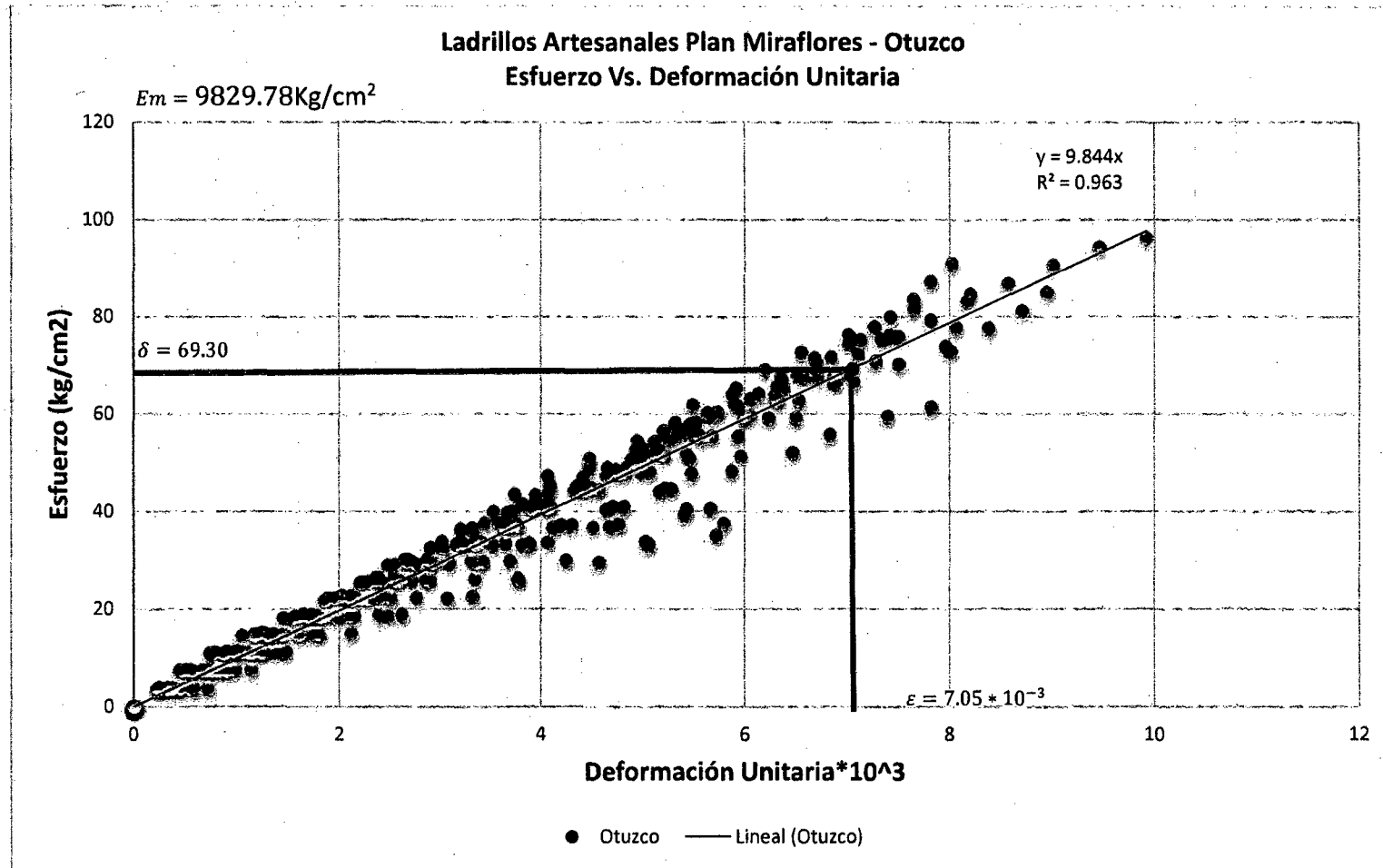
Tabla 29: Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco.

<i>Datos de especímenes del ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco</i>									
LAO - 01					LAO - 02				
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.
0	0.00	0.00000	0.0000	0.000	0	0.00	0.00000	0.0000	0.000
1000	0.35	0.45161	3.7146	4.698	500	0.56	0.10090	1.8283	2.092
2000	0.69	0.89032	7.4292	9.262	1000	1.00	0.18018	3.6566	3.634
3000	0.95	1.22581	11.1438	12.752	1500	1.28	0.23063	5.4849	4.644
4000	1.25	1.61290	14.8584	16.779	2000	1.94	0.34955	7.3131	7.113
5000	1.45	1.87097	18.5730	19.464	2500	2.69	0.48468	9.1414	10.069
6000	1.76	2.27097	22.2876	23.625	3000	2.86	0.51532	10.9697	10.762
7000	1.98	2.55484	26.0022	26.578	3500	3.23	0.58198	12.7980	12.297
8000	2.36	3.04516	29.7169	31.679	4000	3.80	0.68468	14.6263	14.738
9000	2.59	3.34194	33.4315	34.766	4500	4.25	0.76577	16.4546	16.730
10000	2.86	3.69032	37.1461	38.390	5000	4.70	0.84685	18.2829	18.779
11000	3.17	4.09032	40.8607	42.552	5500	5.03	0.90631	20.1112	20.319
12000	3.39	4.37419	44.5753	45.505	6000	5.42	0.97658	21.9394	22.179
13000	3.68	4.74839	48.2899	49.397	6500	5.78	1.04144	23.7677	23.933
14000	3.96	5.10968	52.0045	53.156	7000	5.94	1.07027	25.5960	24.725
15000	4.16	5.36774	55.7191	55.841	7500	6.26	1.12793	27.4243	26.330
16000	4.39	5.66452	59.4337	58.928	8000	6.90	1.24324	29.2526	29.628
17000	4.69	6.05161	63.1483	62.955	8500	7.28	1.31171	31.0809	31.641
18000	4.93	6.36129	66.8629	66.177	9000	7.52	1.35495	32.9092	32.934
19000	5.19	6.69677	70.5775	69.667	9500	7.92	1.42703	34.7375	35.124
20000	5.43	7.00645	74.2921	72.888	10000	8.08	1.45586	36.5657	36.013
21000	5.63	7.26452	78.0067	75.573	10250	8.35	1.50450	37.4799	37.530
22000	5.93	7.65161	81.7213	79.600					
22750	6.36	8.20645	84.5073	85.372					

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

Se procedió de la misma manera para los 18 especímenes restantes

Gráfico N° 1: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de especímenes de ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco



**Tabla 30: Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación ladrillo industrial Rex de Lima.**

***Datos de especímenes del ladrillo Industriales Rex de Lima***

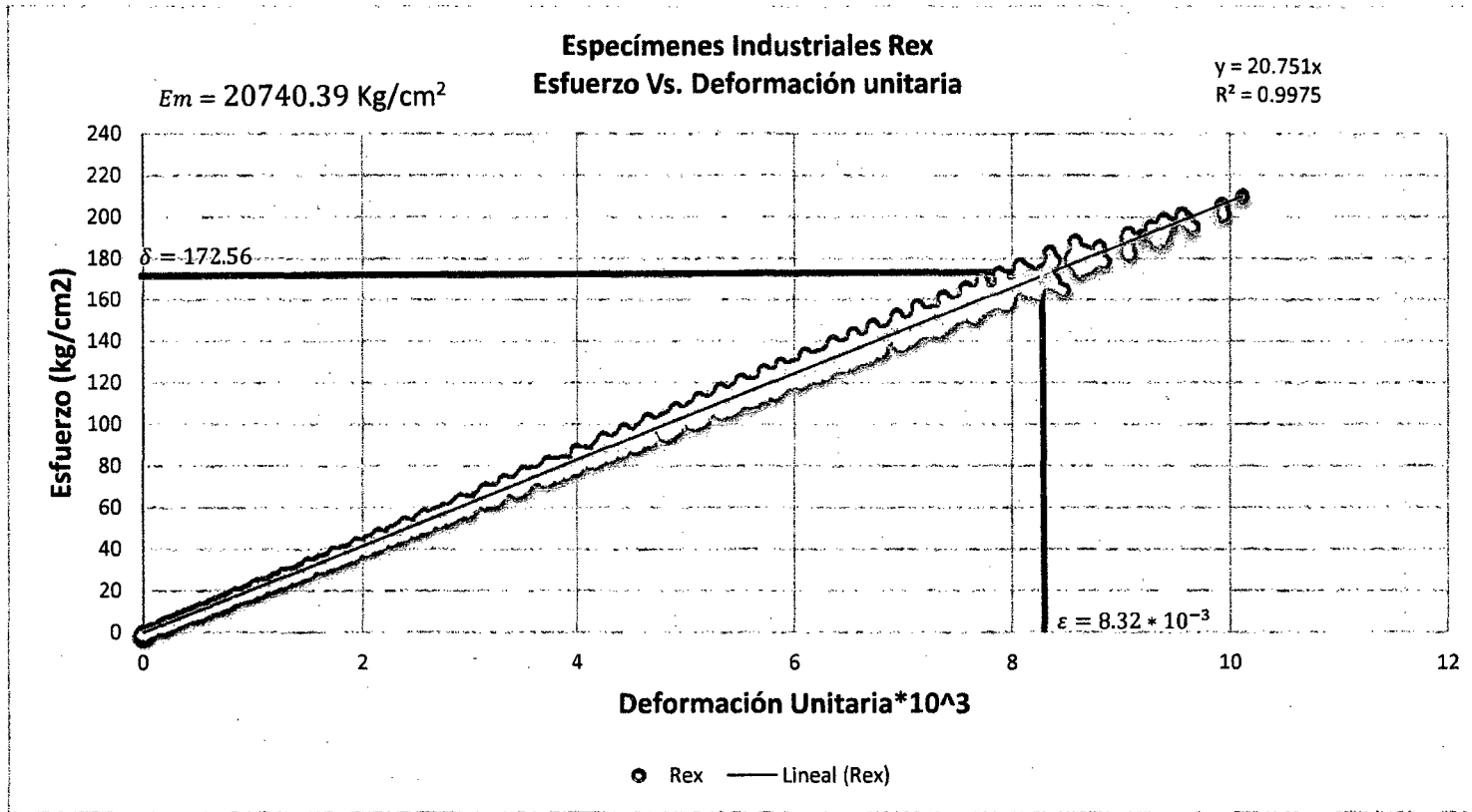
LIR - 01					LIR - 02				
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.
0	0.00	0.00000	0.0000	1.680	0	0.00	0.00000	0.0000	0.000
500	0.15	0.02459	1.6984	2.572	500	0.19	0.03135	1.7344	3.379
1000	0.29	0.04754	3.3967	3.413	1000	0.39	0.06436	3.4687	4.434
1500	0.75	0.12295	5.0951	6.229	1500	0.55	0.09076	5.2031	5.289
2000	0.88	0.14426	6.7935	7.040	2000	0.85	0.14026	6.9375	6.918
2500	1.27	0.20820	8.4918	9.510	2500	1.18	0.19472	8.6718	8.750
3000	1.48	0.24262	10.1902	10.865	3000	1.37	0.22607	10.4062	9.824
3500	1.78	0.29180	11.8886	12.829	3500	1.48	0.24422	12.1406	10.452
4000	1.94	0.31803	13.5870	13.891	4000	1.76	0.29043	13.8749	12.070
4500	2.08	0.34098	15.2853	14.828	4500	1.95	0.32178	15.6093	13.186
5000	2.14	0.35082	16.9837	15.232	5000	2.25	0.37129	17.3436	14.975
5500	2.28	0.37377	18.6821	16.180	5500	2.79	0.46040	19.0780	18.282
6000	2.59	0.42459	20.3804	18.305	6000	3.10	0.51155	20.8124	20.230
6500	2.89	0.47377	22.0788	20.398	6500	3.43	0.56601	22.5467	22.345
7000	3.22	0.52787	23.7772	22.739	7000	3.82	0.63036	24.2811	24.897
7500	3.54	0.58033	25.4755	25.049	7500	4.03	0.66502	26.0155	26.295
8000	3.84	0.62951	27.1739	27.250	8000	4.55	0.75083	27.7498	29.829
9000	4.13	0.67705	30.5707	29.411	9000	4.73	0.78053	31.2186	31.077
9500	4.42	0.72459	32.2690	31.605	9500	5.05	0.83333	32.9529	33.325
10000	4.63	0.75902	33.9674	33.213	10000	5.29	0.87294	34.6873	35.036
10500	4.89	0.80164	35.6658	35.228	10500	5.75	0.94884	36.4217	38.378
11000	5.14	0.84262	37.3641	37.189	11000	5.80	0.95710	38.1560	38.746
11500	5.34	0.87541	39.0625	38.776	11500	6.05	0.99835	39.8904	40.601
12000	5.59	0.91639	40.7609	40.781	12000	6.15	1.01485	41.6248	41.349

12500	5.82	0.95410	42.4592	42.647	12500	6.45	1.06436	43.3591	43.617
13000	6.01	0.98525	44.1576	44.203	13000	6.78	1.11881	45.0935	46.152
13500	6.22	1.01967	45.8560	45.940	13500	6.86	1.13201	46.8278	46.773
14000	6.42	1.05246	47.5543	47.609	14000	7.02	1.15842	48.5622	48.022
14500	6.63	1.08689	49.2527	49.379	14500	7.25	1.19637	50.2966	49.834
15000	6.87	1.12623	50.9511	51.422	15000	7.58	1.25083	52.0309	52.469
15500	7.14	1.17049	52.6495	53.746	15500	7.76	1.28053	53.7653	53.923
16000	7.34	1.20328	54.3478	55.487	16000	7.96	1.31353	55.4997	55.554
16500	7.62	1.24918	56.0462	57.948	16500	8.15	1.34488	57.2340	57.118
17000	7.79	1.27705	57.7446	59.458	17000	8.31	1.37129	58.9684	58.445
17500	7.97	1.30656	59.4429	61.068	17500	8.58	1.41584	60.7028	60.707
18000	8.12	1.33115	61.1413	62.420	18000	8.76	1.44554	62.4371	62.230
18500	8.34	1.36721	62.8397	64.417	18500	8.95	1.47690	64.1715	63.851
19000	8.57	1.40492	64.5380	66.526	19000	9.15	1.50990	65.9059	65.572
19500	8.69	1.42459	66.2364	67.634	19500	9.35	1.54290	67.6402	67.309
20000	8.80	1.44262	67.9348	68.654	20000	9.56	1.57805	69.3746	69.175
20500	8.92	1.46230	69.6332	69.773	20200	9.65	1.59241	70.0683	69.942
21000	9.02	1.47869	71.3315	70.710					
21500	9.16	1.50164	73.0299	72.027					
22000	9.36	1.53443	74.7283	73.922					
22500	9.53	1.56230	76.4266	75.545					
23000	9.73	1.59508	78.1250	77.469					
23500	9.83	1.61148	79.8234	78.436					
24000	9.95	1.63115	81.5217	79.602					
24300	10.06	1.64918	82.5408	80.676					

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

Se procedió de la misma manera para los 18 especímenes restantes

Gráfico N° 2: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria industrial de especímenes de ladrillo industrial Rex de Lima



**Tabla 31: Módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal e Industrial**

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 (%)
LAO	7.05*10 <sup>-3</sup>	69.30	9829.78	17692	-44.43
LIR	8.32*10 <sup>-3</sup>	172.56	20740.39	58672	-64.65

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

**Tabla 32. Ensayo de Succión del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.**

Espécimen	Psec (gr)	Pusc(gr)	A (mm)	L (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )	S
LAO-01	3284.1	3323.6	127.50	213.75	272.53	28.99
LAO-02	3013.2	3093.7	126.00	209.00	263.34	61.14
LAO-03	3232.0	3300.5	127.50	208.50	265.84	51.54
LAO-04	3267.3	3321.1	127.75	208.75	266.68	40.35
LAO-05	3314.7	3380.1	127.50	211.25	269.34	48.56
LAO-06	3283.7	3352.3	127.25	208.50	265.32	51.71
LAO-07	3318.1	3382.4	128.25	211.00	270.61	47.52
LAO-08	3451.2	3533.4	128.75	210.00	270.38	60.80
LAO-09	3241.6	3277.7	126.25	208.75	263.55	27.40
LAO-10	3407.6	3502.4	129.00	213.25	275.09	68.92
LAO-11	3328.5	3393.2	128.00	207.50	265.60	48.72
LAO-12	3290.3	3345.3	127.50	209.50	267.11	41.18
LAO-13	3180.9	3257.2	126.25	207.00	261.34	58.39
LAO-14	3245.8	3321.9	126.00	209.00	263.34	57.80
LAO-15	3356.2	3408.2	126.00	209.50	263.97	39.40
LAO-16	3409.3	3477.9	127.75	211.00	269.55	50.90
LAO-17	3385.9	3449.8	126.50	209.00	264.39	48.34
LAO-18	3295.7	3356.7	129.00	208.25	268.64	45.41
LAO-19	3354.5	3428.2	128.00	207.00	264.96	55.63
LAO-20	3352.1	3408.1	128.75	213.75	275.20	40.70
Succión Promedio						48.67
Desviación estándar ( $\sigma$ )						10.48
Coeficiente de variación (c.v.)						21.54%

LAO: Ladrillo fabricado artesanalmente en Otuzco.

**Tabla 33. Ensayo de Succión del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima**

<b>Espécimen</b>	<b>Psec (gr)</b>	<b>Pusc(gr)</b>	<b>A (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>Área (cm2)</b>	<b>S</b>
LIR-01	2783.6	2831.1	129.75	230.75	299.40	31.73
LIR-02	2728.7	2765.4	129.25	226.75	293.07	25.04
LIR-03	2720.6	2756.5	129.75	227.00	294.53	24.38
LIR-04	2728.6	2760.7	130.00	228.25	296.73	21.64
LIR-05	2712.0	2759.0	130.50	227.50	296.89	31.66
LIR-06	2686.9	2721.4	130.50	228.00	297.54	23.19
LIR-07	2748.6	2794.8	129.00	230.00	296.70	31.14
LIR-08	2721.9	2771.6	129.25	230.50	297.92	33.36
LIR-09	2694.3	2741.7	128.00	230.00	294.40	32.20
LIR-10	2726.8	2777.0	128.00	227.50	291.20	34.48
LIR-11	2716.5	2759.2	129.75	228.25	296.15	28.84
LIR-12	2720.9	2755.6	130.00	229.50	298.35	23.26
LIR-13	2729.2	2769.3	130.75	229.50	300.07	26.73
LIR-14	2695.3	2739.2	130.25	228.75	297.95	29.47
LIR-15	2718.3	2755.9	129.25	227.75	294.37	25.55
LIR-16	2745.3	2785.1	129.25	227.00	293.40	27.13
LIR-17	2723.5	2770.3	128.25	227.00	291.13	32.15
LIR-18	2733.9	2776.2	128.00	227.50	291.20	29.05
LIR-19	2699.3	2745.6	129.25	227.50	294.04	31.49
LIR-20	2712.8	2763.7	128.00	227.50	291.20	34.96
Succión Promedio						28.87
Desviación estándar $\sigma$						4.02
Coeficiente de variación (c.v.)						13.95%

LIR: Ladrillo Industrial Rex



### 5. Cálculo de la absorción del ladrillo.

Tabla 34. Ensayo de Absorción del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.

Espécimen	Peso seco 1 (gr)	Peso seco 2 (gr)	Peso seco 3 (gr)	Peso Saturado (gr)	Absorción
LAO - 01	3284.1	3275.8	3265.4	3747.1	14.8
LAO - 02	3013.2	3008.1	3000.9	3437.3	14.5
LAO - 03	3232.0	3225.8	3220.7	3691.5	14.6
LAO - 04	3267.3	3260.8	3256.4	3735.1	14.7
LAO - 05	3314.7	3305.4	3298.2	3806.8	15.4
LAO - 06	3283.7	3275.4	3270.8	3736.8	14.2
LAO - 07	3318.1	3310.5	3305.5	3791	14.7
LAO - 08	3451.2	3442.3	3435.1	3934.8	14.5
LAO - 09	3241.6	3234.8	3229.4	3691.6	14.3
LAO - 10	3407.6	3398.4	3390.7	3882.5	14.5
LAO - 11	3328.5	3320.2	3312.3	3804.6	14.9
LAO - 12	3290.3	3283.6	3275.2	3800.5	16.0
LAO - 13	3180.9	3173.6	3168.2	3579.4	13.0
LAO - 14	3245.8	3239.3	3235.1	3685.1	13.9
LAO - 15	3356.2	3348.7	3342.8	3845.3	15.0
LAO - 16	3409.3	3401.5	3395.2	3889.5	14.6
LAO - 17	3385.9	3378.2	3372.1	3882.6	15.1
LAO - 18	3295.7	3290.1	3283.7	3744.5	14.0
LAO - 19	3354.5	3347.9	3339.5	3825.4	14.6
LAO - 20	3352.1	3345.4	3339.8	3805.7	13.9
Absorción Promedio					14.6
Desviación estándar ( $\sigma$ )					0.62
Coeficiente de variación (cv)					4.28%

LAO: Ladrillo fabricado artesanalmente en Otuzco.

**Tabla 35. Ensayo de Absorción del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima**

<b>Espécimen</b>	<b>Peso seco 1 (gr)</b>	<b>Peso seco 2 (gr)</b>	<b>Peso seco 3 (gr)</b>	<b>Peso Saturado (gr)</b>	<b>Absorción</b>
LIR - 01	2783.6	2783.4	2783.4	3127.8	12.4
LIR - 02	2728.7	2728.4	2728.3	3042.5	11.5
LIR - 03	2720.6	2720.3	2720.3	3059.5	12.5
LIR - 04	2728.6	2728.4	2728.3	3051.9	11.9
LIR - 05	2712.0	2711.6	2711.4	3042.0	12.2
LIR - 06	2686.9	2686.5	2686.5	3038.4	13.1
LIR - 07	2748.6	2748.3	2748.3	3065.1	11.5
LIR - 08	2721.9	2721.5	2721.4	3062.9	12.5
LIR - 09	2694.3	2694.2	2694.1	2999.7	11.3
LIR - 10	2726.8	2726.7	2726.7	3077.4	12.9
LIR - 11	2716.5	2716.3	2716.1	3041.2	12.0
LIR - 12	2720.9	2720.6	2720.4	3049.8	12.1
LIR - 13	2729.2	2728.9	2728.9	3074.0	12.6
LIR - 14	2695.3	2695.1	2695.0	3030.8	12.5
LIR - 15	2718.3	2717.9	2717.9	3048.6	12.2
LIR - 16	2745.3	2744.8	2744.7	3073.6	12.0
LIR - 17	2723.5	2723.4	2723.1	3068.2	12.7
LIR - 18	2733.9	2733.7	2733.7	3052.2	11.7
LIR - 19	2699.3	2699.2	2699	3024.8	12.1
LIR - 20	2712.8	2712.8	2712.8	3054.7	12.6
<b>Absorción Promedio</b>					<b>12.2</b>
<b>Desviación estándar <math>\sigma</math></b>					<b>0.48</b>
<b>Coefficiente de variación (cv)</b>					<b>3.91 %</b>

LIR: Ladrillo Industrial Rex

**6. Cálculo del porcentaje de huecos del ladrillo industrial.**

**Tabla 36. Ensayo de porcentaje de área de huecos del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima.**

<b>Espécimen</b>	<b>Volumen de arena contenida en el espécimen (Vs)</b>	<b>Volumen del espécimen (Vu)</b>	<b>% Área de vacíos</b>
LIR - 01	1303.98	2732.01	29.10
LIR - 02	1224.20	2674.30	27.91
LIR - 03	1237.73	2672.88	28.24
LIR - 04	1236.98	2707.62	27.86
LIR - 05	1283.64	2679.41	29.21
LIR - 06	1253.78	2692.74	28.39
LIR - 07	1209.81	2692.55	27.40
LIR - 08	1337.08	2688.74	30.32
LIR - 09	1275.80	2649.60	29.36
LIR - 10	1271.06	2688.97	28.82
LIR - 11	1225.20	2702.41	27.64
LIR - 12	1297.99	2714.99	29.15
LIR - 13	1266.49	2700.64	28.59
LIR - 14	1226.38	2696.42	27.73
LIR - 15	1283.45	2678.74	29.21
LIR - 16	1232.74	2647.91	28.39
LIR - 17	1220.67	2620.15	28.41
LIR - 18	1278.82	2642.64	29.51
LIR - 19	1222.42	2653.74	28.09
LIR - 20	1296.51	2664.48	29.67
		<b>% Huecos:</b>	<b>28.65</b>
		<b>Desviación estándar <math>\sigma</math></b>	<b>0.78</b>
		<b>Coefficiente de variación (cv)</b>	<b>2.71%</b>

LIR: Ladrillo Industrial Rex

**7. Cálculo de la resistencia a compresión en pilas ( $f'm$ ).**

**Tabla 37. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.**

Especímen	Dimensiones			Esbeltez (H/t)	P. Max. Ton	Área cm <sup>2</sup>	$f'm$ kg/cm <sup>2</sup>	Factor corrección por esbeltez	$f'm$ Kg/cm <sup>2</sup> (Corregido)
	L (mm)	T (mm)	H (mm)						
<b>PLAO-01</b>	210	127	525	4.134	13.15	266.70	49.31	0.958	47.24
<b>PLAO-02</b>	212	129	555	4.302	10.25	273.48	37.48	0.968	36.29
<b>PLAO-03</b>	209	128	541	4.227	10.45	267.52	39.06	0.964	37.64
<b>PLAO-04</b>	213	125	524	4.192	9.90	266.25	37.18	0.962	35.75
<b>PLAO-05</b>	208	129	552	4.279	9.95	268.32	37.08	0.967	35.85

PLAO: Pilas de Ladrillo fabricado artesanalmente en Otuzco.

$f_m$ : 38.55 Kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma$ : 4.91 Kg/cm<sup>2</sup>

$f'm$ : 33.64 Kg/cm<sup>2</sup>

c. v. 12.74 %

Tabla 38. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima.

Espécimen	Dimensiones			Esbeltez (h/t)	P. Max. Ton	Área cm <sup>2</sup>	fm kg/cm <sup>2</sup>	Factor corrección por esbeltez	fm Kg/cm <sup>2</sup> Corregido
	L (mm)	T (mm)	H (mm)						
PLIR-01	230	128	610	4.766	24.30	294.40	82.54	0.991	81.77
PLIR-02	227	127	606	4.772	18.40	288.29	63.82	0.991	63.24
PLIR-03	225	127	605	4.764	20.40	285.75	71.39	0.991	70.72
PLIR-04	227	126	606	4.810	22.40	286.02	78.32	0.992	77.72
PLIR-05	224	128	608	4.750	18.50	286.72	64.52	0.990	63.88

PLIR: Pilas de Ladrillo Industrial Rex

fm: 71.46 Kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma$ : 8.23 Kg/cm<sup>2</sup>

fm: 63.23 Kg/cm<sup>2</sup>

c.v. 11.52 %

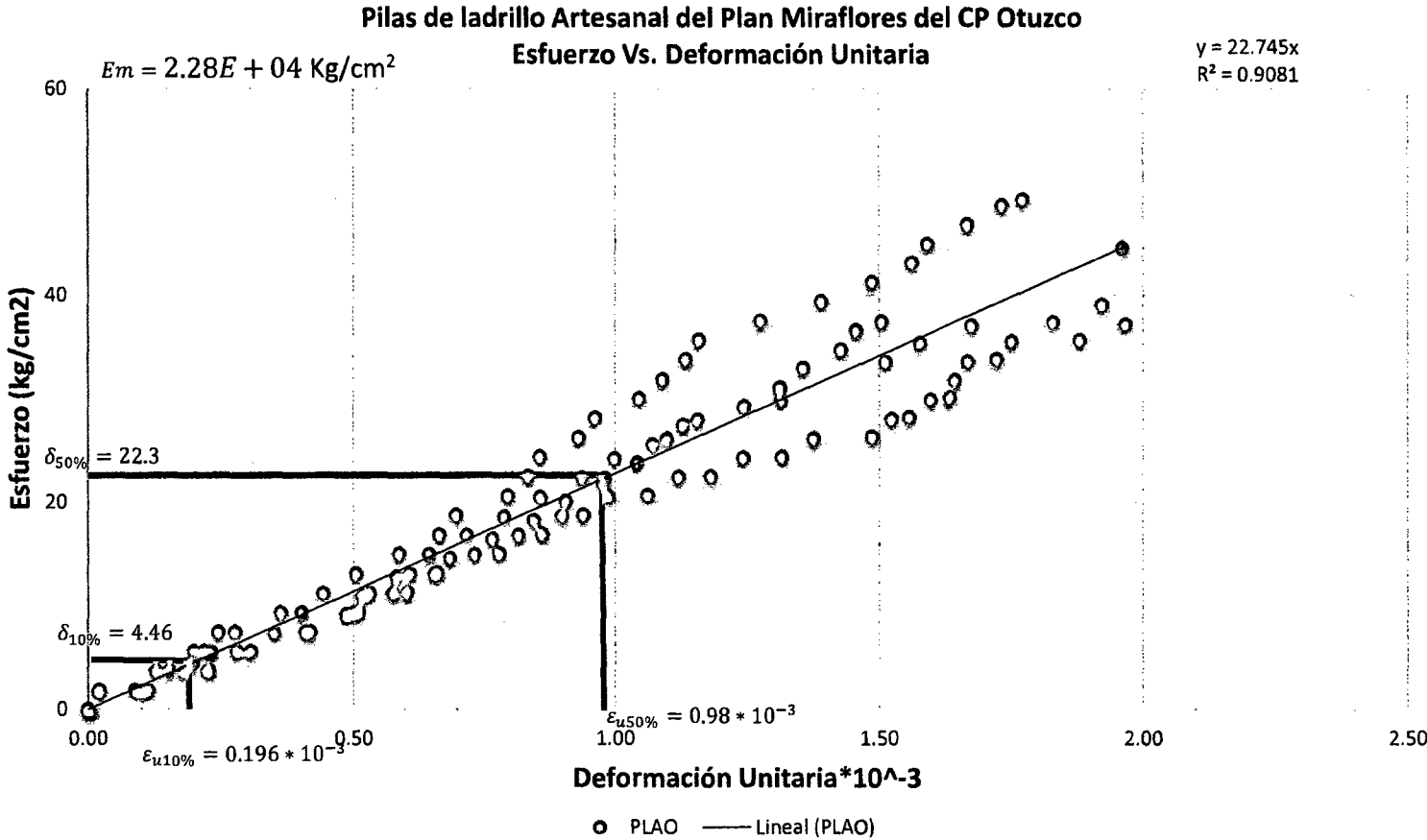
### 7.1. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas.

Tabla 39. Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco

Datos pilas del ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco									
PLAO - 01					PLAO - 02				
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.
0	0.00	0.00000	0.0000	0.000	0	0.00	0.00000	0.0000	0.000
500	0.11	0.02095	1.8748	0.046	500	0.56	0.10090	1.8283	2.092
1000	0.80	0.15238	3.7495	3.835	1000	1.00	0.18018	3.6566	3.634
1500	1.15	0.21905	5.6243	5.755	1500	1.28	0.23063	5.4849	4.644
2000	1.45	0.27619	7.4991	7.399	2000	1.94	0.34955	7.3131	7.113
2500	1.90	0.36190	9.3738	9.864	2500	2.69	0.48468	9.1414	10.069
3000	2.32	0.44190	11.2486	12.163	3000	2.86	0.51532	10.9697	10.762
3500	2.65	0.50476	13.1234	13.969	3500	3.23	0.58198	12.7980	12.297
4000	3.08	0.58667	14.9981	16.319	4000	3.80	0.68468	14.6263	14.738
4500	3.49	0.66476	16.8729	18.559	4500	4.25	0.76577	16.4546	16.730
5000	3.66	0.69714	18.7477	19.487	5000	4.70	0.84685	18.2829	18.779
5500	4.18	0.79619	20.6224	22.324	5500	5.03	0.90631	20.1112	20.319
6000	4.39	0.83619	22.4972	23.469	6000	5.42	0.97658	21.9394	22.179
6500	4.50	0.85714	24.3720	24.069	6500	5.78	1.04144	23.7677	23.933
7000	4.89	0.93143	26.2467	26.194	7000	5.94	1.07027	25.5960	24.725
7500	5.05	0.96190	28.1215	27.065	7500	6.26	1.12793	27.4243	26.330
8000	5.48	1.04381	29.9963	29.405	8000	6.90	1.24324	29.2526	29.628
8500	5.72	1.08952	31.8710	30.711	8500	7.28	1.31171	31.0809	31.641
9000	5.95	1.13333	33.7458	31.961	9000	7.52	1.35495	32.9092	32.934
9500	6.08	1.15810	35.6205	32.668	9500	7.92	1.42703	34.7375	35.124
10000	6.69	1.27429	37.4953	35.981	10000	8.08	1.45586	36.5657	36.013
10500	7.30	1.39048	39.3701	39.291	10250	8.35	1.50450	37.4799	37.530
11000	7.80	1.48571	41.2448	42.001					
11500	8.20	1.56190	43.1196	44.168					
12000	8.35	1.59048	44.9944	44.980					
12500	8.75	1.66667	46.8691	47.144					
13000	9.10	1.73333	48.7439	49.036					
13150	9.30	1.77143	49.3063	50.117					

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del Ensayo a Comprensión de pilas. Se procedió de la misma manera para los 3 especímenes restantes

Gráfico N° 3. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de pilas de ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco



**Tabla 40. Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco**

<i>Datos de pilas del ladrillo Industriales Rex de Lima</i>									
PLAO - 01					PLAO - 02				
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.
0	0.00	0.00000	0.0000	1.680	0	0.00	0.00000	0.0000	0.000
500	0.15	0.02459	1.6984	2.572	500	0.19	0.03135	1.7344	3.379
1000	0.29	0.04754	3.3967	3.413	1000	0.39	0.06436	3.4687	4.434
1500	0.75	0.12295	5.0951	6.229	1500	0.55	0.09076	5.2031	5.289
2000	0.88	0.14426	6.7935	7.040	2000	0.85	0.14026	6.9375	6.918
2500	1.27	0.20820	8.4918	9.510	2500	1.18	0.19472	8.6718	8.750
3000	1.48	0.24262	10.1902	10.865	3000	1.37	0.22607	10.4062	9.824
3500	1.78	0.29180	11.8886	12.829	3500	1.48	0.24422	12.1406	10.452
4000	1.94	0.31803	13.5870	13.891	4000	1.76	0.29043	13.8749	12.070
4500	2.08	0.34098	15.2853	14.828	4500	1.95	0.32178	15.6093	13.186
5000	2.14	0.35082	16.9837	15.232	5000	2.25	0.37129	17.3436	14.975
5500	2.28	0.37377	18.6821	16.180	5500	2.79	0.46040	19.0780	18.282
6000	2.59	0.42459	20.3804	18.305	6000	3.10	0.51155	20.8124	20.230
6500	2.89	0.47377	22.0788	20.398	6500	3.43	0.56601	22.5467	22.345
7000	3.22	0.52787	23.7772	22.739	7000	3.82	0.63036	24.2811	24.897
7500	3.54	0.58033	25.4755	25.049	7500	4.03	0.66502	26.0155	26.295
8000	3.84	0.62951	27.1739	27.250	8000	4.55	0.75083	27.7498	29.829
9000	4.13	0.67705	30.5707	29.411	9000	4.73	0.78053	31.2186	31.077
9500	4.42	0.72459	32.2690	31.605	9500	5.05	0.83333	32.9529	33.325
10000	4.63	0.75902	33.9674	33.213	10000	5.29	0.87294	34.6873	35.036
10500	4.89	0.80164	35.6658	35.228	10500	5.75	0.94884	36.4217	38.378
11000	5.14	0.84262	37.3641	37.189	11000	5.80	0.95710	38.1560	38.746
11500	5.34	0.87541	39.0625	38.776	11500	6.05	0.99835	39.8904	40.601
12000	5.59	0.91639	40.7609	40.781	12000	6.15	1.01485	41.6248	41.349
12500	5.82	0.95410	42.4592	42.647	12500	6.45	1.06436	43.3591	43.617
13000	6.01	0.98525	44.1576	44.203	13000	6.78	1.11881	45.0935	46.152
13500	6.22	1.01967	45.8560	45.940	13500	6.86	1.13201	46.8278	46.773
14000	6.42	1.05246	47.5543	47.609	14000	7.02	1.15842	48.5622	48.022
14500	6.63	1.08689	49.2527	49.379	14500	7.25	1.19637	50.2966	49.834
15000	6.87	1.12623	50.9511	51.422	15000	7.58	1.25083	52.0309	52.469
15500	7.14	1.17049	52.6495	53.746	15500	7.76	1.28053	53.7653	53.923

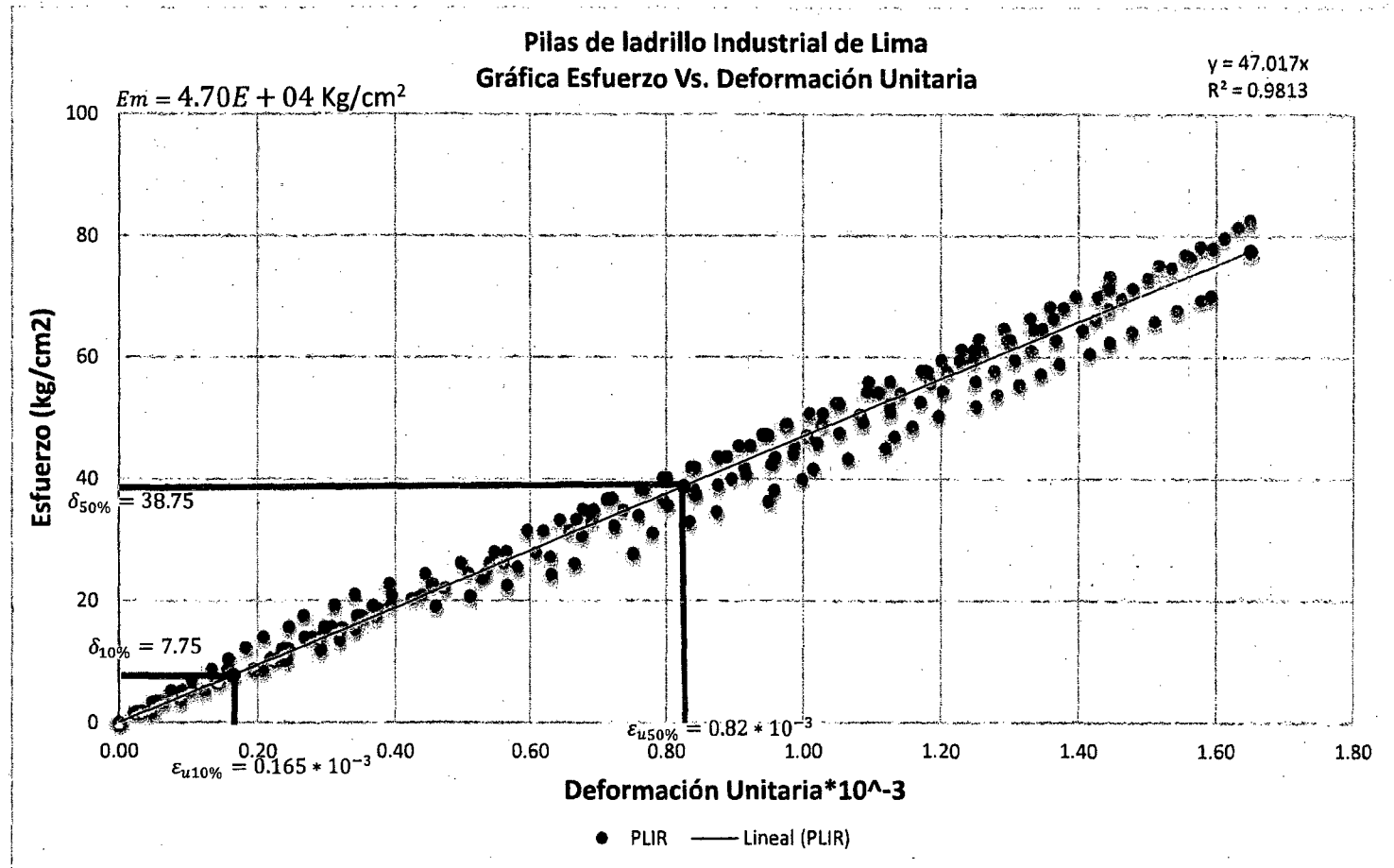


16000	7.34	1.20328	54.3478	55.487	16000	7.96	1.31353	55.4997	55.554
16500	7.62	1.24918	56.0462	57.948	16500	8.15	1.34488	57.2340	57.118
17000	7.79	1.27705	57.7446	59.458	17000	8.31	1.37129	58.9684	58.445
17500	7.97	1.30656	59.4429	61.068	17500	8.58	1.41584	60.7028	60.707
18000	8.12	1.33115	61.1413	62.420	18000	8.76	1.44554	62.4371	62.230
18500	8.34	1.36721	62.8397	64.417	18500	8.95	1.47690	64.1715	63.851
19000	8.57	1.40492	64.5380	66.526	19000	9.15	1.50990	65.9059	65.572
19500	8.69	1.42459	66.2364	67.634	19500	9.35	1.54290	67.6402	67.309
20000	8.80	1.44262	67.9348	68.654	20000	9.56	1.57805	69.3746	69.175
20500	8.92	1.46230	69.6332	69.773	20200	9.65	1.59241	70.0683	69.942
21000	9.02	1.47869	71.3315	70.710					
21500	9.16	1.50164	73.0299	72.027					
22000	9.36	1.53443	74.7283	73.922					
22500	9.53	1.56230	76.4266	75.545					
23000	9.73	1.59508	78.1250	77.469					
23500	9.83	1.61148	79.8234	78.436					
24000	9.95	1.63115	81.5217	79.602					
24300	10.06	1.64918	82.5408	80.676					

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del Ensayo a Comprensión de pilas

Se procedió de la misma manera para los 3 especímenes restantes

Gráfico N° 4. Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de pilas de ladrillo industrial Rex de Lima.



**Tabla 41: Calculo módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal e Industrial**

Tipo	$\epsilon_{u10\%}$ (*10 <sup>-3</sup> )	$\epsilon_{u50\%}$ (*10 <sup>-3</sup> )	$\delta_{10\%}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\delta_{50\%}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de Elasticidad (Em) (kg/cm <sup>2</sup> ) Práctica
PLAO	0.196	0.98	4.46	22.3	2.28E+04
PLIR	0.165	0.825	7.75	38.75	4.70E+04

PLAO: Pila de ladrillo artesanal de Otuzco

PLIR: Pila de ladrillo industrial Rex de Lima

$\epsilon_u$  : Deformación unitaria

$\delta$ : Esfuerzo

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

**Tabla 42. Ensayo a la resistencia de corte de muretes del ladrillo del sector Plan Miraflores del CP Otuzco.**

Espécimen	Dimensiones			Dimensiones con yeso			Pmáx Kg	Área Cm <sup>2</sup>	vm kg/cm <sup>2</sup>
	L (mm)	A (mm)	t (mm)	D (mm)	Lo (mm)	Ao (mm)			
MLAO - 01	1024	992	124	1444	1027	1015	13320	1790.56	7.44
MLAO - 02	1007	992	129	1429	1009	1009	12960	1843.41	7.03
MLAO - 03	1059	988	131	1456	1039	1004	14420	1907.36	7.56
							vm Prom:	7.34	kg/cm <sup>2</sup>
							Desviación estándar ( $\sigma$ ):	0.28	kg/cm <sup>2</sup>
							Resistencia al corte (v'm):	7.07	kg/cm <sup>2</sup>
							Coefficiente de variación (cv)	3.77	%

MLAO: Muros de Ladrillo fabricado artesanalmente en Otuzco

**Tabla 43. Ensayo de resistencia de corte de muretes del ladrillo industrial Rex de la Ciudad de Lima**

Espécimen	Dimensiones			Dimensiones con yeso			P <sub>máx</sub> Kg	Área Cm <sup>2</sup>	vm kg/cm <sup>2</sup>
	L (mm)	A (mm)	t (mm)	D (mm)	Lo (mm)	Ao (mm)			
<b>MLIR - 01</b>	999	952	130	1408	1007	974	13340	1830.40	7.29
<b>MLIR - 02</b>	1003	970	130	1425	1020	976	12760	1852.50	6.89
<b>MLIR - 03</b>	1008	980	129	1437	1035	991	13820	1853.73	7.46
vm Prom:							7.21	kg/cm <sup>2</sup>	
Desviación estándar ( $\sigma$ ):							0.29	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia al corte (v'm):							6.92	kg/cm <sup>2</sup>	
Coeficiente de variación (cv)							4.04	%	

MLIR: Muro de Ladrillo industrial Rex.

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

Tabla 44. Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco

Datos Muretes del ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores del CP Otuzco									
MLAO - 01									
VERTICAL					HORIZONTAL				
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.
0	0.00	0.00000	0.0000	0.000	0	0.00	0.00000	0.0000	0.000
500	0.25	0.01731	0.2792	0.432	500	0.02	0.00140	0.2830	1.022
1000	0.40	0.02770	0.5585	0.688	1000	0.03	0.00211	0.5659	1.166
1500	0.55	0.03809	0.8377	0.940	1500	0.05	0.00351	0.8489	1.461
2000	0.76	0.05263	1.1170	1.288	2000	0.06	0.00421	1.1319	1.613
2500	0.80	0.05540	1.3962	1.354	2500	0.08	0.00561	1.4148	1.924
3000	0.96	0.06648	1.6755	1.614	3000	0.09	0.00632	1.6978	2.083
3500	1.09	0.07548	1.9547	1.822	3500	0.09	0.00632	1.9808	2.083
4000	1.25	0.08657	2.2339	2.074	4000	0.11	0.00772	2.2637	2.409
4500	1.46	0.10111	2.5132	2.400	4500	0.11	0.00772	2.5467	2.409
5000	1.56	0.10803	2.7924	2.553	5000	0.12	0.00842	2.8297	2.576
5500	1.75	0.12119	3.0717	2.839	5500	0.12	0.00842	3.1126	2.576
6000	2.05	0.14197	3.3509	3.281	6000	0.14	0.00982	3.3956	2.917
6500	2.35	0.16274	3.6301	3.708	6500	0.15	0.01053	3.6786	3.092
7000	2.59	0.17936	3.9094	4.040	7000	0.18	0.01263	3.9615	3.630
7500	2.73	0.18906	4.1886	4.230	7500	0.20	0.01404	4.2445	4.002
8000	2.96	0.20499	4.4679	4.536	8000	0.22	0.01544	4.5274	4.383
8500	3.06	0.21191	4.7471	4.666	8500	0.24	0.01684	4.8104	4.775
9000	3.46	0.23961	5.0264	5.173	9000	0.25	0.01754	5.0934	4.975
9500	3.63	0.25139	5.3056	5.381	9500	0.27	0.01895	5.3763	5.382
10000	3.85	0.26662	5.5848	5.643	10000	0.29	0.02035	5.6593	5.799
10500	4.03	0.27909	5.8641	5.853	10500	0.30	0.02105	5.9423	6.011
11000	4.41	0.30540	6.1433	6.279	11000	0.31	0.02175	6.2252	6.226
11500	4.73	0.32756	6.4226	6.622	11500	0.31	0.02175	6.5082	6.226
12000	4.93	0.34141	6.7018	6.828	12000	0.32	0.02246	6.7912	6.444
12500	5.03	0.34834	6.9811	6.928	12500	0.34	0.02386	7.0741	6.886
13000	5.19	0.35942	7.2603	7.087	13000	0.35	0.02456	7.3571	7.111
13320	5.30	0.36704	7.4390	7.193	13320	0.37	0.02596	7.5382	7.569

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

Se procedió de la misma manera para los 3 especímenes restantes

Gráfico N° 5: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria vertical de muretes ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco

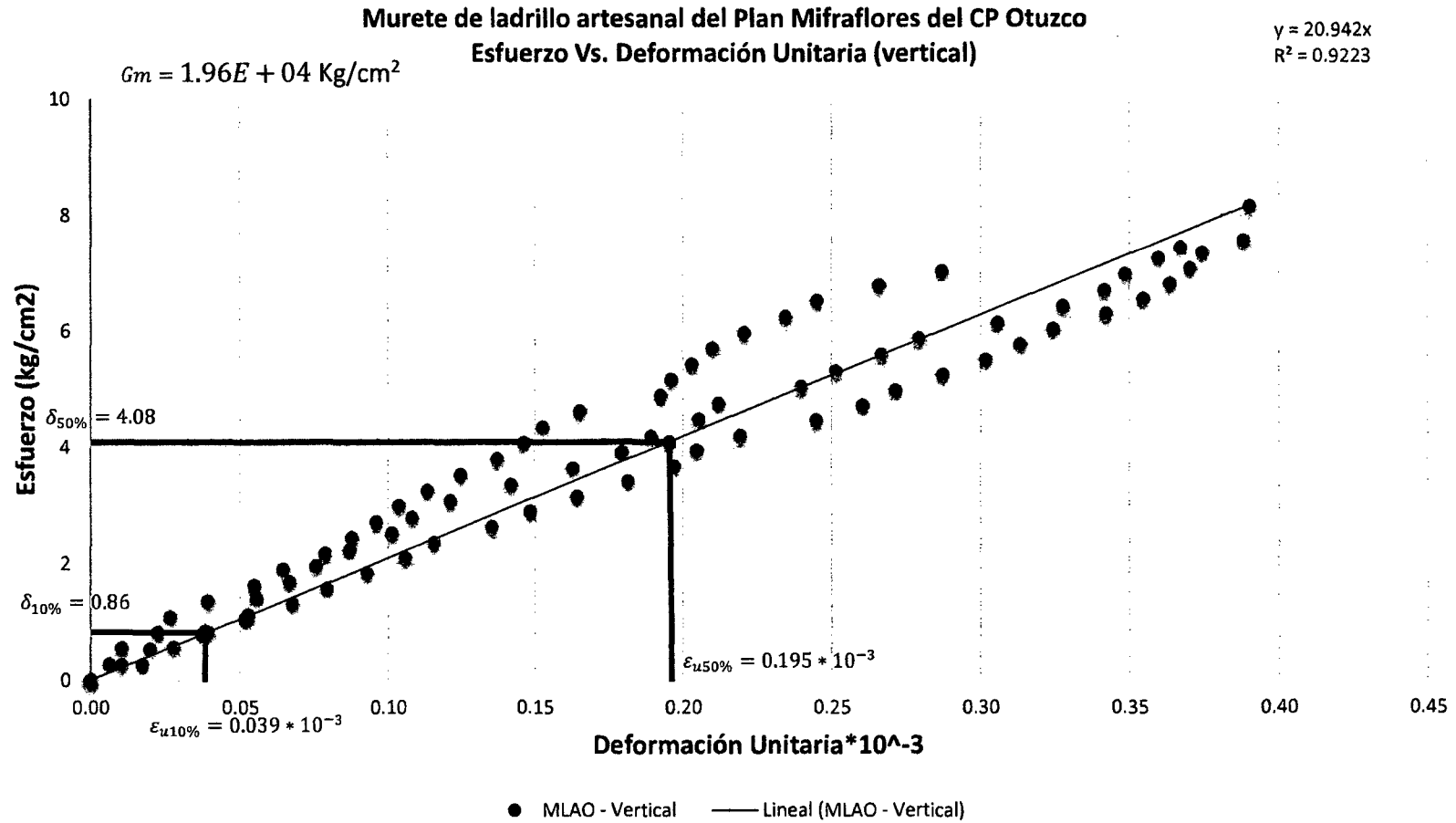


Gráfico N° 6: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria Horizontal de muretes ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco

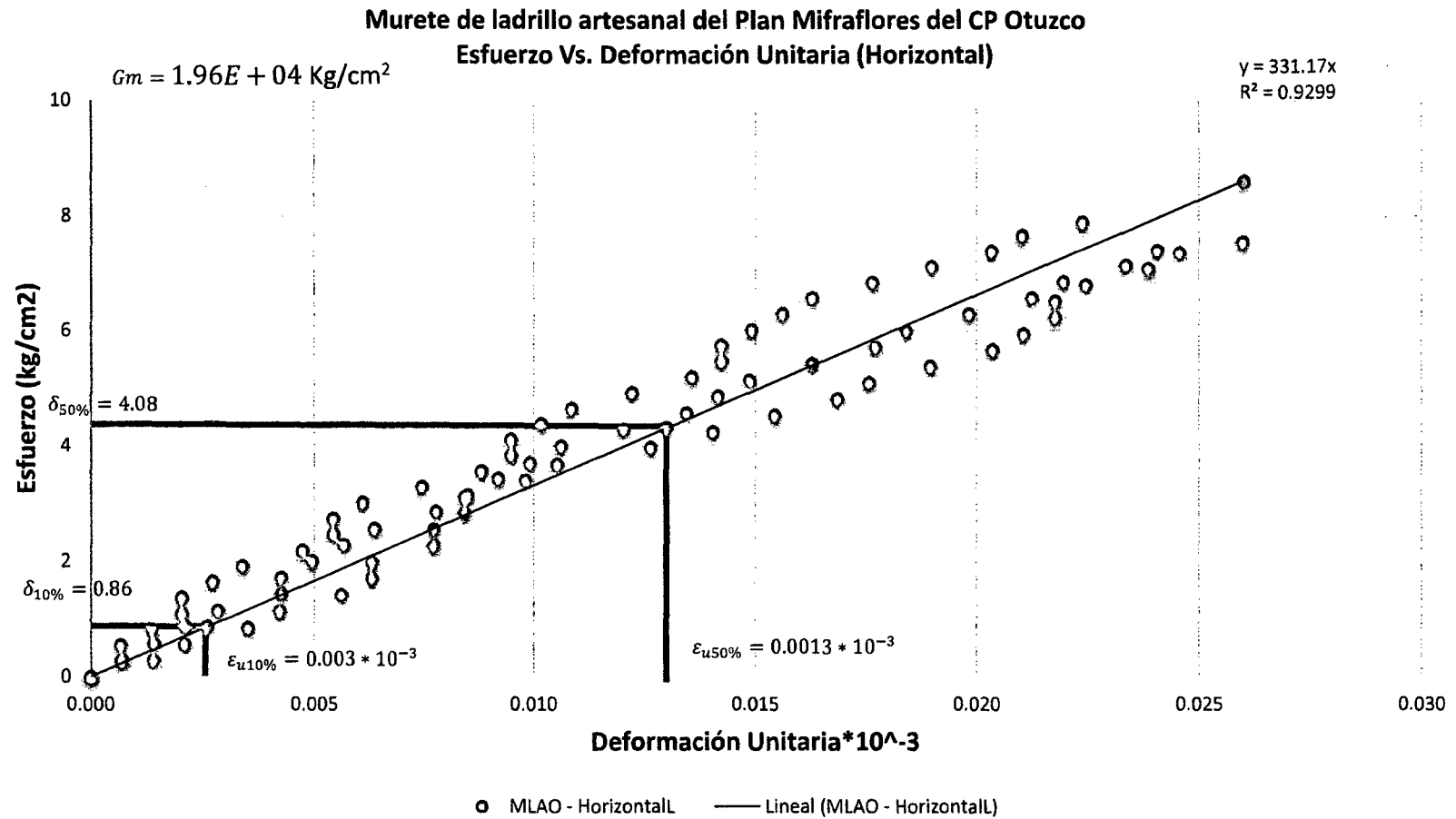


Gráfico N° 7: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria vertical de muretes ladrillo Industrial Rex de Lima

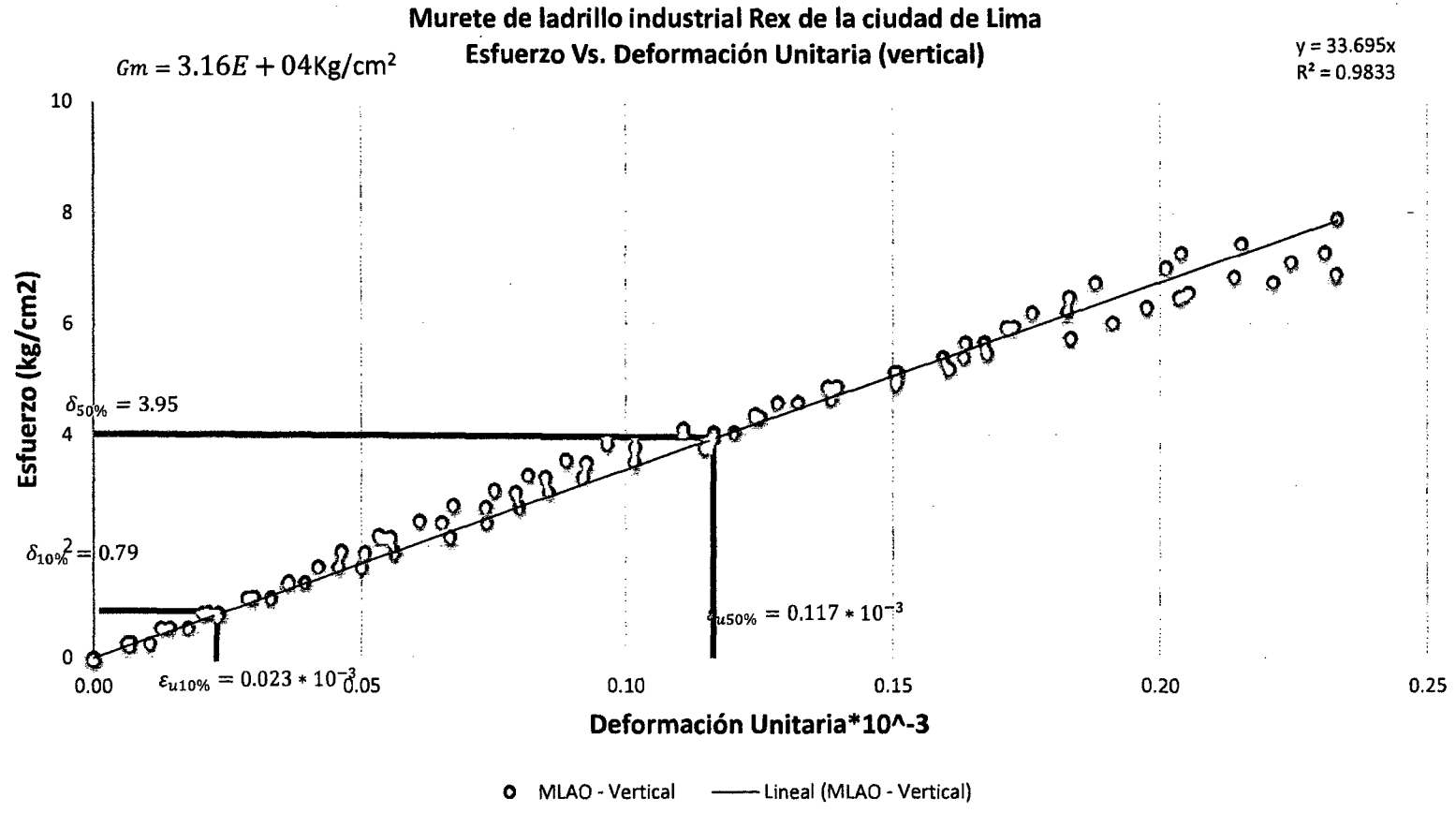




Gráfico N° 8: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria Horizontal de muretes ladrillo Industrial Rex de Lima

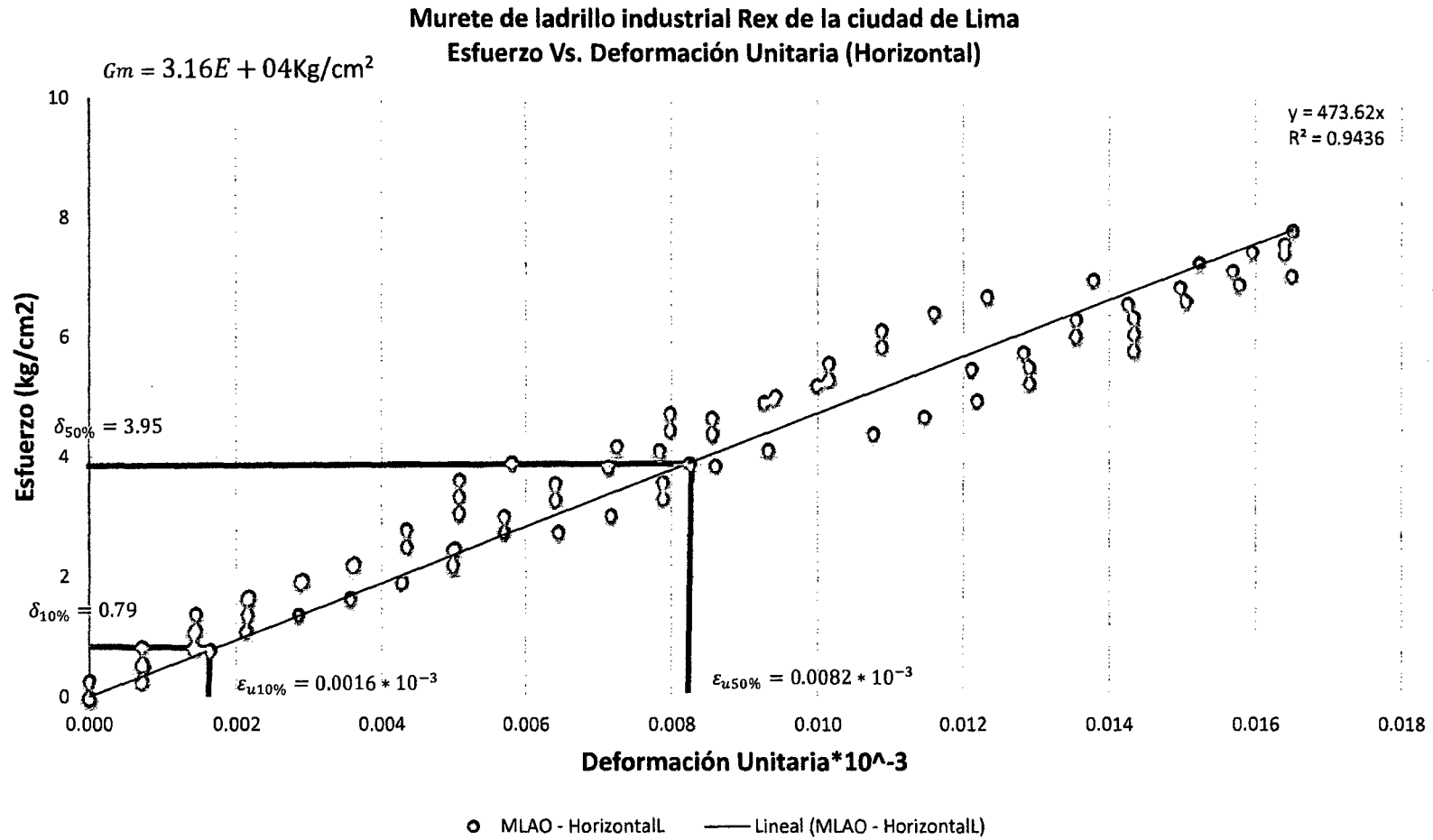


Tabla 45. Cálculo del Módulo de corte del ensayo en Muretes de ladrillo

Tipo	Vertical leído		Horizontal leído		$\delta_{10\%}$	$\delta_{50\%}$	Módulo de corte (Gm) (kg/cm <sup>2</sup> ) Práctica
	$\epsilon_{uv10\%}$ (*10 <sup>-3</sup> )	$\epsilon_{uv50\%}$ (*10 <sup>-3</sup> )	$\epsilon_{uH10\%}$ (*10 <sup>-3</sup> )	$\epsilon_{uH50\%}$ (*10 <sup>-3</sup> )			
<b>MLAO</b>	0.039	0.195	0.003	0.013	0.86	4.08	1.96E+04
<b>MLIR</b>	0.023	0.117	0.0016	0.0082	0.79	3.95	3.16E+04

MLAO: Murete de ladrillo artesanal de Otuzco

MLIR: Murete de ladrillo industrial Rex de Lima

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

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

**9. Mortero.**

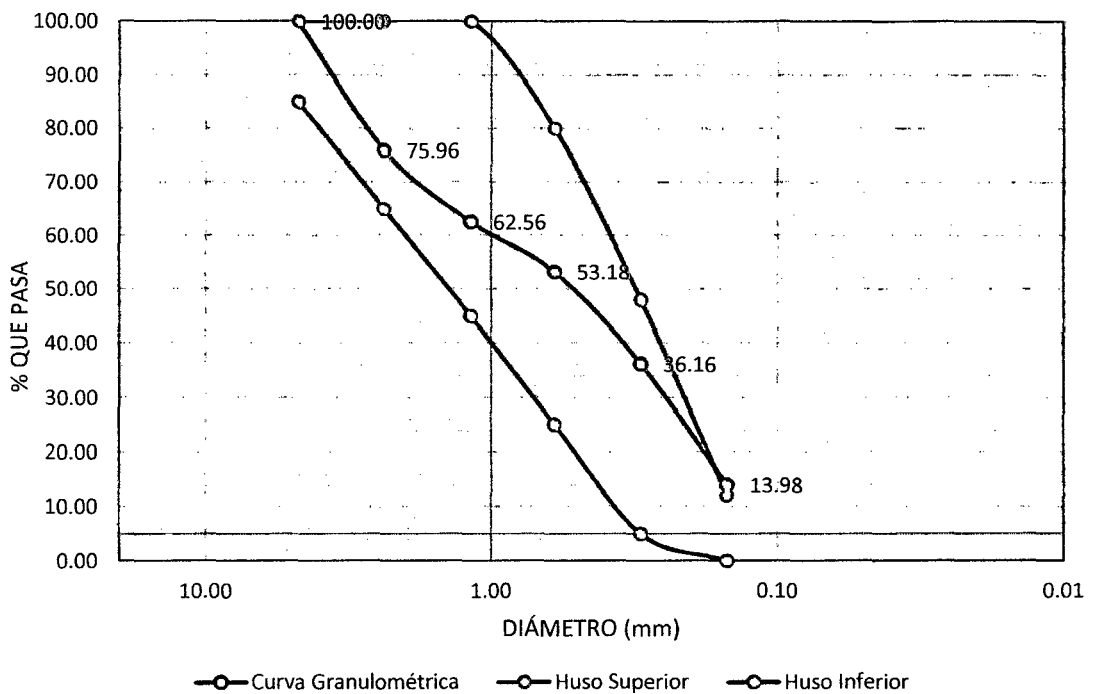
**9.1. Propiedades del agregado fino.**

**A. Análisis Granulométrico del agregado fino.**

Ensayo N° 01

Peso de la muestra seca al horno = 500 gr.					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.38	120.2	24.04	24.04	75.96
16	1.18	67.00	13.40	37.44	62.56
30	0.6	46.9	9.38	46.82	53.18
50	0.3	85.1	17.02	63.84	36.16
100	0.15	110.9	22.18	86.02	13.98
200	0.07	45.3	9.06	95.08	4.92
<b>Cazoleta</b>		<b>24.6</b>	<b>4.92</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>

Curva de distribución granulométrica: "Agregado Fino"

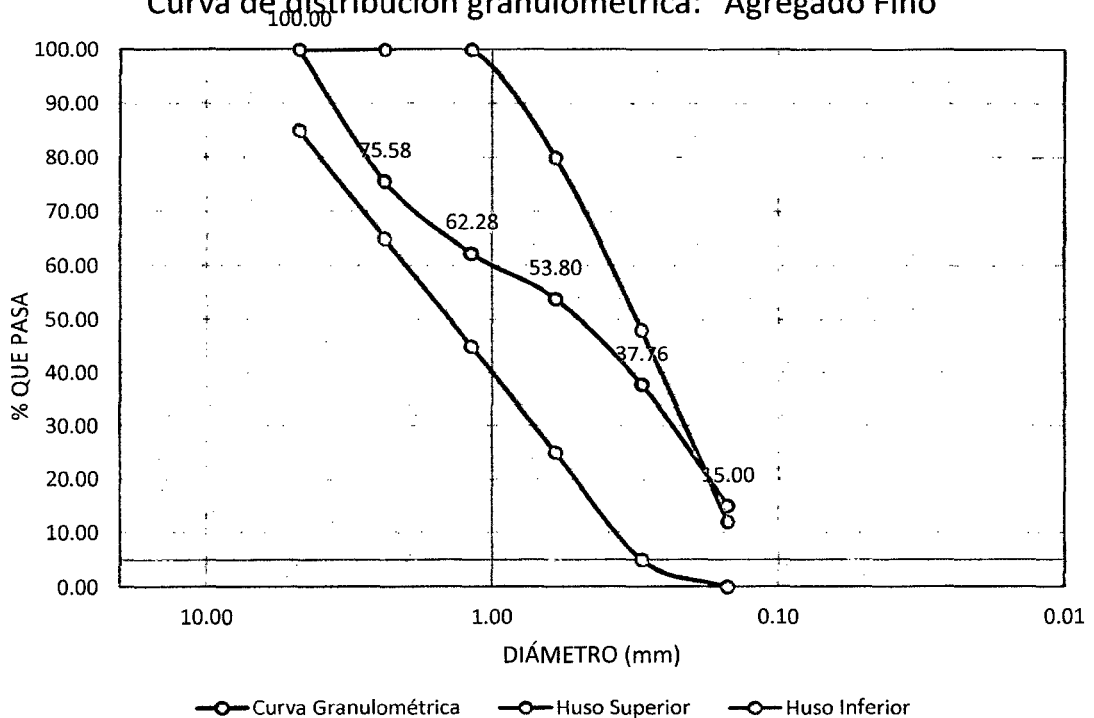


Ensayo N° 2

Peso de la muestra seca al horno = 500 gr.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
4	4.75	0	0.00	0.00	100.00
8	2.38	122.1	24.42	24.42	75.58
16	1.18	66.5	13.30	37.72	62.28
30	0.6	42.4	8.48	46.20	53.80
50	0.3	80.2	16.04	62.24	37.76
100	0.15	113.8	22.76	85.00	15.00
200	0.07	50.1	10.02	95.02	4.98
Cazoleta		24.9	4.98	100.00	0.00

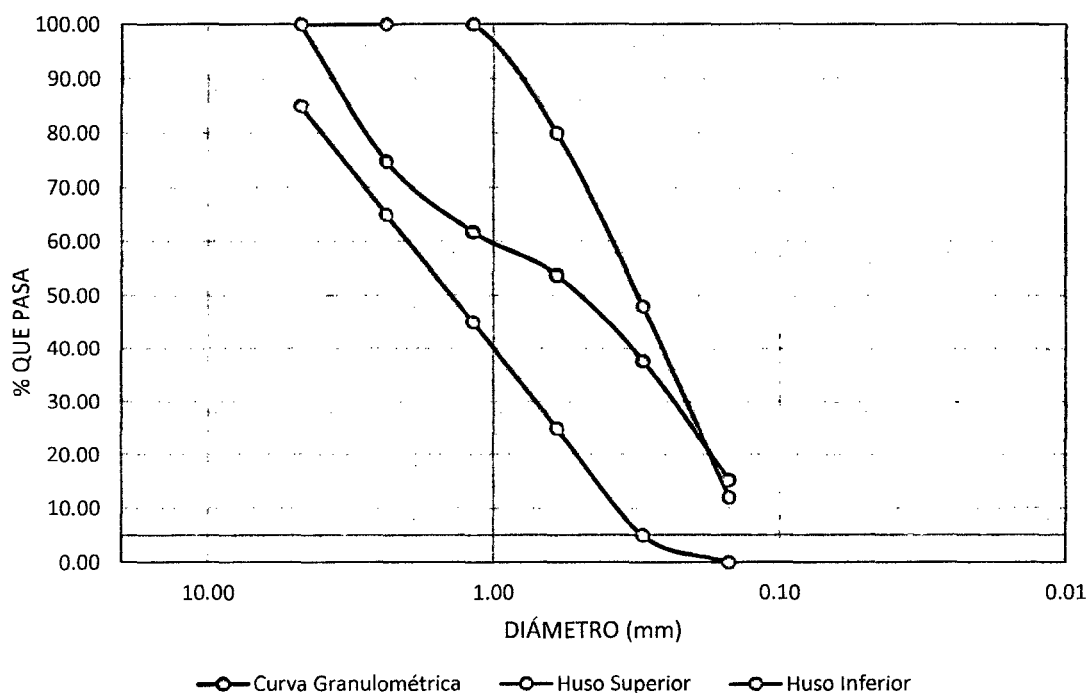
Curva de distribución granulométrica: "Agregado Fino"



Ensayo N°3:

Peso de la muestra seca al horno = 500 gr.					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
4	4.75	0	0.00	0.00	100.00
8	2.38	126.1	25.22	25.22	74.78
16	1.18	65.1	13.02	38.24	61.76
30	0.6	40.2	8.04	46.28	53.72
50	0.3	80.2	16.04	62.32	37.68
100	0.15	112.1	22.42	84.74	15.26
200	0.07	51.2	10.24	94.98	5.02
Cazoleta		25.1	5.02	100.00	0.00

Curva de distribución granulométrica: "Agregado Fino"



### B. Módulo de finura.

Se 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 = 2.58
Ensayo N° 02	mf = 2.56
Ensayo N° 03	mf = 2.57
<b>Promedio</b>	<b>mf = 2.57</b>

### C. Peso específico y absorción.

Ws1	495.2 gr	
Ws2	494.3 gr	Ws: Peso de la muestra seca
Ws3	496.1 gr	

A1	1309.2 gr	
A2	1069.1 gr	A: Peso de la fiola + muestra saturada
A3	1314.6 gr	

B1	1618.2 gr	
B2	1359.4 gr	B: Peso de la fiola + agua + muestra
B3	1614.5 gr	

S1	500 gr	S: Peso de la muestra saturada con superficie seca
S2	500 gr	
S3	500 gr	

Va1	309 cm <sup>3</sup>	
Va2	290.3 cm <sup>3</sup>	Va: Volumen de agua añadida = B - A
Va3	299.9 cm <sup>3</sup>	

### D. Peso Específico de masa. (Ws1/(500-Va1))

Pe.m1	2.59 gr/cm <sup>3</sup>
Pe.m2	2.36 gr/cm <sup>3</sup>
Pe.m3	2.48 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Pe.m</b>	<b>2.48 gr/cm<sup>3</sup></b>

**E. Peso Específico de masa saturada superficialmente seca (Pe.S.S.S.)  
(500/(500-Va1))**

Pe. S.S.S.1	2.62 gr/cm <sup>3</sup>
Pe. S.S.S.2	2.38 gr/cm <sup>3</sup>
Pe. S.S.S.3	2.50 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Pe. S.S.S.</b>	<b>2.50 gr/cm<sup>3</sup></b>

**F. Peso Específico nominal o Aparente (Pe.a)**

Pe.a 1	2.66 gr/cm <sup>3</sup>
Pe.a 2	2.42 gr/cm <sup>3</sup>
Pe.a 3	2.53 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Pe.a</b>	<b>2.54 gr/cm<sup>3</sup></b>

**G. Absorción (Abs %)**

Abs 1	0.97 %
Abs 2	1.15 %
Abs 3	0.79 %
<b>Abs</b>	<b>0.97 %</b>

**H. Contenido de Humedad (W %)**

A1	1000 gr.
A2	1000 gr.
A3	1000 gr.

A: Peso de la muestra húmeda

B1	930.2 gr.
B2	928.5 gr.
B3	935.4 gr.

B: Peso de la muestra seca.

W1	7.50 %
W2	7.70 %
W3	6.91 %
<b>W</b>	<b>7.37 %</b>

W: Contenido de humedad

I. **Peso unitario**

✓ **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
<b>Peso del Molde (kg)</b>	4.215	4.215	4.215
<b>Peso del Molde + Material (kg)</b>	19.2	19.4	18.9
<b>Peso de Material (kg)</b>	14.985	15.185	14.685
<b>Factor (F)</b>	101.17	101.17	101.17
<b>Peso Unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1516	1536	1486
<b>Peso Unitario Suelto promedio</b>	1513 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
<b>Peso del Molde (kg)</b>	4.215	4.215	4.215
<b>Peso del Molde + Material (kg)</b>	21.2	21.5	21.4
<b>Peso de Material (kg)</b>	16.985	17.285	17.185
<b>Factor (F)</b>	101.17	101.17	101.17
<b>Peso Unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1718	1749	1739
<b>Peso Unitario Suelto promedio</b>	1735 kg/m <sup>3</sup>		



## 9.2. Diseño analítico del mortero.

CEMENTO TIPO:	I ASTM C 150	PESO ESPECIFICO:	3.11 gr/cm <sup>3</sup>		
f <sub>c</sub> =	140.00 kg/cm <sup>2</sup>				
Agregado global					
P. Especifico de masa:	2.48 gr/cm <sup>3</sup>				
Peso Unitario suelto	1512.65 kg/m <sup>3</sup>				
Peso Unitario Compactado	1735.22 kg/m <sup>3</sup>				
Contenido de humedad (%)	7.37				
Absorción (%)	0.97				
Módulo de finura global	2.57				
Porcentaje que pasa por malla N° 200	4.97				
Peso volumétrico cal	640.00 kg/m <sup>3</sup>				
Pe Cal	2300.00 kg/m <sup>3</sup>				
Asentamiento	4" - 8"				
Mortero Tipo 2	Cemento	Cal	agregado	Agua Aprox	
Dosificación:	1	0.25	4	1.05	
Volumen aparente	1.00 pie <sup>3</sup>	0.25 pie <sup>3</sup>	4.00 pie <sup>3</sup>	1.05	
Peso muestra seca	42.50 kg	4.53 kg	171.33 kg	44.63 lts	
Volumen absoluto	0.01367 m <sup>3</sup>	0.00197 m <sup>3</sup>	0.06919 m <sup>3</sup>	0.04463 m <sup>3</sup>	
Aire 1%	0.00129 m <sup>3</sup>				
Sumatoria	0.13074 m <sup>3</sup>				
Numero de bolsas	7.649 bolsas				
Material por m <sup>3</sup>	325.07 kg	34.65 kg	1310.46 kg	341.32 lts	
Peso materiales húmedos	325.07 kg	34.65 kg	1407.044501	257.4441602	
Proporción en peso	1	0.106604	4.328454	33.66 lts/bolsa	0.79
Proporción en volumen	1	0.25	4	1.05	

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

Tabla 46. Calculo Resistencia a la compresión de las probetas de mortero.

Unidad	Resistencia del mortero kg/cm <sup>2</sup> (24 días)	Resistencia del mortero kg/cm <sup>2</sup> (28 días)
Mortero 1	169.48	178.46
Mortero 2	170.46	179.50
Mortero 3	155.86	164.12
Mortero 4	147.27	155.08
Mortero 5	167.75	176.64
Mortero 6	170.96	180.02
Mortero 7	142.59	150.14
Mortero 8	149.74	157.68
Mortero 9	173.42	182.61
Mortero 10	155.66	163.91
Mortero 11	171.70	180.80
Mortero 12	140.61	148.07
Mortero 13	160.84	169.37
Mortero 14	168.74	177.68
Mortero 15	149.25	157.16
Mortero 16	145.30	153.00
Mortero 17	136.17	143.39
Mortero 18	171.94	181.06
Mortero 19	171.94	181.06
Mortero 20	149.25	157.16
Mortero 21	164.16	172.86
Mortero 22	152.10	160.16
Mortero 23	154.11	162.27
Mortero 24	177.56	186.97
Mortero 25	165.83	174.62
Mortero 26	168.85	177.79
Mortero 27	184.26	194.02
Mortero 28	164.16	172.86
Mortero 29	165.50	174.27
Mortero 30	150.76	158.75
<b>Promedio resistencia (f'c)</b>		169.05 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Desviación estándar (σ)</b>		12.83 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Resistencia compresión (f'c- σ)</b>		156.22 Kg/cm <sup>2</sup>

✓ **Cálculo del módulo de elasticidad del mortero.**

**Tabla 47: Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación ladrillo artesanal del sector Plan Miraflores CP Otuzco.**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
Cemento	Pacasmayo Tipo I
Edad	24 días
Fecha de elaboración	22/11/2014
Fecha de rotura	16/12/2014
Resistencia característica	140 kg/cm <sup>2</sup>
Área de la probeta	20.27
Altura de la probeta	10.16

**Especímenes de Mortero**

Mortero 1					Mortero 2				
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Esf. Corr.
0	0.00	0.00000	0.0000	0.000	0	0.00	0.00000	0.0000	0.000
250	0.13	0.12795	12.3345	17.832	250	0.07	0.06890	12.3345	11.688
500	0.19	0.18701	24.6691	29.934	500	0.16	0.15748	24.6691	26.155
750	0.25	0.24606	37.0036	41.629	750	0.22	0.21654	37.0036	35.550
1000	0.28	0.27559	49.3381	47.325	1000	0.31	0.30512	49.3381	49.266
1250	0.34	0.33465	61.6727	58.412	1250	0.42	0.41339	61.6727	65.420
1500	0.45	0.44291	74.0072	77.685	1500	0.46	0.45276	74.0072	71.128
1750	0.51	0.50197	86.3417	87.623	1750	0.55	0.54134	86.3417	83.644
2000	0.62	0.61024	98.6763	104.788	2000	0.68	0.66929	98.6763	100.929
2250	0.65	0.63976	111.0108	109.232	2250	0.77	0.75787	111.0108	112.345
2500	0.72	0.70866	123.3453	119.209	2500	0.89	0.87598	123.3453	126.866
2750	0.82	0.80709	135.6799	132.503	2750	0.93	0.91535	135.6799	131.529
3000	0.95	0.93504	148.0144	148.101	3000	1.10	1.08268	148.0144	150.353
3250	0.98	0.96457	160.3489	151.429	3250	1.15	1.13189	160.3489	155.584
3435	1.24	1.22047	169.4765	176.031	3435	1.32	1.29921	170.463	172.330

Nota; Se procedió de la misma manera para los 28 especímenes restantes

Gráfico N° 9: Gráfica Esfuerzo Vs Deformación Unitaria de especímenes de mortero

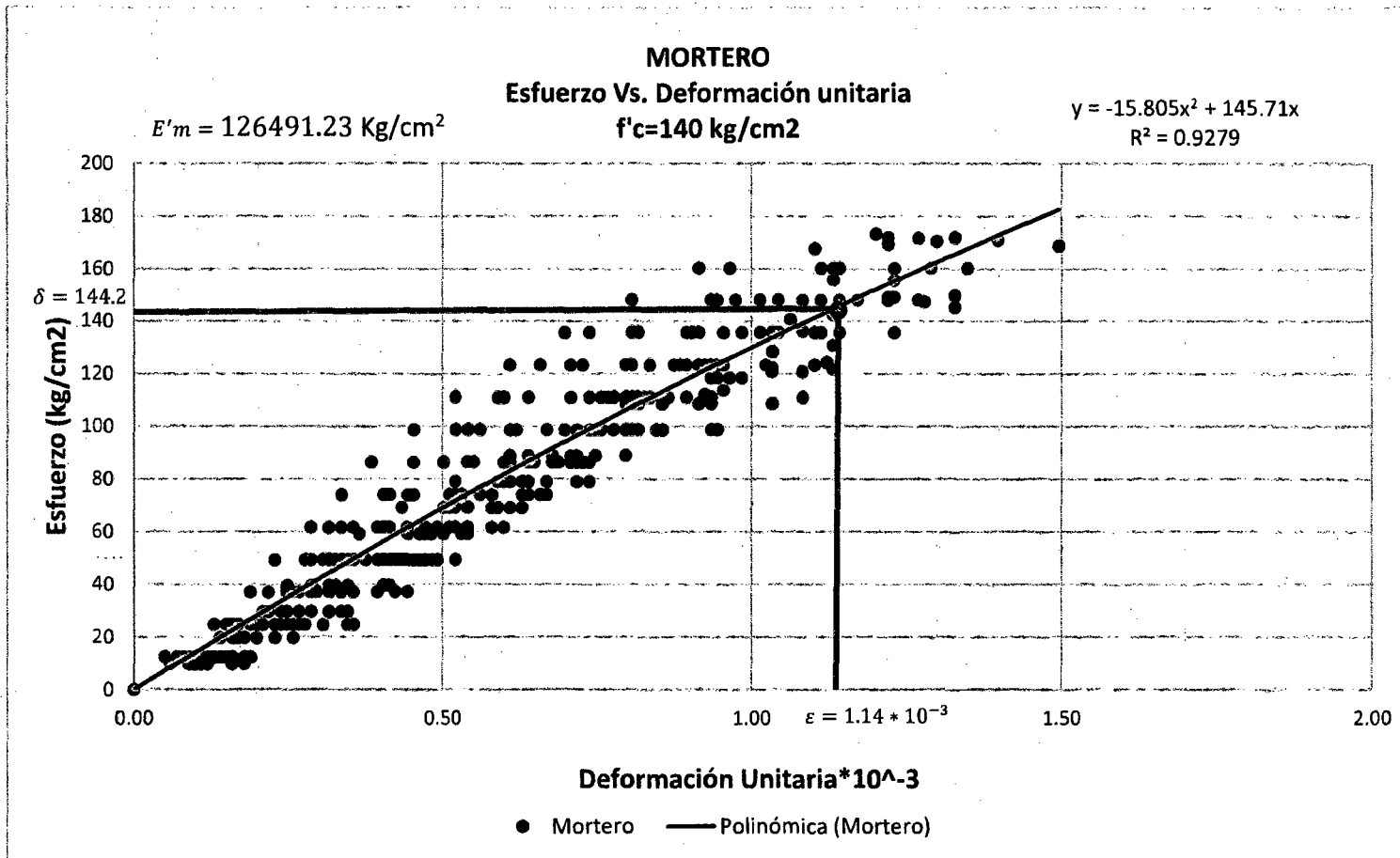


Tabla 48: Calculo módulo de elasticidad del mortero.

Tipo	$\epsilon_u$ (*10 <sup>-3</sup> )	$\delta$	Módulo Elasticidad (E'm) (kg/cm <sup>2</sup> ) Práctica	Módulo Elasticidad (E'm) (kg/cm <sup>2</sup> ) teórico	Diferencia teórica - práctica
<b>MORTERO</b>	1.14	144.2	126491.23	270000	-53.15%

$\epsilon_u$  : Deformación unitaria, tramo final mayos dispersión de puntos

$\delta$ : Esfuerzo, tramo final mayos dispersión de puntos

#### 9.4. Cálculo de la resistencia al corte en tripletes.

Tabla 49: Ensayo de tripletes.

Espécimen	Alto (cm)	Ancho (cm)	Espesor de junta (mm)	Carga Aplicada (Kg)	Resistencia al corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
TLAO - 01	10.5	12.7	12	900	6.749	
TLAO - 02	10.3	12.7	13	1200	9.174	
TLAO - 03	9.8	12.6	15	1200	9.718	9.021
TLAO - 04	10.1	12.7	15	1100	8.576	
TLAO - 05	9.4	12.7	14	1300	10.890	
TLIR - 01	11.8	12.8	12	2500	16.552	
TLIR - 02	12.1	12.9	12	2200	14.094	
TLIR - 03	12.2	12.9	13	2200	13.979	14.093
TLIR - 04	12.5	12.8	15	2100	13.125	
TLIR - 05	12.1	13	14	2000	12.715	

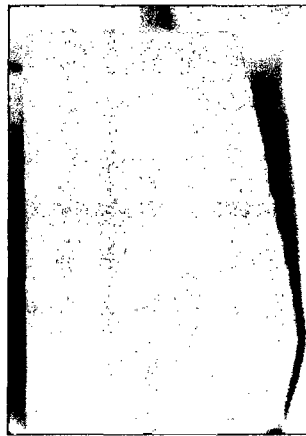
TLAO: Triplete de ladrillo Artesanal Plan Miraflores Otuzco

TLIR: Triplete de ladrillo industrial Rex

**Anexo B: Panel fotográfico**



*Fig. 28. Análisis granulométrico de la arena gruesa en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería.*



*Fig. 29. Ladrillo de arcilla fabricado artesanalmente por la ladrillera del señor Andrés Chilón en el Plan Miraflores del centro poblado menor de Otuzco.*

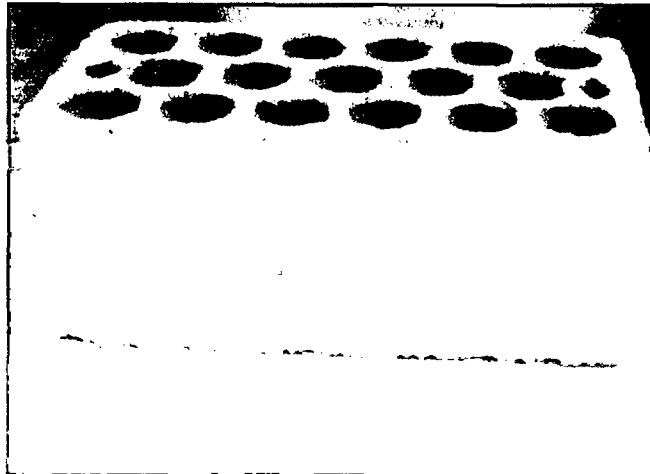


Fig. 30. Ladrillo de arcilla fabricado industrialmente por la fábrica "Rex" de la ciudad de Lima.



Fig. 31. Secado y limpieza de ladrillo artesanal e industrial



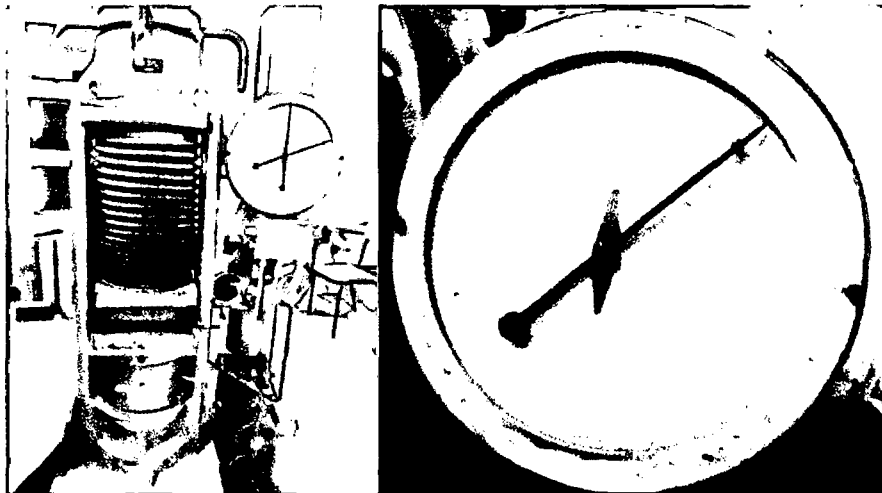
Fig. 32. Medición del largo, ancho y alto de las unidades de albañilería



*Fig. 33. Medición del alabeo.*

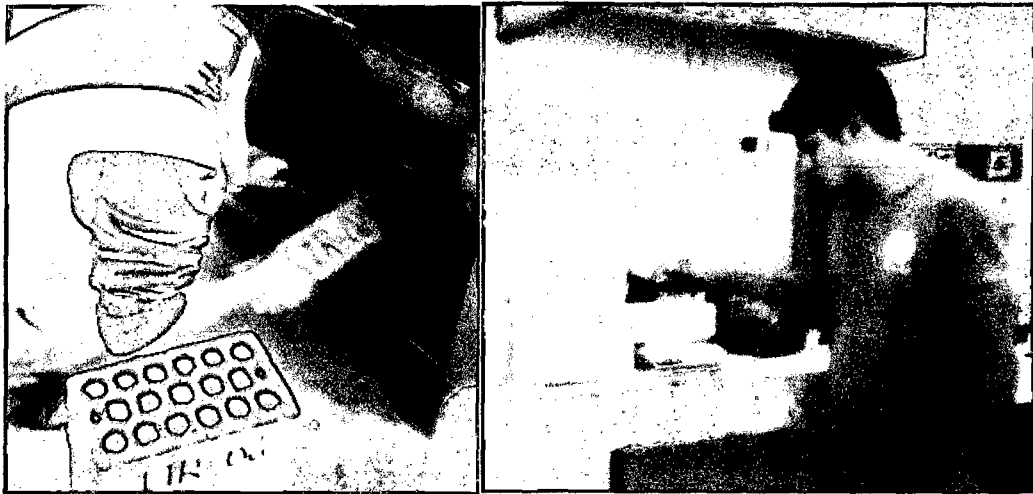


*Fig. 34. Secado, registro de peso y medición de los lados de las unidades*

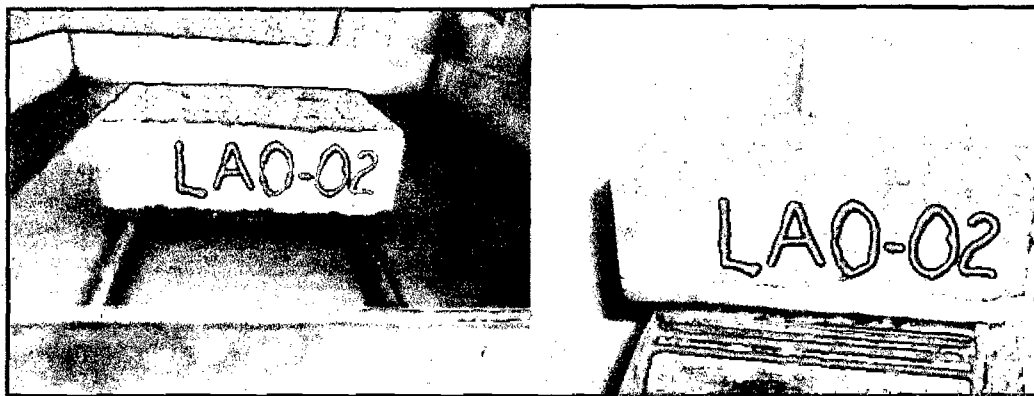


*Fig. 35. Ensayo a compresión de unidades de albañilería.*





*Fig. 36. Secado y registro del peso de los ladrillos*



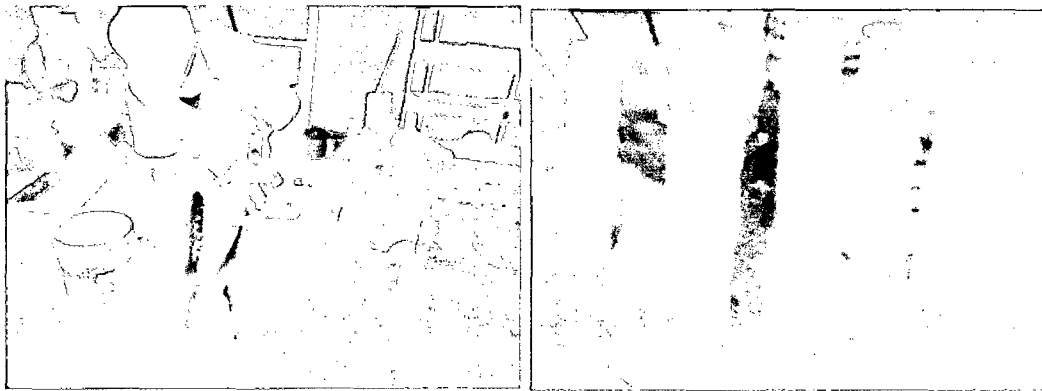
*Fig. 37. Succión del ladrillo y peso después de la inmersión del ladrillo.*



*Fig. 38. Absorción en ladrillos de arcilla.*



*Fig. 39. Arena en los huecos.*



*Fig. 40. Construcción de las Pilas de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial)*



*Fig. 41. Montaje e instrumentación para el ensayo de pilas de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial)*

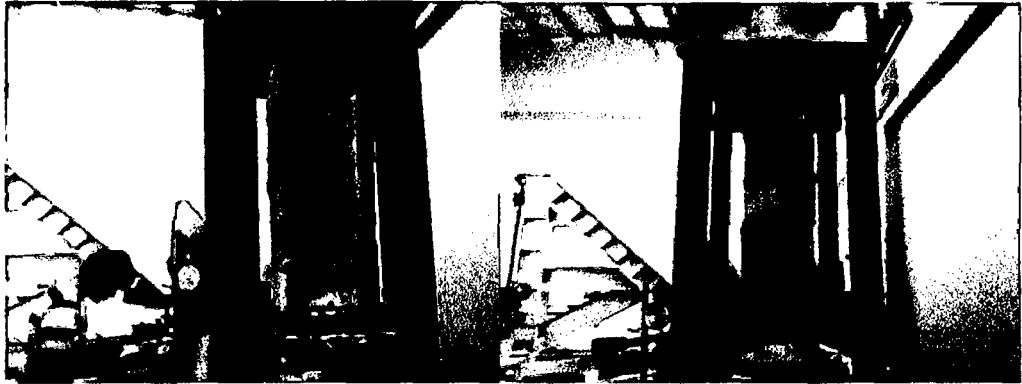


Fig. 42. Falla típica de las pilas de ladrillo del Sector Plan Miraflores del CP. Otuzco



Fig. 43. Falla típica las pilas de ladrillos Industriales REX



Fig. 44. Construcción de muretes de ladrillo de arcilla (Industrial y Artesanal)

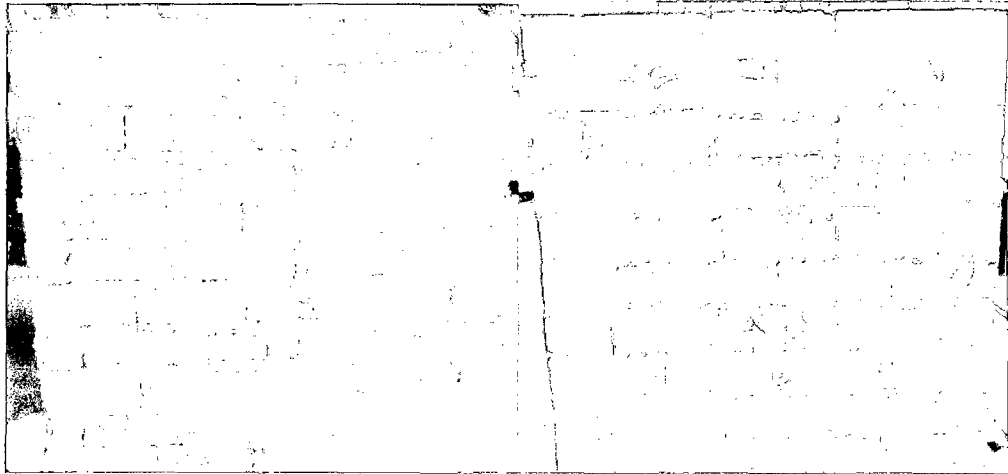


Fig. 45. Muretes de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial)

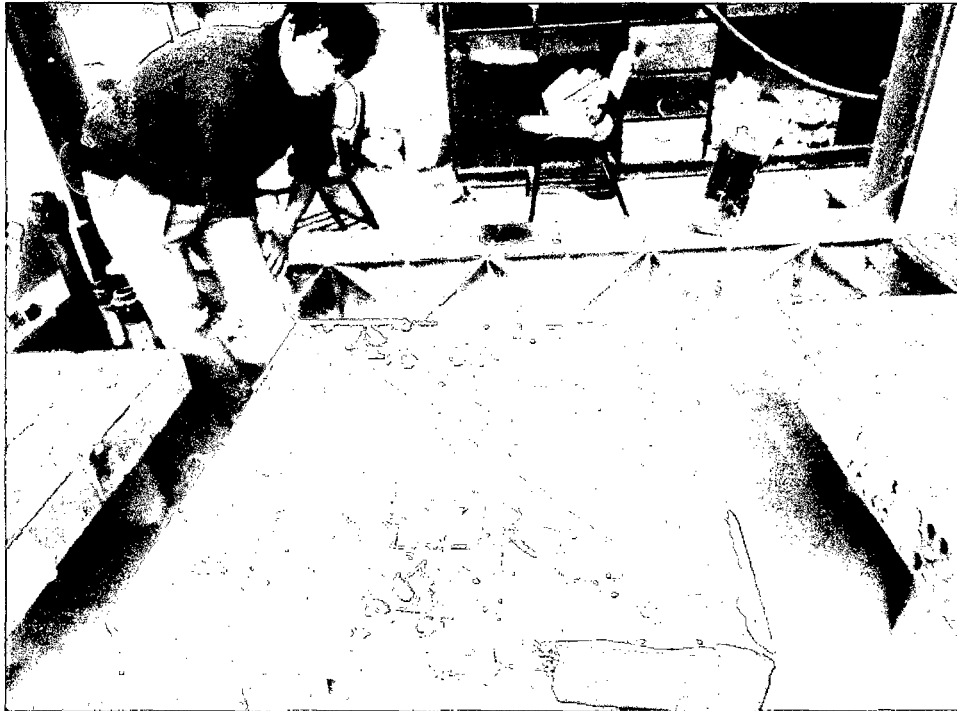


Fig. 46. Muretes de ladrillo de arcilla con capa de yeso en las esquinas.



Fig. 47. Muretes, listos para ser ensayados en la maquina universal de péndulo.



Fig. 48. Deflectómetros anexados a soportes universales, para medir deformación.

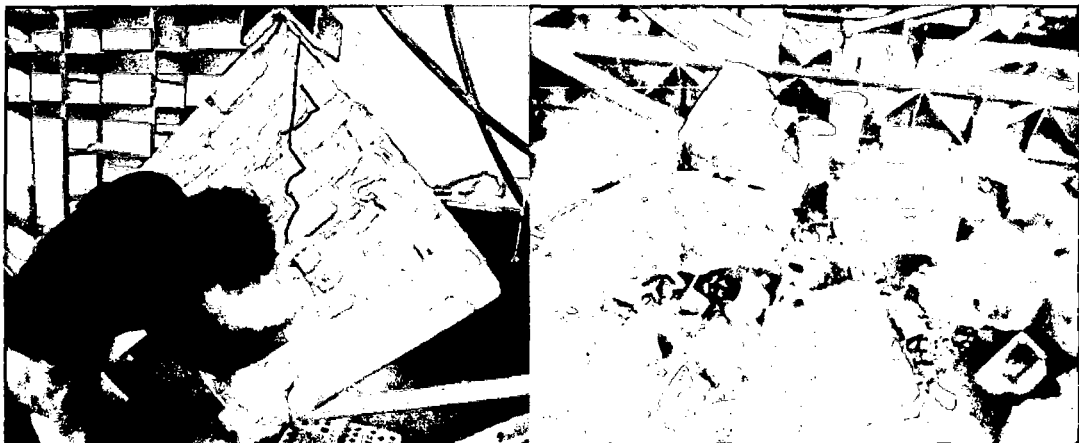


Fig. 49. Falla típica de los muretes de ladrillo del Sector Plan Miraflores del C.P. Otuzco



Fig. 50. Falla típica de los muretes de ladrillos industriales Rex

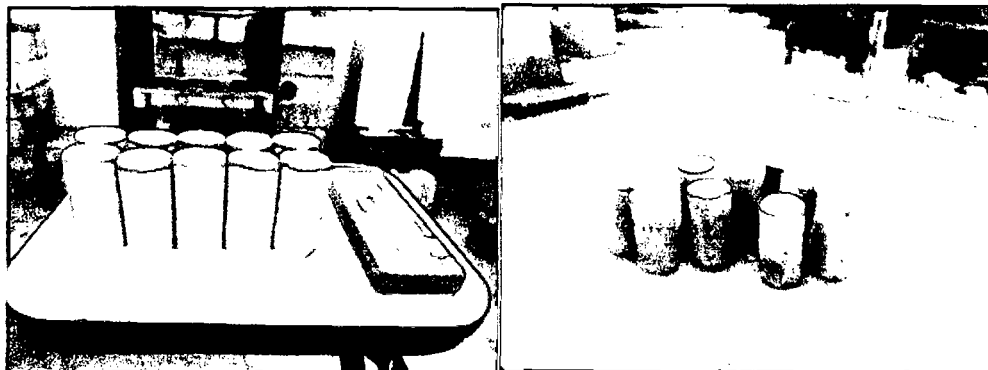


Fig. 51. Especímenes de mortero (ensayo a la compresión).



Fig. 52. Ensayo a la compresión de Especímenes de mortero.



Fig. 53. Tripletes de albañilería para ensayo al corte de mortero.

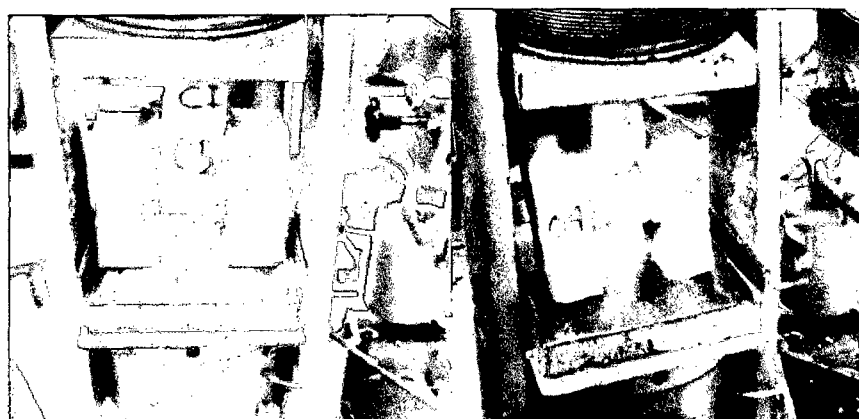


Fig. 54. Ensayo de tripletes de albañilería



Fig. 55. Falla en los ladrillos artesanales

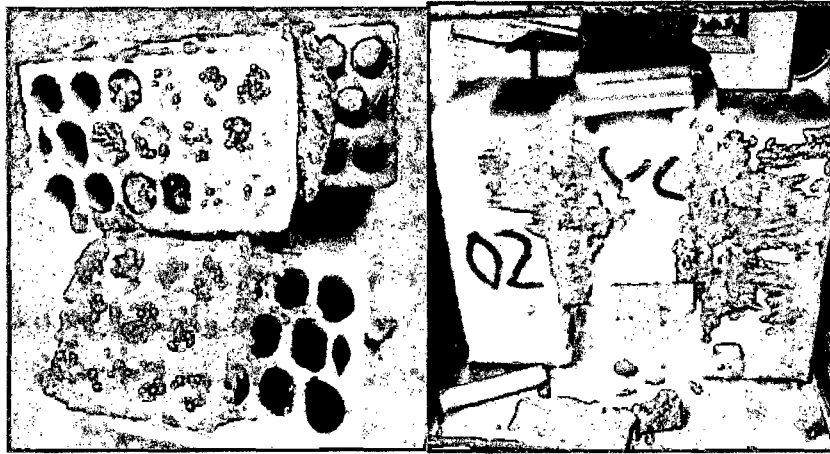


Fig. 56. Falla en los ladrillos Industriales



## **Anexo C: Control estadístico de resistencia de los ladrillos (Deducción del $f_b$ )**

### **Control estadístico de resistencia de los ladrillos de arcilla**

#### **1. Introducción.**

Un concepto muy importante que hay que tener en cuenta actualmente es que los métodos de diseño estructural en concreto y mampostería son probabilísticas.

Al ser el ladrillo un material heterogéneo, está sujeto a la variabilidad de sus componentes así como a las dispersiones adicionales por el tipo de material utilizado y la forma de cocción de éstos.

La resistencia del ladrillo bajo condiciones de producción controladas sigue con gran aproximación la distribución probabilística Normal.

#### **2. Distribución normal y campana de gauss.**

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\bar{X}}{\sigma}\right)^2}$$

Donde:

$\sigma$ = Desviación Estándar

$\bar{X}$ = Resistencia Promedio

$X$  = Resistencia de ensayo

$e = 2.71828$

$\pi = 3.14159$

Al graficar la ecuación anterior obtenemos una gráfica especial el cual tiene algunas características:

- Es simétrica con respecto a  $\mu$

- Es asintótica respecto al eje de las abscisas
- La forma y tamaño va a depender de  $\sigma$

El siguiente gráfico muestra la curva normal para diferentes valores de  $\sigma$ , teniendo un mismo  $\mu$  entonces podemos concluir que a medida que aumenta el  $\sigma$  el grado de dispersión que existe en las resistencias de las probetas es mayor el cual tiende a alejarse del promedio.

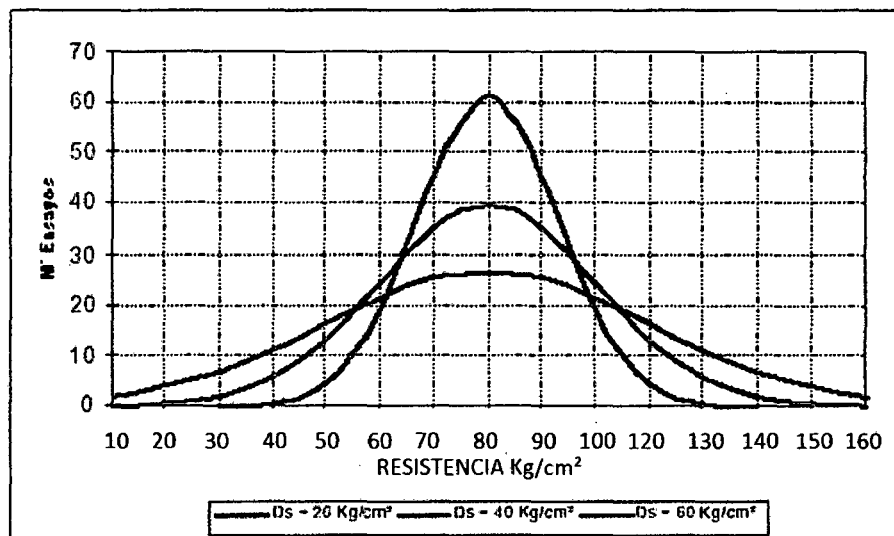


Fig. 57: Muestra la curva normal para diferentes valores de  $\sigma$

La Desviación estándar está definida como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$\sigma$  = Desviación Estándar

$\bar{X}$  = Resistencia Promedio

X = Resistencia individual

n = Número de ladrillos ensayados

Este parámetro nos indica el grado de dispersión existente entre la resistencia a compresión para un determinado f'b

Coefficiente de variación, tiene como expresión:

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

Donde:

$\sigma$  = Desviación Estándar

$\bar{X}$  = Resistencia Promedio

Este parámetro no permite predecir la variabilidad existente entre los ensayos de resistencia. La distribución normal permite estimar matemáticamente la probabilidad de la ocurrencia de un determinado fenómeno en función de los parámetros indicados anteriormente, y en el caso del concreto se aplica a los resultados de resistencias.

Este parámetro no permite predecir la variabilidad existente entre los ensayos de resistencia. La distribución normal permite estimar matemáticamente la probabilidad de la ocurrencia de un determinado fenómeno en función de los parámetros indicados anteriormente, y en el caso del concreto se aplica a los resultados de resistencias.

#### **Distribución Normal y la probabilidad de ocurrencia.**

La probabilidad de ocurrencia de que los ensayos estén comprendidos dentro de un intervalo:

$\mu \pm 1 \sigma$  de 68.2%

$\mu \pm 2 \sigma$  de 95.2%

$\mu \pm 3 \sigma$  de 100%

El siguiente gráfico muestra dichas probabilidades de ocurrencia

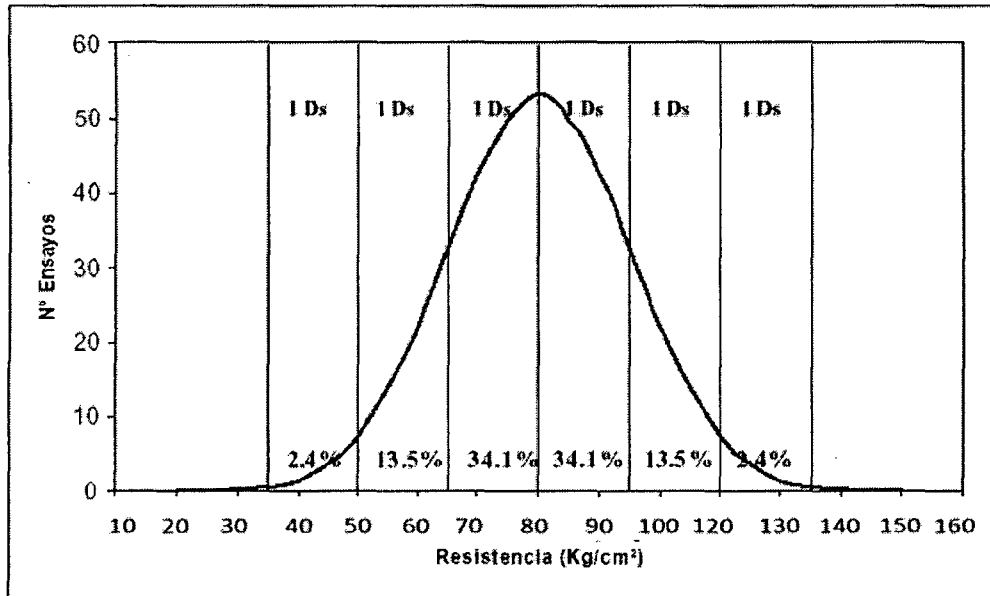


Fig. 58: Probabilidades de ocurrencia

$Ds = \sigma$  = Desviación estándar.

De lo anterior se traduce que la resistencia del ladrillo ( $f'b$ ) encontrada debe ser menor al promedio.

$$f'b = fb - t\sigma$$

$f'b$ : Resistencia del ladrillo

$fb$ : Promedio de resistencias encontradas

$t$ : En función a las especímenes de ladrillos ensayados ( $t=1$ )