

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN DEL USO DE
MORTEROS DE CEMENTOS PORTLAND Y MORTERO
POLIMÉRICO EN MUROS DE ALBAÑILERÍA”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

FABIO FRANCO VENERO CARRASCO

ASESOR

MSc. CARLOS ALBERTO VILLEGAS MARTÍNEZ

LIMA- PERÚ

2020

© 2020, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Venero Carrasco, Fabio Franco

fabiofrancovc@gmail.com

941340120

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme cumplir esta meta.

A mis maravillosos padres, Sara y Guillermo, por su amor, su fe, sus enseñanzas, la educación que me brindaron y los valores que me inculcaron.

A mis hermanos, Luigi y Jamil, por su comprensión, su compañía y su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar gracias a todas las personas que me apoyaron a concluir esta investigación:

- ❖ A mi asesor, el MSc. Carlos Villegas, por su disponibilidad y orientación.
- ❖ Al personal técnico y administrativo del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM-UNI) por las facilidades brindadas durante la realización de los ensayos.
- ❖ A la empresa Delko Industrial S.A.C., por su contribución esencial a esta investigación.
- ❖ A mis seres queridos, que estuvieron conmigo incondicionalmente.
- ❖ A mis amigos, que me apoyaron durante la ejecución de la tesis.
- ❖ Y a todas las personas que me contribuyeron a lograr este objetivo.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT... ..	7
PRÓLOGO.....	9
LISTA DE TABLAS.....	11
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE GRÁFICOS.....	22
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....	232
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	26
1.1 GENERALIDADES.....	26
1.2 PROBLEMÁTICA	29
1.3 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.....	30
1.3.1 Objetivo Principal	30
1.3.2 Objetivos Específicos	30
1.4 HIPÓTESIS.....	30
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	32
2.1 LA ALBAÑILERÍA.....	32
2.1.1 Breve repaso de la historia de la albañilería	33
2.1.2 Clasificación de la albañilería	36
2.2 COMPONENTES DE LA ALBAÑILERÍA	41
2.2.1 Unidad de albañilería	41
2.2.2 Mortero.....	45
2.3 ALBAÑILERÍA COMO MATERIAL COMPUESTO.....	54
2.3.1 Propiedades de la albañilería como material compuesto.....	55
2.4 MORTEROS POLIMÉRICOS PARA ALBAÑILERÍA.....	64
2.4.1 Polímeros.....	65
2.4.2 Antecedentes	66

2.4.3	Productos actuales.....	68
2.5	LA AUTOCONSTRUCCIÓN PERUANA Y LA ALBAÑILERÍA	74
2.5.1	Antecedentes	74
2.5.2	El problema de la autoconstrucción en el Perú.....	76
CAPÍTULO III: NORMAS Y PROCEDIMIENTOS APLICABLES		79
3.1	NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070: ALBAÑILERÍA.....	79
3.2	NORMAS APLICABLES A LOS COMPONENTES DE LA ALBAÑILERÍA SEGÚN LA NTE E.070	80
3.2.1	Unidad de la Albañilería	80
3.2.2	Mortero.....	90
3.3	NORMAS APLICABLES A LOS PRISMAS DE ALBAÑILERÍA SEGÚN LA NTE E.070.....	104
3.3.1	Compresión Axial de Pilas de Albañilería (NTP 399.605)	105
3.3.2	Compresión Diagonal de Muretes de Albañilería (NTP 399.621).	108
3.3.3	Adherencia en Pilas de Albañilería (Tracción Directa).....	111
CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL MURO DE ALBAÑILERÍA.....		113
4.1	UNIDAD DE ALBAÑILERÍA.....	113
4.1.1	Generalidades.....	113
4.1.2	Resultados de los ensayos en las unidades de albañilería.....	114
4.1.3	Resumen: Clasificación para fines estructurales	125
4.2	MORTERO.....	126
4.2.1	Generalidades.....	127
4.2.2	Componentes y resultados sobre sus propiedades	129
4.2.3	Diseño y proporciones del mortero.....	135
4.2.4	Resultados de los ensayos en los morteros	139

CAPÍTULO V: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PILAS Y MURETES DE ALBAÑILERÍA	144
5.1 COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS DE ALBAÑILERÍA	144
5.1.1 Elaboración de pilas de albañilería.....	144
5.1.2 Ensayo de compresión axial en pilas de albañilería	149
5.1.3 Resultados	150
5.2 COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE ALBAÑILERÍA...	163
5.2.1 Elaboración de muretes de albañilería	163
5.2.2 Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.....	170
5.2.3 Resultados	171
5.3 ADHERENCIA EN PILAS DE ALBAÑILERÍA	189
5.3.1 Elaboración de pilas de albañilería.....	190
5.3.2 Ensayo de pilas de albañilería.....	193
5.3.3 Resultados	194
CAPÍTULO VI: PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DE LA ALBAÑILERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN PERUANA	200
6.1 LEAN CONSTRUCTION Y LA PRODUCTIVIDAD EN LA ALBAÑILERÍA	200
6.1.1 Productividad, rendimiento y velocidad de producción	201
6.1.2 Lean Production y Lean Construction.....	202
6.1.3 Herramientas para medir la productividad	203
6.1.4 Resultados obtenidos en la albañilería	205
6.2 COSTOS UNITARIOS EN LA ALBAÑILERÍA.....	224
6.2.1 Costos unitarios para muros de albañilería de ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla	224
6.2.2 Costos unitarios para muros de albañilería de ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla.....	227
6.2.3 Costos unitarios para muros de albañilería de ladrillos Clase C: Koncreto de concreto	229

6.2.4	Comparación de los costos incurridos en mano de obra y materiales.....	232
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS		234
7.1	LADRILLO KING KONG 18 HUECOS (CLASE A).....	234
7.1.1	Resistencia a la compresión axial en pilas	234
7.1.2	Resistencia a la compresión diagonal en muretes.....	236
7.1.3	Resistencia a la adherencia	238
7.1.4	Estudios de tiempos y costos	239
7.2	LADRILLO PANDERETA ACANALADA (CLASE B).....	240
7.2.1	Resistencia a la compresión axial en pilas	240
7.2.2	Resistencia a la compresión diagonal en muretes.....	241
7.2.3	Resistencia a la adherencia	243
7.2.4	Estudios de tiempos y costos	244
7.3	LADRILLO KONCRETO DE CONCRETO (CLASE C)	246
7.3.1	Resistencia a la compresión axial en pilas	246
7.3.2	Resistencia a la compresión diagonal en muretes.....	247
7.3.3	Resistencia a la adherencia	250
7.3.4	Estudios de tiempos y costos	251
CONCLUSIONES.....		253
RECOMENDACIONES.....		257
BIBLIOGRAFÍA.....		259

RESUMEN

Tanto la albañilería estructural, así como la no estructural, son elementos y materiales importantes en el proceso constructivo de una edificación, más aún en un país como el Perú donde, según el INEI, se emplean estos materiales compuestos como componentes de viviendas autoconstruidas, ello ante la necesidad de satisfacer la escasez de vivienda. Dicha forma de construcción, la cual constituye un total del 67% de viviendas en el país, no cuenta con asistencia técnica y se construye sin el conocimiento necesario de las propiedades y el uso correcto de los materiales, por lo que la difusión de información juega un papel imprescindible para aminorar los riesgos a los que se exponen los habitantes.

Ante esta situación, la presente investigación desarrolla la caracterización de la interacción de materiales que son posibles opciones para el poblador y constructor peruano, específicamente entre cuatro distintos morteros interactuando con tres diferentes unidades de albañilería, ello con la finalidad de obtener las características de las distintas opciones resultantes y determinar las alternativas con mayores beneficios para el fin que se destinen. Para ello, se abordaron dos enfoques: el primero se centra en las propiedades estructurales de la albañilería y sus componentes; mientras que el segundo, abarca las propiedades constructivas (características económicas y de productividad) de cada alternativa posible. Tras ello, se pudieron analizar y comparar los resultados obtenidos. Cabe mencionar que los morteros evaluados fueron: convencional C:A 1:4 (denominado mortero patrón), convencional C:A 1:5, embolsado y polimérico mientras que los ladrillos fueron: King Kong 18 huecos, pandereta acanalada y de concreto.

El primer enfoque fue sobre la caracterización estructural de la albañilería, es decir, se evaluaron las propiedades y características físicas y mecánicas; para ello, inicialmente, se estimó el desempeño de los ladrillos y los componentes de los morteros (cemento, agregado y agua) según los requerimientos de las normas peruanas; y tras a ello, se ensayaron pilas de albañilería sometidas a compresión axial, de las cuales son las construidas con mortero patrón (convencional C:A 1:4) las que mejor desempeño presentan, seguidas de las pilas con morteros convencional C:A 1:5, embolsado y polimérico, las que alcanzaron resultados equivalentes hasta el 93%, 86% y 41% respectivamente, todos ellos respecto a los resultados del mortero patrón. Asimismo, se evaluaron muretes sometidos a compresión diagonal, en los que aquellos que se construyeron con mortero

embolsado alcanzaron resultados que superan a los muretes con mortero patrón, con resultados equivalentes de hasta el 107%. Tras ellos, los cuales secundan en desempeño (equivalente al 100%), siguen los de mortero convencional C:A 1:5 y mortero polimérico, con valores de hasta 74% y 29%, respectivamente. Finalmente, se evaluó la adherencia en prismas mediante la adaptación de un test; de cuyos resultados, las pilas elaboradas con morteros patrón y polimérico son las que mejor desempeño presentan, con resultados que alcanzan a un equivalente de hasta 323% respecto a los obtenidos con el mortero patrón; asimismo, los resultados obtenidos por las pilas con mortero embolsado y mortero polimérico logran resultados más bajos con valores de hasta el 85% y 79%, respectivamente.

El otro enfoque abarcó el desempeño de la productividad en las opciones de albañilería investigadas, ello mediante el estudio y análisis de tiempos, cálculo de velocidad de producción y rendimientos, para ello se empleó herramientas como la carta balance y el nivel general de actividades durante el proceso constructivo de los muretes, de donde se infiere que el uso del mortero polimérico representa la opción más idónea, dado que alcanza una excelente velocidad de producción y posee un alto porcentaje de tiempos productivos (TP = 68%) en comparación al empleo de los morteros cementicios (TP = 32%). Asimismo, para comparar el desempeño de costos se utilizaron los análisis de precios unitarios de las alternativas consideradas en la investigación, de cuya interpretación se desprende que las bondades productivas del mortero polimérico también influyen en los costos, logrando generarse ahorros de hasta S/. 17.83, S/. 20.10 y S/19.71 por metro cuadrado en comparación al uso de los morteros convencional C:A 1:4, convencional C:A 1:5 y embolsado, respectivamente, equivalentes a ahorros del 24%, 26% y 22% respecto a los precios originales de cada una de las opciones.

Finalmente, al evaluar tanto los resultados estructurales como los constructivos obtenidos de los enfoques la investigación, se observa que la opción que brinda un buen desempeño estructural y es la mejor alternativa económica para la construcción de albañilería estructural, es la que emplea al mortero convencional C:A 1:4, específicamente en conjunto al ladrillo King Kong 18 huecos. Mientras que, en el caso de la albañilería no estructural, las opciones que emplean al ladrillo pandereta presentan mejores rendimientos y desempeño económico. Cabe mencionar que, para el empleo de morteros poliméricos en albañilería, se sugiere realizar mayor cantidad de ensayos que validen sus propiedades estructurales.

ABSTRACT

Structural and non-structural masonry are important elements and materials in the construction process of a building, even more so in a country like Peru where, according to the INEI, these composite materials are used as components of self-built houses, this is due to the need to satisfy the housing shortage. This form of construction, which constitutes a total of 67% of homes in the country, does not have technical assistance and is built without the necessary knowledge of the properties and the correct use of materials, so the dissemination of information plays an essential role to reduce the risks to which the inhabitants are exposed.

Faced with this situation, the present research develops the characterization of the interaction of materials that are possible options for the Peruvian settlers and builders, specifically between four different mortars interacting with three different masonry units, in order to obtain the characteristics of the different resulting options and determine the alternatives with the greatest benefits for the intended purpose. To do this, two approaches were addressed: the first focuses on the structural properties of masonry and its components; while the second covers the constructive properties (economic and productivity characteristics) of each possible alternative. After that, the results obtained could be analyzed and compared. It should be mentioned that the mortars evaluated were: conventional C:A 1:4 (called standard mortar), conventional C:A 1:5, bagged and polymeric, while the bricks were: "King Kong 18 huecos", "pandereta acanalada" and concrete.

The first focus was on the structural characterization of the masonry that is the physical and mechanical properties and characteristics were evaluated. To do this, initially, the performance of bricks and mortar components (cement, aggregate and water) was estimated according to the requirements of Peruvian standards. After that, masonry piles subjected to axial compression were tested, of which those built with standard mortar (conventional C:A 1:4) had the best performance, followed by piles with conventional mortars C:A 1:5, bagged and polymeric, which reached equivalent results up to 93%, 86% and 41% respectively, all of them compared to the results of the standard mortar. Likewise, walls subjected to diagonal compression were evaluated, in which those that were built with bagged mortar achieved results that exceed those with standard mortar, with equivalent

results of up to 107%. After them, which second in performance (equivalent to 100%), follow those of conventional C:A 1:5 mortar and polymeric mortar, with values of up to 74% and 29%, respectively. Finally, adhesion to prisms was evaluated by adapting a test; of whose results, the piles made with standard and polymeric mortars are the ones that show the best performance, with results that reach an equivalent of up to 323% with respect to those obtained with the standard mortar. Likewise, the results obtained by the piles with bagged mortar and polymeric mortar achieve lower results with values of up to 85% and 79%, respectively.

The other approach covered the performance of productivity in the masonry options investigated, this through the study and analysis of times, calculation of production speed and yields. For this, tools such as the “Card Balance” and the “Work Sampling” during the construction process of the walls were used, from which it is inferred that the use of polymeric mortar represents the most suitable option, since it achieves an excellent production speed and has a high percentage of productive times (TP = 68%) compared to the use of cementitious mortars (TP = 32%). Likewise, to compare the cost performance, the unit price analyzes of the alternatives considered in the research were used, from whose interpretation it is deduced that the productive benefits of the polymeric mortar also influence costs, achieving savings of up to S/. 17.83, S/. 20.10 and S/ 19.71 per square meter compared to the use of conventional C:A 1:4, conventional C:A 1:5 and bagged mortars, respectively, equivalent to savings of 24%, 26% and 22% compared to the original prices of each of the options.

Finally, when evaluating both the structural and constructive results obtained from the research approaches, it is observed that the option that provides good structural performance and is the best economic alternative for the construction of structural masonry is the one that uses conventional mortar C:A 1:4, specifically in conjunction with the “King Kong 18 huecos” brick. While, in the case of non-structural masonry, the options that use “pandereta acanalada” brick present better performance and economic performance. It is worth mentioning that, for the use of polymeric mortars in masonry, it is suggested to carry out more tests to validate their structural properties.

PRÓLOGO

Las construcciones con albañilería representan, en la actualidad, el sistema constructivo más empleado para la construcción de viviendas en el país, según los datos registrados en el último censo nacional (INEI, 2017). Este sistema puede estar compuesto de muros estructurales o portantes y muros no estructurales o no portantes, siendo los primeros diseñados para recibir la acción de cargas verticales, horizontales y de flexión basado en lo indicado en la Norma Técnica Peruana de Edificaciones E.070 de Albañilería, mientras que los segundos solamente actúan ante su propio peso.

Tanto los muros portantes como los no portantes, están conformados por unidades de albañilería adheridas por el mortero que, generalmente, está compuesto por cemento, agregado fino y agua, pudiendo contener, además, otros aglomerantes como la cal u otros cementos según las proporciones y especificaciones mencionadas en la normativa peruana.

Durante las últimas décadas, se han desarrollado nuevos materiales capaces de reemplazar las funciones que cumple el mortero cementicio dentro de la albañilería, aportando al mismo tiempo ventajas constructivas y económicas; estos materiales son los morteros poliméricos, los cuales emplean los polímeros como único aglomerante, sustituyendo así al cemento portland.

En el Perú, un reducido número de empresas distribuyen y comercializan este tipo de morteros, de entre los cuales se ha elegido para la presente investigación el producto “Pegablock” de Delko Industrial S.A.C., el mismo que por la forma de aplicación reafirma las ventajas constructivas y económicas antes mencionadas, ello debido a que solamente se aplican dos hiladas horizontales sobre la superficie de asiento de los ladrillos para luego colocar encima los ladrillos posteriores, reduciendo así la cantidad de mortero empleado, generando ahorros, y simplificando enormemente el trabajo de la mano de obra por la fácil aplicación.

Es en este sentido, que el presente trabajo de investigación busca realizar una comparación y comprobación de las propiedades constructivas y económicas que se presentan en la albañilería que emplea los morteros de matriz cementicia, sean éstos los convencionales de cemento:arena o los embolsados, y por otro lado, los que emplean el mortero polimérico. Del mismo modo, se busca profundizar en la

caracterización mecánica de ambas formas de albañilería, ello mediante el ensayo de especímenes sometidos a las pruebas de resistencia a la compresión axial de pilas (f'_m), resistencia a la compresión diagonal de muretes (v'_m) y a un innovador test empleado para determinar la resistencia a la adherencia de los morteros.

Los resultados obtenidos muestran que, en el campo mecánico (estructural), los especímenes construidos con morteros cementicios alcanzan mejores resultados en las pruebas de resistencia a la compresión axial de pilas y a la resistencia a la compresión diagonal de muretes, siendo la albañilería construida con mortero de cemento-arena con relación 1:4 (mortero patrón), la que obtiene valores más altos; cabe mencionar que, los resultados obtenidos al emplear mortero polimérico no logran acceder al rango de valores estructurales. Mientras que, ocurre un caso diferente con el test de adherencia de albañilería, dado que se alcanzan buenos resultados con la aplicación del mortero polimérico, específicamente en el caso de la aplicación en conjunto a los ladrillos de cemento, llegando a obtener valores de hasta un 323% del valor del mortero patrón.

Por otro lado, en el caso de las mediciones realizadas a los procesos constructivos, se confirman las ventajas mencionadas debido a la alta productividad alcanzada en el empleo de morteros poliméricos, disminuyendo la cantidad de tiempo que no generan valor en los procesos constructivos y optimizando a su vez la cantidad de personal empleado como mano de obra, lo cual impacta positivamente en el desempeño de los costos, pues se disminuyen lo incurrido en mano de obra y materiales.

Es así que, tras el análisis de las pruebas mecánica, constructivas y económicas se puede inferir que, la opción que, simultáneamente, presenta un desempeño estructural bueno en todas las pruebas y representa la alternativa económica más favorable respecto a la construcción de albañilería, es la que emplea mortero convencional C:A 1:4. Asimismo, en el caso de analizar la albañilería no estructural (muros no portantes), el uso de ladrillos pandereta permite que se alcancen mejores desempeños en cuanto a rendimientos y ahorro de costos. Es importante mencionar, que si bien el uso de mortero polimérico presenta grandes ventajas constructivas y económicas, las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos sugieren que se deben de ensayar mayor cantidad de prismas para validar sus propiedades estructurales.

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.....	44
Tabla N° 2.2 Tipos de morteros según fin estructural	47
Tabla N° 2.3 Tipos de morteros según especificación por propiedades	47
Tabla N° 2.4 Composición del mortero polimérico Massa Dun Dun	71
Tabla N° 3.1 Granulometría para la arena gruesa.....	91
Tabla N° 3.2 Especificación de mortero según proporciones	98
Tabla N° 3.3 Especificación de mortero según propiedades	99
Tabla N° 3.4 Resistencias características de la albañilería	104
Tabla N° 3.5 Factores de corrección de f'_m por esbeltez	106
Tabla N° 3.6 Incremento de f'_m y v'_m por edad	107
Tabla N° 4.1 Dimensiones del ladrillo Clase A	115
Tabla N° 4.2 Variación Dimensional (VD) en ladrillos Clase A	115
Tabla N° 4.3 Dimensiones del ladrillo Clase B	116
Tabla N° 4.4 Variación Dimensional (VD) en ladrillos Clase B	116
Tabla N° 4.5 Dimensiones del ladrillo Clase C.....	117
Tabla N° 4.6 Variación Dimensional (VD) en ladrillos Clase C.....	117
Tabla N° 4.7 Alabeo en ladrillos Clase A	118
Tabla N° 4.8 Alabeo en ladrillos Clase B	118
Tabla N° 4.9 Alabeo en ladrillos Clase C	119
Tabla N° 4.10 Absorción en ladrillos Clase A.....	119
Tabla N° 4.11 Absorción en ladrillos Clase B.....	120
Tabla N° 4.12 Absorción en ladrillos Clase C.....	120
Tabla N° 4.13 Dimensiones de los ladrillos de Clase A.....	121
Tabla N° 4.14 Resistencia a la Compresión en ladrillo Clase A	121
Tabla N° 4.15 Dimensiones de los ladrillos de Clase B.....	121
Tabla N° 4.16 Resistencia a la Compresión en ladrillo Clase B	122

Tabla N° 4.17 Dimensiones de los ladrillos de Clase C	122
Tabla N° 4.18 Resistencia a la Compresión en ladrillo Clase B	123
Tabla N° 4.19 Porcentaje de Vacíos en ladrillos de Clase A	123
Tabla N° 4.20 Porcentaje de Vacíos en ladrillos de Clase B	124
Tabla N° 4.21 Porcentaje de Vacíos en ladrillos de Clase B	125
Tabla N° 4.22 Clasificación para Fines Estructurales.....	125
Tabla N° 4.23 Clasificación para Fines Estructurales.....	126
Tabla N° 4.24 Resultados iniciales para el ensayo de granulometría.....	130
Tabla N° 4.25 Resultados finales para el ensayo de granulometría	131
Tabla N° 4.26 Peso unitario suelto del agregado	133
Tabla N° 4.27 Peso unitario compactado del agregado	133
Tabla N° 4.28 Contenido de humedad del agregado	133
Tabla N° 4.29 Pesos específicos del agregado.....	134
Tabla N° 4.30 Resultados de la fluidez para mortero convencional C:A 1:4.....	139
Tabla N° 4.31 Resultados de la fluidez para mortero convencional C:A 1:5.....	140
Tabla N° 4.32 Resultados de la fluidez para mortero embolsado.....	140
Tabla N° 4.33 Peso unitario para morteros cementicios	141
Tabla N° 4.34 Resistencia a la compresión del mortero convencional C:A 1:4	141
Tabla N° 4.35 Resistencia a la compresión del mortero convencional C:A 1:5	142
Tabla N° 4.36 Resistencia a la compresión del mortero embolsado	142
Tabla N° 5.1 Nomenclatura empleada para las pilas de albañilería	150
Tabla N° 5.2 Dimensiones de las pilas de albañilería de ladrillo Clase A	151
Tabla N° 5.3 Esfuerzo máximo en pilas de albañilería de ladrillo Clase A.....	151
Tabla N° 5.4 Resistencia a la compresión, promedio y característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase A	152
Tabla N° 5.5 Comparación de Resistencia a la compresión característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase A	154
Tabla N° 5.6 Dimensiones de las pilas de albañilería de ladrillo Clase B	155

Tabla N° 5.7 Esfuerzo máximo en pilas de albañilería de ladrillo Clase B.....	155
Tabla N° 5.8 Resistencia a la compresión, promedio y característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase B	156
Tabla N° 5.9 Comparación de Resistencia a la compresión característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase B	158
Tabla N° 5.10 Dimensiones de las pilas de albañilería de ladrillo Clase C.....	159
Tabla N° 5.11 Esfuerzo máximo en pilas de albañilería de ladrillo Clase C	159
Tabla N° 5.12 Resistencia a la compresión, promedio y característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase C	160
Tabla N° 5.13 Comparación de Resistencia a la compresión característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase C.....	162
Tabla N° 5.14 Nomenclatura empleada para los muretes de albañilería.....	171
Tabla N° 5.15 Dimensiones de los muretes de albañilería de ladrillo Clase A..	172
Tabla N° 5.16 Esfuerzo máximo en muretes de albañilería de ladrillo Clase A	172
Tabla N° 5.17 Resistencia a la compresión, promedio y característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase A	173
Tabla N° 5.18 Cargas y deformaciones verticales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase A.....	175
Tabla N° 5.19 Cargas y deformaciones horizontales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase A.....	175
Tabla N° 5.20 Módulo de corte en muretes de ladrillos Clase A.....	176
Tabla N° 5.21 Comparación de los esfuerzos cortantes característicos de muretes de albañilería de ladrillo Clase A	177
Tabla N° 5.22 Dimensiones de los muretes de albañilería de ladrillo Clase B..	178
Tabla N° 5.23 Esfuerzo máximo en muretes de albañilería de ladrillo Clase B	178
Tabla N° 5.24 Resistencia a la compresión, promedio y característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase B	179

Tabla N° 5.25 Cargas y deformaciones verticales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase B.....	181
Tabla N° 5.26 Cargas y deformaciones horizontales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase B.....	181
Tabla N° 5.27 Módulo de corte en muretes de ladrillos Clase B.....	182
Tabla N° 5.28 Comparación de los esfuerzos cortantes característicos de muretes de albañilería de ladrillo Clase B	183
Tabla N° 5.29 Dimensiones de los muretes de albañilería de ladrillo Clase C .	184
Tabla N° 5.30 Esfuerzo máximo en muretes de albañilería de ladrillo Clase C	184
Tabla N° 5.31 Resistencia a la compresión diagonal, promedio y característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase C	185
Tabla N° 5.32 Cargas y deformaciones verticales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase C.....	187
Tabla N° 5.33 Cargas y deformaciones horizontales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase C.....	187
Tabla N° 5.34 Módulo de corte en muretes de ladrillos Clase C	188
Tabla N° 5.35 Comparación de los esfuerzos cortantes característicos de muretes de albañilería de ladrillo Clase C	189
Tabla N° 5.36 Nomenclatura empleada para las pilas de albañilería	195
Tabla N° 5.37 Resistencia de adherencia en pilas de ladrillo Clase A.....	195
Tabla N° 5.38 Comparación de la resistencia de adherencia por tracción en pilas de albañilería de ladrillo Clase A	196
Tabla N° 5.39 Resistencia de adherencia en pilas de ladrillo Clase B.....	197
Tabla N° 5.40 Comparación de la resistencia de adherencia por tracción en pilas de albañilería de ladrillo Clase B	198
Tabla N° 5.41 Resistencia de adherencia en pilas de ladrillo Clase C	198
Tabla N° 5.42 Comparación de la resistencia de adherencia por tracción en pilas de albañilería de ladrillo Clase C.....	199

Tabla N° 6.1 Cálculo de la velocidad de producción en muros de ladrillos Clase A	208
Tabla N° 6.2 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase A y fuentes oficiales en el ámbito peruano	209
Tabla N° 6.3 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase A e investigaciones varias en el ámbito peruano	209
Tabla N° 6.4 Rendimiento y productividad en muros de ladrillos Clase A	209
Tabla N° 6.5 Cálculo de la velocidad de producción en muros de ladrillos Clase B	210
Tabla N° 6.6 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase B y fuentes oficiales en el ámbito peruano	211
Tabla N° 6.7 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase B e investigaciones varias en el ámbito peruano	211
Tabla N° 6.8 Rendimiento y productividad en muros de ladrillos Clase B	211
Tabla N° 6.9 Cálculo de la velocidad de producción en muros de ladrillos Clase C	212
Tabla N° 6.10 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase C con los de fuentes oficiales e investigaciones en el ámbito peruano ..	213
Tabla N° 6.11 Rendimiento y productividad en muros de ladrillos Clase C	213
Tabla N° 6.12 Actividades consideradas como productivas - TP	215
Tabla N° 6.13 Actividades consideradas como contributorias - TC	215
Tabla N° 6.14 Actividades consideradas como no contributorias - TNC.....	215
Tabla N° 6.15 Consideraciones de trabajo para la Carta de balance N° 01	215
Tabla N° 6.16 Carta de balance para murete con mortero de cemento.....	216
Tabla N° 6.17 Distribución del tiempo según la carta de balance N° 01	217
Tabla N° 6.18 Actividades de tiempo productivo presentes en la CB N° 01	218
Tabla N° 6.19 Actividades de tiempo contributorio presentes en la CB N° 01 ..	218
Tabla N° 6.20 Actividades de tiempo no contributorio presentes en la CB N° 01	219
Tabla N° 6.21 Consideraciones de trabajo para la Carta de balance N° 02	220

Tabla N° 6.22 Carta de balance para murete con mortero polimérico	220
Tabla N° 6.23 Distribución del tiempo según la carta de balance N° 02.....	221
Tabla N° 6.24 Actividades de tiempo productivo presentes en la CB N° 02	221
Tabla N° 6.25 Actividades de tiempo contributorio presentes en la CB N° 02..	222
Tabla N° 6.26 Actividades de tiempo no contributorio presentes en la CB N° 02.....	222
Tabla N° 6.27 Costos unitarios de muro de ladrillo KK 18H y mortero C:A.1:4.	224
Tabla N° 6.28 Costos unitarios de muro de ladrillo KK 18H y mortero C:A 1:5.	225
Tabla N° 6.29 Costos unitarios de muro de ladrillo KK 18H y mortero embolsado	225
Tabla N° 6.30 Costos unitarios de muro de ladrillo KK 18H y mortero polimérico.....	226
Tabla N° 6.31 Costos unitarios de muro de ladrillo pandereta y mortero C:A 1:4.....	227
Tabla N° 6.32 Costos unitarios de muro de ladrillo pandereta y mortero C:A 1:5.....	227
Tabla N° 6.33 Costos unitarios de muro de ladrillo pandereta y mortero embolsado	228
Tabla N° 6.34 Costos unitarios de muro de ladrillo pandereta y mortero polimérico.....	228
Tabla N° 6.35 Costos unitarios de muro de ladrillo de concreto y mortero C:A 1:4.....	229
Tabla N° 6.36 Costos unitarios de muro de ladrillo de concreto y mortero C:A 1:5.....	230
Tabla N° 6.37 Costos unitarios de muro de ladrillo de concreto y mortero embolsado	230
Tabla N° 6.38 Costos unitarios de muro de ladrillo de concreto y mortero polimérico.....	231

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Muro de albañilería	32
Figura N° 2.2 Muros de albañilería en Jericó (izquierda); Edificación con muros de albañilería en Catal Hüyük (derecha).....	33
Figura N° 2.3 Muros romanos. a) Opus reticulatum. b) Opus incertum. c) Opus testaceum.	34
Figura N° 2.4 Primeros ensayos en la albañilería: Ensayo de albañilería reforzada en la India (izquierda); Ensayo de muro a carga axial en Estados Unidos (derecha).	36
Figura N° 2.5 Clasificación de la albañilería.....	37
Figura N° 2.6 Muro armado: Colocación de refuerzos verticales y horizontales	39
Figura N° 2.7 Muro confinado: Muro de albañilería con elementos de confinamiento horizontales y verticales	40
Figura N° 2.8 Muro laminar: Sección transversal	40
Figura N° 2.9 Clasificación por sus vacíos: a) Unidad maciza. b) Unidad hueca. c) Unidad perforada. d) Unidad tubular	42
Figura N° 2.10 Clasificación por su materia prima: a) Unidad de arcilla. b) Unidad sílico-calcárea. c) Unidad de concreto.....	43
Figura N° 2.11 Hidratación del cemento: a) Partículas sin hidratar. b) Partículas a pocos minutos de la hidratación. c) Hidratación a los 3 días. d) Hidratación a los 7 días. e) Hidratación a los 28 días.	46
Figura N° 2.12 Fases en la composición de morteros con polímeros.....	50
Figura N° 2.13 Modos de falla de muretes de albañilería en estado de carga biaxial.....	54
Figura N° 2.14 Gráfico compresión vs deformación unitaria para un prisma de albañilería y sus componentes	56
Figura N° 2.15 Esfuerzos en un prisma, ladrillo y mortero por acción de una carga axial de compresión	57
Figura N° 2.16 Gráfico normalizado esfuerzo vs deformación unitaria en el ensayo de compresión de prismas de albañilería	58

Figura N° 2.17 a) Esquema de ensayo de corteo compresión diagonal; b) Esquema de deformación del murete	60
Figura N° 2.18 Modos de falla en el ensayo de compresión diagonal	61
Figura N° 2.19 Especímenes del ensayo de compresión diametral; a) Compresión a 0° con la hilada: tracción perpendicular a la hilada; b) Compresión a 45° con la hilada: tracción a 45° con la hilada; c) Compresión a 90° con la hilada: tracción paralela a la hilada	62
Figura N° 2.20 a) Falla paralela a las juntas de mortero; b) Falla perpendicular a las juntas del mortero	63
Figura N° 2.21 a) Envase de presentación húmeda del mortero polimérico Pegablock; b) Envase de presentación seca del mortero polimérico Pegablock; c) Aplicación de mortero polimérico Pegablock	71
Figura N° 2.22 a) Envases de presentación de mortero polimérico Massa Dun Dun; b) Aplicación de mortero polimérico Massa Dun Dun	73
Figura N° 3.1 Medición del alabeo en unidades de albañilería: a) Medición de la concavidad; b) Medición de la convexidad	82
Figura N° 4.1 Tamizado del agregado con las Mallas N° 4 y N° 8	131
Figura N° 5.1 Colocación de mortero de cemento y asentado de ladrillos	146
Figura N° 5.2 Pilas de albañilería de diferentes combinaciones de mortero de cemento y ladrillos (izquierda); Refrendado de pilas de albañilería (derecha)	146
Figura N° 5.3 Construcción de pilas de albañilería (ladrillos Konkreto) mediante la aplicación de mortero polimérico	148
Figura N° 5.4 Protección de pilas empleando polietileno (izquierda); Refrendado de pilas de albañilería de mortero polimérico (derecha)	149
Figura N° 5.5 Ensayo de compresión axial en pilas de albañilería de ladrillos (King Kong 18 huecos, Pandereta Acanalada y Konkreto) y morteros de cemento (Convencional C:A 1:4, Convencional C:A 1:5 y Embolsado)	149

Figura N° 5.6 Ensayo de compresión axial en pilas de albañilería de ladrillos (King Kong 18 huecos, Pandereta Acanalada y Koncreto) y mortero polimérico.....	150
Figura N° 5.7 Vista lateral de fallas en las pilas (Ladrillo: Clase A – Mortero: Convencional C:A 1:4)	153
Figura N° 5.8 Vista lateral de fallas en las pilas (Ladrillo: Clase A – Mortero: Convencional C:A 1:5)	153
Figura N° 5.9 Vista lateral de fallas en las pilas (Ladrillo: Clase A – Mortero: Embolsado).....	153
Figura N° 5.10 Vista lateral de fallas en las pilas (Ladrillo: Clase A – Mortero: Polimérico)	153
Figura N° 5.11 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase B – Mortero: Convencional C:A 1:4)	157
Figura N° 5.12 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase B – Mortero: Convencional C:A 1:5)	157
Figura N° 5.13 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase B – Mortero: Embolsado).....	157
Figura N° 5.14 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase B – Mortero: Polimérico)	157
Figura N° 5.15 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase C – Mortero: Convencional C:A 1:4)	161
Figura N° 5.16 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase C – Mortero: Convencional C:A 1:5)	161
Figura N° 5.17 Vista lateral de las fallas en las pilas (Ladrillo: Clase C – Mortero: Embolsado).....	161
Figura N° 5.18 Vista lateral de las fallas en las pilas (Ladrillo: Clase C – Mortero: Polimérico).....	161
Figura N° 5.19 Asentado de la primera hilada y nivelamiento (izquierda); Colocación de mortero de cemento y asentado de ladrillos (derecha).....	166
Figura N° 5.20 Murete de albañilería concluido (izquierda); Protección de muretes utilizando polietileno (derecha)	166

Figura N° 5.21 Construcción de muretes de ladrillos King Kong 18 huecos y mortero polimérico.....	169
Figura N° 5.22 Construcción de muretes de ladrillos Pandereta Acanalada y mortero polimérico.....	169
Figura N° 5.23 Construcción de muretes de ladrillos Koncreto y mortero polimérico.....	169
Figura N° 5.24 Muretes construidos con ladrillos Koncreto y mortero polimérico.....	169
Figura N° 5.25 Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería de ladrillos (King Kong 18 huecos, Pandereta Acanalada y Koncreto) y morteros de cemento (Convencional C:A 1:4, Convencional C:A 1:5 y Embolsado)	170
Figura N° 5.26 Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería de ladrillos (King Kong 18 huecos, Pandereta Acanalada y Koncreto) y mortero polimérico.....	170
Figura N° 5.27 Fallas en muretes de ladrillo Clase A y mortero convencional C:A 1:4.....	174
Figura N° 5.28 Fallas en muretes de ladrillo Clase A y mortero convencional C:A 1:5.....	174
Figura N° 5.29 Fallas en muretes de ladrillo Clase A y mortero embolsado.....	174
Figura N° 5.30 Fallas en muretes de ladrillo Clase A y mortero polimérico.....	174
Figura N° 5.31 Fallas en muretes de ladrillo Clase B y mortero convencional C:A 1:4.....	180
Figura N° 5.32 Fallas en muretes de ladrillo Clase B y mortero convencional C:A 1:5.....	180
Figura N° 5.33 Fallas en muretes de ladrillo Clase B y mortero embolsado.....	180
Figura N° 5.34 Fallas en muretes de ladrillo Clase B y mortero polimérico.....	180
Figura N° 5.35 Fallas en muretes de ladrillo Clase C y mortero convencional C:A 1:4.....	186
Figura N° 5.36 Fallas en muretes de ladrillo Clase C y mortero convencional C:A 1:5.....	186

Figura N° 5.37 Fallas en muretes de ladrillo Clase C y mortero embolsado.....	186
Figura N° 5.38 Fallas en muretes de ladrillo Clase C y mortero polimérico.....	186
Figura N° 5.39 Construcción y aplomado de pilas de dos de ladrillos	191
Figura N° 5.40 Aplicación de mortero polimérico en pilas de concreto (izquierda); Pilas de dos ladrillos Clase A con mortero polimérico (derecha).....	193
Figura N° 5.41 Ensayo de adherencia en pilas de albañilería de ladrillos King Kong 18 huecos y mortero polimérico (derecha); Falla en la adherencia del mortero polimérico, el ladrillo no se despega de la capa de mortero (derecha)	193
Figura N° 5.42 Ensayo de adherencia en pilas de albañilería de ladrillos Pandereta Acanalada y mortero de cemento (derecha); Falla en la adherencia del mortero de cemento, el ladrillo se despega totalmente de la capa de mortero (derecha)	194
Figura N° 5.43 Ensayo de adherencia en pilas de albañilería de ladrillos Koncreto y mortero de cemento (derecha); Falla en la adherencia del mortero de cemento, el ladrillo se despega totalmente de la capa de mortero (derecha)	194

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 4.1 Curva granulométrica inicial para el agregado	130
Gráfico N° 4.2 Curva granulométrica final para el agregado	132
Gráfico N° 4.3 Comparación de Resistencias a la Compresión en morteros....	143
Gráfico N° 5.1 Comparación de la resistencia a la compresión axial característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase A	152
Gráfico N° 5.2 Comparación de la resistencia a la compresión axial característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase B	156
Gráfico N° 5.3 Comparación de la resistencia a la compresión axial característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase C	160
Gráfico N° 5.4 Comparación de la resistencia a la compresión diagonal característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase A.....	173
Gráfico N° 5.5 Esfuerzo cortante vs Deformación angular en muretes de albañilería de ladrillo Clase A	176
Gráfico N° 5.6 Comparación de la resistencia a la compresión diagonal característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase B.....	179
Gráfico N° 5.7 Esfuerzo cortante vs Deformación angular en muretes de albañilería de ladrillo Clase B	182
Gráfico N° 5.8 Comparación de la resistencia a la compresión diagonal característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase C	185
Gráfico N° 5.9 Esfuerzo cortante vs Deformación angular en muretes de albañilería de ladrillo Clase C	188
Gráfico N° 5.10 Esfuerzos vs Deformaciones en pilas de ladrillo Clase A.....	196
Gráfico N° 5.11 Esfuerzos vs Deformaciones en pilas de ladrillo Clase B.....	197
Gráfico N° 5.12 Esfuerzos vs Deformaciones en pilas de ladrillo Clase C	199
Gráfico N° 6.1 Variación de la velocidad de producción respecto a la longitud de muro	206
Gráfico N° 6.2 Variación de la velocidad de producción respecto a la altura de muro.....	207

Gráfico N° 6.3 Variación de la velocidad de producción empleando distintos morteros y ladrillos Clase A – King Kong 18 huecos	208
Gráfico N° 6.4 Variación de la velocidad de producción empleando distintos morteros y ladrillos Clase B – Pandereta Acanalada	210
Gráfico N° 6.5 Variación de la velocidad de producción empleando distintos morteros y ladrillos Clase C – Koncreto.....	212
Gráfico N° 6.6 Distribución del tiempo según la carta de balance N° 01	217
Gráfico N° 6.7 Actividades de tiempo productivo presentadas en la CB N° 01.	218
Gráfico N° 6.8 Actividades de tiempo contributorio presentadas en la CB N° 01	219
Gráfico N° 6.9 Actividades de tiempo no contributorio presentadas en la CB N° 01	219
Gráfico N° 6.10 Distribución del tiempo según la carta de balance N° 02	221
Gráfico N° 6.11 Cantidad de mediciones de actividades productivas, contributorias y no contributorias presentadas en la carta de balance N° 02.....	222
Gráfico N° 6.12 Comparación de la distribución de tiempo en la elaboración de muros con morteros de cemento y mortero polimérico respecto a otras investigaciones peruanas.....	223
Gráfico N° 6.13 Costos por m ² incurridos en la construcción de muros de ladrillo KK 18H empleando varios tipos de mortero.	226
Gráfico N° 6.14 Costos por m ² incurridos en la construcción de muros de ladrillos pandereta empleando varios tipos de mortero.....	229
Gráfico N° 6.15 Costos por m ² incurridos en la construcción de muros ladrillos de concreto empleando varios tipos de mortero.	231
Gráfico N° 6.16 Comparación de los costos por m ² incurridos por la mano de obra en las distintas combinaciones de ladrillo y mortero analizadas en la investigación.	232
Gráfico N° 6.17 Comparación de los costos por m ² incurridos por los materiales en las distintas combinaciones de ladrillo y mortero analizadas en la investigación.....	233

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

%	Porcentaje.
°C	Grados centígrados.
+/-	Más o menos.

SIGLAS

ACI	American Concrete Institute
Ae	Ancho especificado por el fabricante
Ap	Ancho promedio
ASTM	American Society for Testing and Materials.
C:A	Relación cemento:agregado
Clase A	Ladrillo King Kong 18H
Clase B	Ladrillo Pandereta Acanalada
Clase C	Ladrillo "Koncreto" de concreto
cm	Centímetro
CV	Coefficiente de variación
DE	Desviación estándar
f'_b	Resistencia a compresión en unidades de albañilería
f'_{bc}	Resistencia a compresión en unidades de albañilería característica
f'_{bp}	Resistencia a compresión en unidades de albañilería promedio
f'_m	Resistencia a compresión en pilas de albañilería
f'_{mc}	Resistencia a compresión en pilas de albañilería característica
f'_{mp}	Resistencia a compresión en pilas de albañilería promedio
gr	Gramos
H_e	Altura especificada por el fabricante
H_p	Altura promedio

kg/cm ²	Kilogramos por centímetro cuadrado
kg/m ²	Kilogramos por metro cuadrado
kg	Kilogramo
KN	Kilonewton
L _e	Largo especificado por el fabricante
L _p	Largo promedio
M	Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería
MDD	Mortero polimérico Massa Dun Dun
MF	Módulo de finura
mm	Milímetros
MPa	Megapascales
NTP.	Norma Técnica Peruana
NTE E.070	Norma Técnica Peruana de Edificaciones, Albañilería
P	Ensayo de compresión axial en pilas de albañilería
P.U.C.	Peso Unitario Compactado
P.U.S.	Peso Unitario Suelto
P1	Muro portante tipo 1
P2	Muro portante tipo 2
RILEM	Reunión internacional de laboratorio de ensayo de materiales
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones
SSS	Peso específico de masa saturado superficialmente seco
t	Toneladas
V' _m	Resistencia a compresión diagonal en muretes de albañilería
V' _{mc}	Resistencia a compresión diagonal en muretes de albañilería característica
V' _{mp}	Resistencia a compresión diagonal en muretes de albañilería promedio
VD	Variación dimensional

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Durante las últimas décadas, la industria de la construcción se ha desarrollado a pasos agigantados a lo largo del mundo. Uno de los aciertos de este desarrollo ha sido la incorporación de materiales que revolucionan los procesos tradicionales en la construcción y dejan paso a nuevas formas de construir; siendo uno de los casos más destacables, el uso de los polímeros sintéticos.

El uso de este material ha generado que, en algunos países de Europa y América, se desarrollen algunas investigaciones para profundizar sus aplicaciones y comportamiento en la construcción. España es uno de los países con mayor investigación en este campo, un ejemplo de ello es el caso de la ingeniera española Jessica Bataller, de la Universidad Politécnica de Valencia, quien hace uso de cuatro tipos distintos de polímeros, así como de distintos tamaños de árido de sílice para lograr encontrar un diseño adecuado para obtener concreto translúcido. Un caso más profundo es el estudiado por la, también española, arquitecta Dra. Carmen Galán, de la Universidad de Sevilla, quién describe las características de un nuevo material denominado polialbero, el cual es un mortero polimérico con resinas de poliéster insaturado y áridos de albero, y cuya principal característica es su uso en la arquitectura como material de revestimiento (solerías, aplacados), algunos elementos prefabricados arquitectónicos y para la fabricación de elementos constructivos de poco espesor.

En Portugal, la Ph. D. María Cristina dos Santos, profundizó aún más en el diseño de los morteros poliméricos, pues utilizó el método de Taguchi y el análisis de varianza para optimizar el porcentaje de los materiales aplicándolos básicamente a la propiedad de la resistencia a la flexión, dado que a diferencia de los morteros convencionales donde existe una correlación entre la resistencia a la compresión y a la flexión, en los morteros poliméricos tal relación no está presente del todo. Su aplicación se enfocó en los diseños de vigas estructurales compuestas y concreto estructural ligero.

Al no encontrar una norma española, portuguesa o europea específica, las investigadoras utilizaron variaciones de las normas UNI (Italia) y publicaciones del

Comité Técnico de RILEM para los ensayos y procedimientos, considerando que el uso sería para fines arquitectónicos. Las pruebas realizadas determinaron las propiedades mecánicas (resistencia a compresión, flexión y desgaste por abrasión), propiedades físicas (densidad real y aparente y comportamiento frente al agua), propiedades químicas (resistencia a manchas y ataques químicos), reacción al fuego, ensayos no destructivos ultrasónicos y envejecimiento; destacando su resistencia a la compresión, una buena resistencia al desgaste por abrasión y un buen comportamiento hídrico.

Así como en Europa, alrededor del mundo también se estudió a detalle el comportamiento de los materiales de construcción con la intervención de la tecnología de los polímeros. En la India, por ejemplo, los ingenieros Raman Bedi, Rakesh Chandra y S. P. Singh, publicaron su investigación sobre la variación en las propiedades mecánicas del concreto y mortero polimérico ante la variación del porcentaje de los componentes y la adición de algunos nuevos, explicando brevemente los efectos que ello traía consigo. El resultado de dicha investigación fue una tabla con los componentes analizados, las variaciones y/o adiciones, la propiedad mecánica estudiada y el resultado ante los ensayos; esta herramienta puede servir de ayuda para encontrar algunas posibles causas de la variación de las propiedades.

En América, también se hicieron estudios, los cuáles se abarcaron desde una óptica distinta, pues no solamente se enfocaron en el mortero polimérico en sí, sino que lo analizaron como parte de un material estructural, el muro de albañilería, viendo así la interacción y las propiedades que el mortero presentaba como adherente de unidades de albañilería. De esta forma, en Brasil se desarrolla una fórmula de mortero polimérico con áridos propios del país; la cual, actualmente, tiene uso en muros no portantes dado que aún no ha sido certificada para ser utilizada en muros que resisten cargas estructurales, como lo indican en sus publicaciones. Aun cuando en este país el mortero polimérico tiene mayor tiempo y creciente acogida en el mercado, no existen pruebas o normas específicas que permitan tener un mayor control de este nuevo material, y así lo hace saber la ingeniera Elza Nakakura, quién hace una crítica a la norma brasileña que rige la albañilería, indicando que no está actualizada y que muestra una clasificación de los morteros no acorde a la actualidad. Ella enfoca su trabajo en los morteros con aditivos y los industriales que también son una opción en los

mercados y propone una nueva clasificación en base a la caracterización de las propiedades de los mismos.

Al igual que la colega brasilera, en Guatemala, Marco Bóleres de la Universidad de Istmo, profundiza en el mercado y distribución del mortero industrial en su país y llega a la conclusión de que el público aún no confía en los nuevos productos y avances tecnológicos obtenidos durante las últimas décadas, como si ocurre en Europa, y es por ello que prefieren utilizar el mortero tradicional a uno prefabricado o un mortero industrializado. Indica además que la falta de marketing y la influencia de los costos pueden contribuir a que un producto innovador, con iguales o mejores características, no pueda surgir comercialmente.

Otra comparación la realiza el ingeniero constructor Juan Pablo de la Sotta de la Universidad Austral de Chile, quien caracteriza y compara el uso de dos morteros en muros de albañilería, pero en este caso son el mortero tradicional y el mortero premezclado. Dentro de las características comparadas se encuentran la resistencia mecánica, consistencia, retentividad, adherencia, contenido de aire, durabilidad, contracción y finaliza con una comparación económica. Dentro de sus resultados muestra que la trabajabilidad y las propiedades mecánicas cumplen lo establecido en las normas chilenas y brindan mejores resultados que el mortero tradicional, así como el resultado económico que disminuye gastos de logística considerablemente aun cuando el mortero prefabricado presenta costos directos mayores.

En el Perú, el investigador Ángel San Bartolomé junto a César Romero y Juan Torres, en su afán de mejorar la adherencia del mortero tradicional con el bloque de albañilería, logran caracterizar dos morteros que emplean aditivos (uno líquido y otro en polvo) para tal fin. Como resultado obtuvo que el mortero con aditivo en polvo logra obtener una mayor resistencia a tracción diagonal lo que prueba que se mejora la adherencia entre el mortero y el bloque, pero no sucede lo mismo con la resistencia a la compresión, la cual disminuye considerablemente; respecto a lo económico, se presenta como alternativa viable.

Por último, Xavier Vargas, ingeniero civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, también elabora una gran caracterización de las propiedades mecánicas del uso de los morteros en la albañilería, con la diferencia que compara el mortero tradicional y el mortero polimérico brasilero anteriormente mencionado. Al igual

que en los distintos países, la reglamentación no está dada para este material, caso contrario a lo que ocurre con el mortero industrial, que se puede considerar dentro de las normas de albañilería de cada país por su composición; ante lo cual, Vargas utilizó los parámetros de la norma E-070 para poder realizar la comparación. Tras los ensayos, observó que la resistencia a compresión en pilas y a la compresión diagonal en muretes son bajas cuando se utiliza los morteros poliméricos brasileros pero que los ensayos de tracción por flexión resultan considerablemente superiores a la de su similar tradicional.

El campo de la investigación de morteros aún está en crecimiento, dado que las dosificaciones y otros factores externos pueden variar considerablemente las propiedades de los morteros, de las unidades de albañilería y del compuesto estructural de ambos, permitiendo cada vez que la caracterización de los distintos morteros del mercado, así como el estudio de las características estructurales que presenta, sean necesarias para su adecuado uso en la sociedad.

1.2 PROBLEMÁTICA

Los antecedentes anteriormente presentados, son el sustento de que el estudio de la interacción de las unidades de albañilería y los distintos tipos de morteros están en constante desarrollo y continua mejora, esto debido a que los muros de albañilería representan uno de los componentes primordiales de una edificación, sean estos portantes o no, tanto desde una perspectiva económica y de productividad durante la construcción, como de seguridad durante su vida útil. Son justamente estas características, las que hacen que los muros de albañilería deban estudiarse y describirse detalladamente, más aún en un país como el Perú, donde casi la totalidad de viviendas en las que se emplea muros de albañilería fueron autoconstruidas, y estas a su vez representan un total de 67% del número total de viviendas, tal como lo afirma CAPECO en un estudio presentado a fines del 2016, asignando en muchos casos gran cantidad de recursos para la construcción de dichos elementos y desconociendo el comportamiento estructural de los mismos ante la presencia de fenómenos naturales o eventos sísmicos, lo cual a la postre, representará mayor inversión aún.

Es por esta razón, que la caracterización y comparación de distintas alternativas de construcción de muros de albañilería, mediante el uso de diferentes morteros

(polimérico, embolsado y tradicional) nos podrán brindar la información adecuada para elegir cuál de las opciones resulta óptima desde el campo de la seguridad, economía y productividad.

1.3 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Principal

Realizar la caracterización de las propiedades físicas, mecánicas, económicas y constructivas de los muros de albañilería elaborados con morteros de cemento portland, como son el tradicional y el embolsado, y materiales innovadores como el mortero polimérico peruano, al interactuar con tres distintas unidades de albañilería (ladrillo King Kong 18 huecos, ladrillo pandereta acanalada y ladrillo de concreto), para determinar la alternativa más segura y con mayores beneficios para los constructores peruanos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener los resultados de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de los muros de albañilería y sus componentes utilizando las distintas combinaciones de morteros y unidades de albañilería, para su posterior comparación.
- Evaluar los rendimientos y los costos promedios que representaría la construcción de muros de albañilería con cada uno de los distintos morteros y unidades de albañilería planteados.

1.4 HIPÓTESIS

El uso de los polímeros en algunos materiales puede traer consigo que distintas propiedades y características se vean mejoradas o aminoradas considerablemente; así mismo, el empleo de estos materiales conlleva un costo más elevado, por lo que es necesario que su aplicación deba ser estudiada detalladamente.

Se plantea que al hacer uso del mortero polimérico peruano en muros de albañilería de ladrillos y bloques de concreto, se alcanzan diferencias

considerables respecto a las características y propiedades físicas y mecánicas de los muros de albañilería que emplean mortero de aglomerante cementicio, ya sea de forma tradicional o de forma industrial (mortero embolsado). Mientras que, por otro lado, se logra aminorar las pérdidas de material en la aplicación y las horas hombre de trabajo efectiva durante la construcción de estos elementos, generando así un margen positivo en la economía del constructor y el aumento de la productividad de la partida.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

En este apartado se desarrollan las definiciones necesarias para comprender la investigación, abarcando los conceptos sobre los muros de albañilería, las unidades de las que están constituidos éstos, así como los morteros utilizados en su asentado y las más importantes presentaciones encontradas en el mercado peruano, las cuales son el mortero embolsado y polimérico.

2.1 LA ALBAÑILERÍA

La albañilería, también denominada **mampostería**, es un material compuesto o heterogéneo que normalmente, está integrada por unidades naturales o artificiales asentadas con un material ligante, denominado mortero (Figura N°2.1). Además, posee propiedades anisotrópicas, es decir que varían según la dirección de análisis, como se puede comprobar con los ensayos y pruebas que se le realizan; como por ejemplo, se caracteriza por poseer alta resistencia a la compresión, por ser la unidad de albañilería el elemento predominante, pero también posee una baja resistencia a la tracción, ello porque dicha propiedad depende de la adherencia entre el mortero y la unidad (Gallegos y Casabonne, 2005).



Figura N° 2.1 Muro de albañilería

Dicho sistema pensado y creado por el hombre, nació con la intención de satisfacer su necesidad de vivienda, por lo que sus orígenes se remontan a tiempos prehistóricos y ha ido evolucionando hasta la actualidad; influenciado claramente por las tradiciones de cada zona geográfica más que por la ingeniería, por lo que aún no cuenta con el desarrollo esperado.

2.1.1 Breve repaso de la historia de la albañilería

Como se había mencionado, la albañilería surge en la prehistoria como respuesta a la necesidad de vivienda que poseían los humanos en aquel entonces, para ello emplearon el material más rústico y simple que encontraron en la naturaleza, la piedra. Inicialmente, las piedras eran asentadas una sobre otra para así formar los muros, pero ante la poca estabilidad que estos poseían tuvieron que emplear el barro como primer material ligante.

Posteriormente, ante la escasez de piedras en algunas zonas como Medio Oriente, el hombre crea la *primera unidad de albañilería artificial*, la cual era un macizo amorfo de barro moldeado a mano y secado al sol, siendo los descubrimientos en Jericó (7350 a.C.), el vestigio más antiguo encontrado con estas características. Asimismo, por las características presentadas en estas unidades destacan, también, las construcciones en Mesopotamia (7000 a.C.), la ciudad de Catal Hüyük (6600 a.C.) en Anatolia, actualmente Turquía (Figura N°2.2); mientras que, al otro lado del mundo, en el Perú, se construían muros en Huaca Prieta (5000 años a.C.) y emergían construcciones piramidales en Caral (3000 a.C.) a base de dicha clase de albañilería.

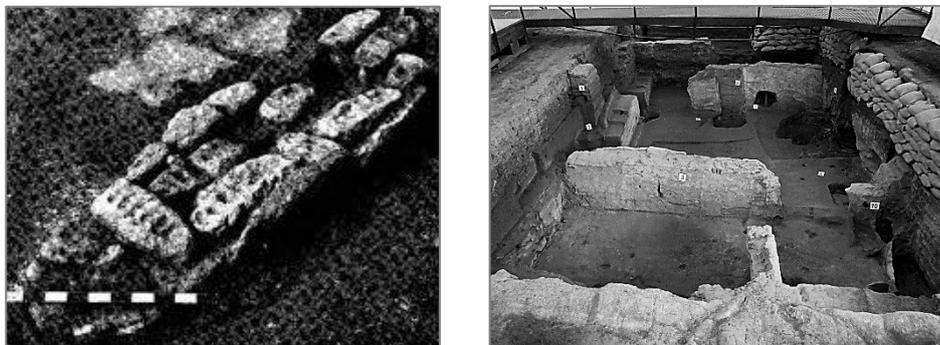


Figura N° 2.2 Muros de albañilería en Jericó (izquierda); Edificación con muros de albañilería en Catal Hüyük (derecha)

Durante los 4000 años a.C. ocurrió un descubrimiento importante en Sumeria, ciudad ubicada entre los ríos Éufrates y Tigris, pues se había desarrollado el molde, el cual era un marco rústico de madera que permitió la fabricación de los primeros adobes (masa de barro mezclada con paja, colocada en el molde y secada al sol) y que luego facilitaba significativamente la producción de los mismos permitiendo así el empleo masificado de la albañilería en las primeras civilizaciones.

Un milenio después, alrededor de 3000 años a.C., el ladrillo de arcilla tiene su origen al llevar a los hornos al adobe y es a partir de entonces que la albañilería se torna en el material más importante para realizar construcciones importantes. Destaca los zigurats en la ciudad de Ur y la famosa Torre de Babel, que fueron construidos con ladrillos asentados con alquitrán o mortero de betún. Asimismo, en Babilonia, ciudad ubicada en la misma zona que las antes mencionadas, el Rey Hammurabi (1700 a.C.) creaba el primer reglamento de construcción, donde establecía que, si el propietario de una vivienda fallecía por eventos causados por el constructor, éste también debía de perder la vida.

Mientras ello ocurría en Medio Oriente, otras civilizaciones también desarrollaban otras formas de albañilería. En Egipto (2700 a.C.) se empleaban bloques de rocas asentados con mortero de yeso para la construcción de las grandes pirámides; mientras que en Grecia se utilizaba el mármol para revestir su albañilería conformada por piedras asentadas con mortero de cal.

En Roma, se dieron avances respecto al material ligante, pues además de obtener el concreto, también fueron creadores del mortero de cemento puzolánico, ello tras mezclar cal con arena volcánica de Pozzuoli (de ahí se deriva el nombre de "puzolana"), tal como lo relató el arquitecto romano Vitruvio (25 a.C.). Destacan construcciones más complicadas que empleaban concreto y albañilería para generar muros (Figura N°2.3), cimientos, arcos, bóvedas y cúpulas siendo las más notables los baños de Caracalla, la basílica en el Foro Romano y el Panteón.

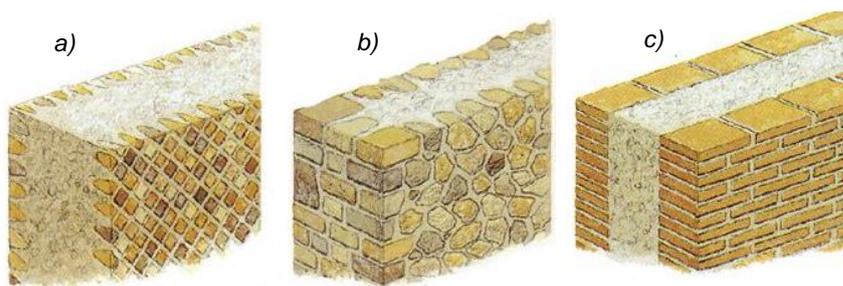


Figura N° 2.3 Muros romanos. a) Opus reticulatum. b) Opus incertum. c) Opus testaceum.

Tras la caída del Imperio Romano, los avances tecnológicos en la albañilería se detuvieron por algunos años en Europa; pero, en el resto del mundo se seguían elaborando edificaciones con ella, como es el caso de la Gran Muralla China, compuesta en gran parte de ladrillos de arcilla asentados con morteros de cal. De igual modo los árabes construyeron masivamente mezquitas y minaretes.

Tuvieron que pasar algunos siglos, para que en Europa se retome fuertemente el uso de albañilería, y ello es en buena parte influenciado por el denominado “Padre de la ingeniería civil”, el inglés Jhon Smeaton (1746), quién rescató los avances romanos con la puzolana para reconstruir un faro, recobrándose nuevamente el interés por la albañilería, la cual resultaría ser muy importante al sustituir a la madera en las ciudades medievales de Europa, pues retardaba la propagación de los grandes incendios ocurridos en aquellas épocas.

Simultáneamente, en Inglaterra, comenzaba la revolución industrial (siglo XVIII) lo que beneficiaría enormemente a la producción masiva de ladrillos, pues se crearon plantas y hornos de ladrillos, los cuales desperdiciaban demasiado combustible (carbón) ello porque el mismo era barato y fácil de obtener. Ante ello, se plantearon nuevas formas de alimentar el fuego de los hornos; para ello, en países como Dinamarca, se empezó a utilizar el gas de alumbrado como combustible, iniciando así el perfeccionamiento de los hornos. Pero esos no fueron todos los avances logrados en la revolución industrial, pues también se empezó a analizar las materias primas para el ladrillo, a medir las temperaturas de los hornos y a elaborar normas que evitasen el agrietamiento en las unidades.

Mientras ello ocurría en Europa, a América llegaban los primeros ladrillos tras las conquistas europeas. En Perú, se utilizaba la piedra como material de los muros y posteriormente, con la conquista española se traen las unidades de arcilla en los barcos que venían a llevarse el botín incaico. Dado que no existían plantas de ladrillos en el país, se comienzan a elaborar los adobes y se convierten en el material principal de las edificaciones, conjuntamente a la caña. Así hasta que en el año 1856 se construye la primera fábrica de ladrillos en Lima.

Nuevamente en Europa, durante finales del siglo XVIII y en el siglo XIX, se presentan avances e inventos importantes como el cemento, la cal hidráulica, la máquina de extrusión de ladrillos, el bloque de concreto, el concreto armado, el ladrillo sílico-calcáreo y la albañilería reforzada, planteada por el ingeniero inglés Isambard Brunel en 1825 para la construcción de un túnel bajo el Támesis. Durante los años siguientes este sistema fue utilizado y ensayado en varias partes del mundo con alentadores resultados.

Ya en el siglo XX, en Sicilia se crea la albañilería confinada, ello como una consecuencia del gran sismo de 1908 que destruyó la mayoría de las viviendas

de albañilería no reforzada. Este mismo sistema, llega al Perú tras el terremoto de 1940, a diferencia de la albañilería armada la cual llega en la década del 60, aun cuando esta última fue creada antes.

Finalmente, el análisis experimental y racional de la albañilería empieza en Estados Unidos (1913) y la India (1920) tras la gran cantidad de ensayos realizados en dichos países (Figura N°2.4). En el Perú, los primeros ensayos se realizaron en 1970 y ya en 1978 se obtienen las primeras normas para controlar a las características de las unidades de albañilería, las cuales sirvieron para la creación posterior de la norma de albañilería E.070, en el año 1982, producida por el Instituto Nacional de Investigación y normalización de la Vivienda (ININVI). Posteriormente con el apoyo de universidades y ladrilleras, se realizaron investigaciones que sirvieron para el desarrollo de las normas actuales.

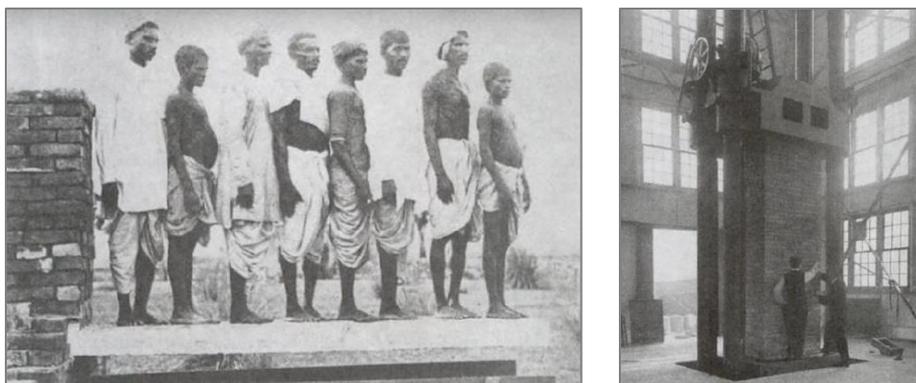


Figura N° 2.4 Primeros ensayos en la albañilería: Ensayo de albañilería reforzada en la India (izquierda); Ensayo de muro a carga axial en Estados Unidos (derecha).

Y es así en los últimos años, continúan las investigaciones en este campo tanto en el Perú como en el resto del planeta.

2.1.2 Clasificación de la albañilería

La albañilería se clasifica de dos formas (San Bartolomé, 1994):

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

En la Figura N°2.5 que se muestra a continuación, se observa un resumen de la clasificación de la albañilería.

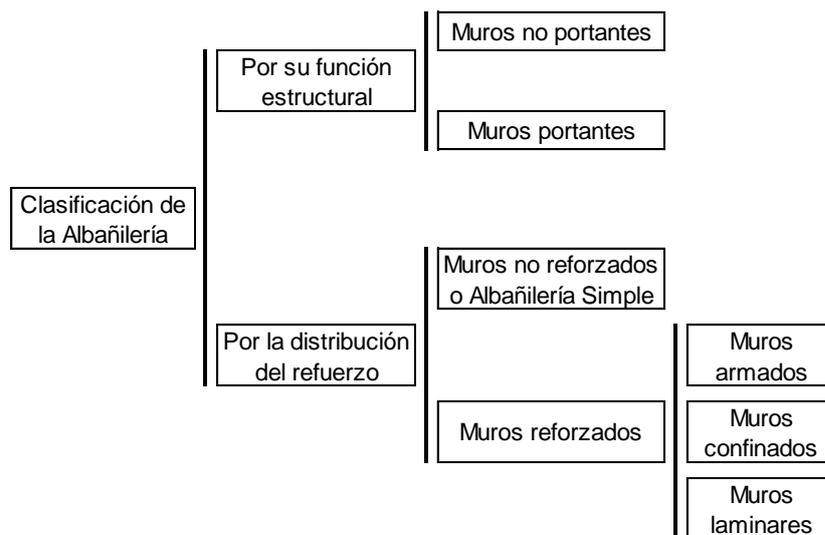


Figura N° 2.5 Clasificación de la albañilería

2.1.2.1 Por su función estructural

- **Muros no portantes**

Son aquellos que no reciben ninguna carga vertical, por lo que son diseñados y construidos ante cargas perpendiculares a su plano (sismo, viento o empuje) y cargas provenientes de su propio peso.

Entre los principales ejemplos se tienen a los **cercos**, que se emplean como muros de cierre en los límites de alguna propiedad; los **parapetos**, que son utilizados como cerramientos en azoteas o barandas; y por último los **tabiques**, que son muros divisorios en edificaciones que generalmente se construyen con ladrillos pandereta y mortero de baja calidad mermando en muchos casos su resistencia a las fuerzas sísmicas, asimismo no siempre se aíslan correctamente de los elementos estructurales principales por lo que se generan problemas en el sistema estructural al interactuar tabique y estructura.

- **Muros portantes**

Son los muros que se diseñan y construyen como elementos estructurales, de tal forma que pueden soportar cargas tanto verticales como horizontales, ya sean en su plano o perpendicular a él, y transmitirlos a elementos de pisos inferiores o a la cimentación. Estos muros son parte de la estructura de la edificación por lo que deben de poseer continuidad vertical.

2.1.2.2 Por la distribución del refuerzo

- **Muros no reforzados**

También son conocidos como “*albañilería simple*” y son aquellos que no poseen refuerzo (generalmente acero) o que en caso lo tengan, no satisfagan los requisitos mínimos para los muros reforzados establecidos en la NTE E.070 y que se mencionarán adelante.

Asimismo, dicha norma también menciona que el uso de este tipo de muros solamente debería darse en construcciones de no más de un piso, cosa que no ocurre en realidad y que el espesor efectivo, que es el espesor del muro descontando el tarrajeo, las bruñas y otras indentaciones, debe ser como mínimo de $h/20$, donde “h” es la altura libre entre elementos horizontales de arriostre o la altura efectiva de pandeo.

- **Muros reforzados**

Estos muros poseen refuerzo, el cual cumple con las especificaciones detalladas en la NTE E.070 y que pueden clasificarse en muros armados, confinados o laminares (San Bartolomé, 1994). Asimismo, a diferencia del caso anterior, estos muros pueden tener un espesor efectivo mayor a $h/25$, ello según la NTE E.070.

A continuación, se presentan las condiciones que deben de cumplir cada subtipo de esta clase de muros.

a) Muros armados: Son aquellos muros que poseen refuerzo dentro de la albañilería, generalmente son varillas de acero distribuidas vertical y horizontalmente, las cuales se integran mediante la aplicación de concreto líquido, ello con la intención de que el sistema actúe como una unidad (Figura N°2.6).

A continuación, se muestran algunas de las consideraciones que se mencionan en la NTE E.070:

- Recubrimiento de la armadura > 1.5 veces el diámetro de la barra.
- Espesor de la junta horizontal $>$ Diámetro de la barra + 6 mm.
- Refuerzos repartidos horizontalmente $> 2/3$ del refuerzo total.
- Cuantía mínima = 0.0015.

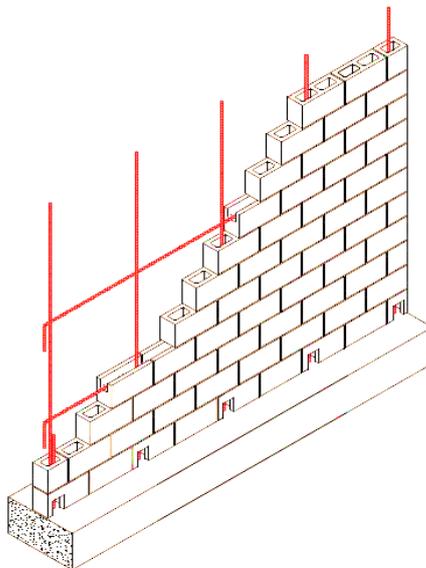


Figura N° 2.6 Muro armado: Colocación de refuerzos verticales y horizontales

b) Muros confinados: Se denominan así a aquellos muros que presentan elementos de concreto armado como refuerzo en el perímetro del muro, los cuales se vacían tras la construcción del muro de albañilería generando una conexión dentada entre las columnas y los muros. De acuerdo a la NTE E.070, los requisitos mínimos más importantes para esta clase de muros son:

- Los cuatro lados del muro deben de estar enmarcados por elementos de concreto armado (columnas, vigas soleras y/o cimentación).
- Distancia entre elementos verticales de confinamiento < 2 veces la distancia de los elementos horizontales.
- Área mínima de columnas de confinamiento > 20 veces el espesor efectivo del muro en centímetros.
- Área de acero mínimo del refuerzo en los elementos de confinamiento $\geq 0.1 f'c A_c / f_y$.
- Tanto los anclajes como los traslapes del acero de refuerzo se diseñarán a tracción. En el caso de los traslapes se considerarán las longitudes indicadas en la NTE E.060 Concreto Armado.
- Resistencia del concreto empleado en los elementos de confinamiento $(f'c) \geq 175 \text{ kg/cm}^2$.

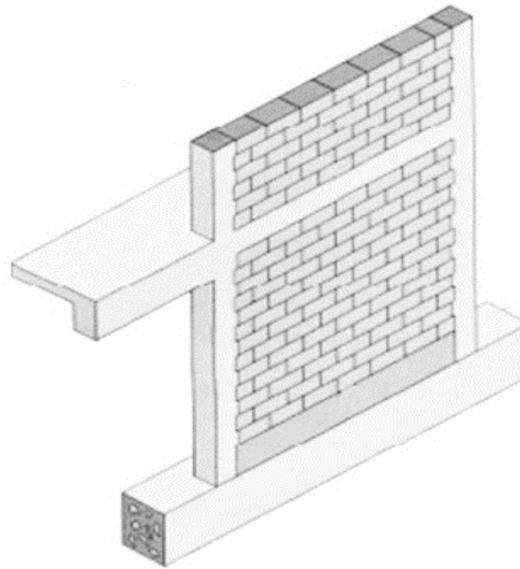


Figura N° 2.7 Muro confinado: Muro de albañilería con elementos de confinamiento horizontales y verticales

c) **Muros laminares:** Aunque la NTE E.070 no menciona a este tipo de muros como parte de los muros reforzados, San Bartolomé si lo hace, ello porque este tipo de muros no es utilizado en la construcción peruana, más si en países como Estados Unidos. Estos muros se caracterizan por poseer una placa central de concreto de espesor de 1 a 4 pulgadas reforzada por una malla de acero, ello entre dos muros de albañilería simple que sirven a su vez como encofrado del sistema (Figura N°2.8).

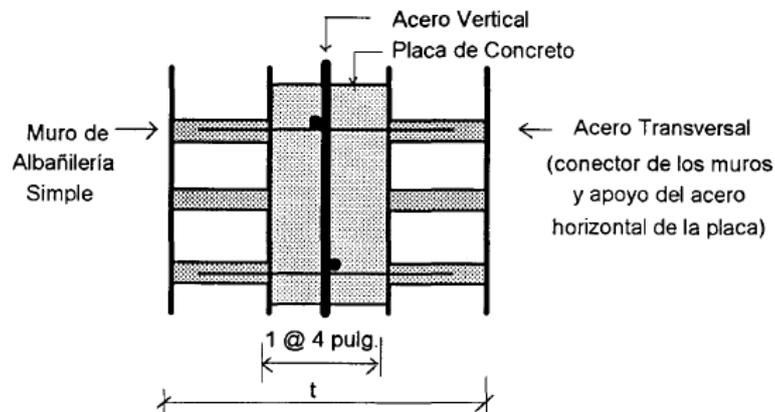


Figura N° 2.8 Muro laminar: Sección transversal

2.2 COMPONENTES DE LA ALBAÑILERÍA

Como se había mencionado, la albañilería es un material compuesto, cuyos principales componentes son la unidad de albañilería y el mortero, pudiendo presentar cada uno diferentes tipos. En los siguientes párrafos se desarrolla la definición, la clasificación y aspectos generales de ambos componentes.

2.2.1 Unidad de albañilería

La unidad de albañilería representa uno de los componentes principales en la construcción y generalmente están constituidas de arcilla (cerámicas), arena-cal (sílico-calcáreo) o de concreto. Por su tamaño, pueden denominarse **ladrillos**, en caso las unidades puedan manipularse con una mano, o **bloques**, si es que es necesario emplear ambas manos para su uso (San Bartolomé, 1994).

2.2.1.1 Clasificación

Pueden clasificarse según el porcentaje de vacíos que contengan en los alvéolos o perforaciones, siendo esta tipología conocida internacionalmente; o también, por la materia prima por la que está compuesta la unidad. En ambos casos, la clasificación puede aplicarse tanto a ladrillos como bloques, por lo que es independiente del tamaño.

Por el porcentaje de vacíos

Están relacionadas a la cantidad de huecos presentes en la superficie de asiento de la unidad y a su disposición en la misma. Pudiendo ser:

- **Unidades perforadas**

Estas unidades poseen alvéolos o perforaciones en dirección perpendicular a la cara de asiento y por cuya área libre puede atravesar el refuerzo vertical (Figura N°2.9a). Estas unidades se encuentran en el mercado tanto sólidas como huecas. Asimismo, la NTE E.070 denomina a estas unidades como “alveolares”.

- **Unidades sólidas o macizas**

Son aquellas que poseen perforaciones o alvéolos perpendiculares a la superficie de asiento, que cumplen que cualquier sección paralela a dicho plano posee un área mayor o igual al 70% del área bruta de éste (Figura N°2.9b), pues si no se alcanza dicho valor su comportamiento se torna muy frágil. Estas unidades son aptas para emplearse en la construcción de muros portantes.

- **Unidades huecas**

Son aquellas unidades cuya área neta de la superficie de asiento es inferior al 70% el área bruta de la misma (Figura N°2.9c). Se recomienda que, para emplear estos ladrillos en construcciones, se rellenen los alvéolos o perforaciones con concreto líquido (grout).

- **Unidades tubulares**

Son las unidades que tienen sus alvéolos o celdas en forma paralela a la superficie de asiento a diferencia del caso anterior. El ladrillo pandereta representa la unidad más popular (Figura N°2.9d).

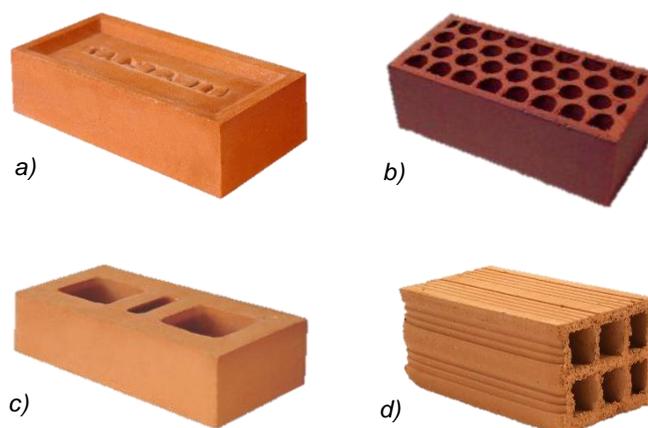


Figura N° 2.9 Clasificación por sus vacíos: a) Unidad maciza. b) Unidad hueca.
c) Unidad perforada. d) Unidad tubular

Por la materia prima

Las unidades de albañilería pueden fabricarse con distintos tipos de materia prima, sean estas simples o en combinación de una o más materiales. Cabe mencionar que los procesos de fabricación son distintos según la materia prima a emplear. Las unidades más conocidas son las de arcilla, de sílice y cal y las de concreto.

- **Unidades de arcilla**

También son denominadas unidades cerámicas y presentan como elemento principal a la arcilla, la cual puede poseer carbonato de calcio, brindando colores claros a las unidades, o silicato de alúmina, que hace que tengan un color rojizo (Figura N°2.10a). En algunos casos también presenta óxidos metálicos y otros ingredientes. Gran parte de las unidades de arcilla que se fabrican en el Perú y el mundo son ladrillos, lo cual también se ve influenciado por la gran cantidad de arcillas existentes en nuestro planeta.

- **Unidades sílico-calcáreas**

Unidades compuestas por cal hidratada y arena, lo que genera que las unidades presenten un color blanco grisáceo (Figura N°2.10b). En el Perú se fabrican ladrillos y bloques de este material, aunque son los segundos los que mayor demanda poseen.

- **Unidades de concreto**

Unidades compuestas de la dosificación de cemento, arena, confitillo y agua (concreto), lo que permite que estas unidades puedan presentar altas resistencias según la cantidad que se emplee de cada componente (Figura N°2.10c).

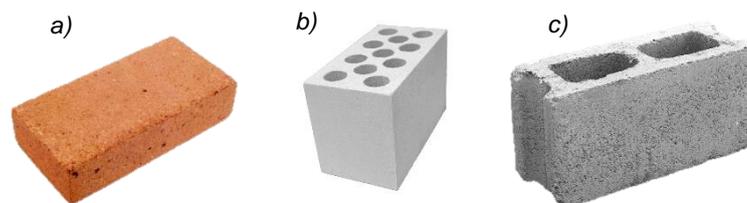


Figura N° 2.10 Clasificación por su materia prima: a) Unidad de arcilla. b) Unidad sílico-calcárea. c) Unidad de concreto.

2.2.1.2 Propiedades

Las unidades presentan propiedades relacionadas a la resistencia de la albañilería y otras a la durabilidad de la misma. A continuación, se mencionan las principales:

Resistencia de la albañilería

- ✓ Resistencia a la compresión y Resistencia a la tracción.
- ✓ Variabilidad dimensional y Alabeo.
- ✓ Succión.

Durabilidad de la albañilería

- ✓ Resistencia a la compresión y Densidad.
- ✓ Eflorescencia, Absorción y Coeficiente de Saturación.

Cabe mencionar que la mayoría de estas propiedades se tratarán con mayor detalle en el siguiente capítulo.

2.2.1.3 Limitaciones de uso para fines estructurales

Dadas las variaciones entre las propiedades que se presentan entre un tipo de unidad y otro, la NTE E.070 recomienda el uso o aplicación de determinadas unidades según las zonas sísmicas consideradas en la NTE E.030.2006, para ello plantea lo expresado en la Tabla N° 2.1.

Tabla N° 2.1 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales
(NTE E.070)

Tipología		Muro portante en edificios		
		Zona Sísmica 2 y 3		Zona Sísmica 1
Tipo	Fabricación	4 pisos a más	1 a 3 pisos	Todo el edificio
Sólida	Artesanal	No	Sí Hasta 2 pisos	Sí
	Industrial	Sí Celdas totalmente reellenas con grout	Sí Celdas parcialmente reellenas con grout	Sí Celdas parcialmente reellenas con grout
Alveolar		No	No	
Hueca		No	No	Sí
Tubular		No	No	Sí Hasta 2 pisos

2.2.2 Mortero

El mortero, según la definición de la NTE E.070, es la combinación de materiales aglomerantes y agregado fino que conjuntamente a la cantidad máxima y adecuada de agua proporcionan una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación de sus componentes, que permite unir horizontal y verticalmente las unidades de albañilería, corrigiendo las irregularidades de las mismas y sellando las juntas de ingreso de aire y humedad.

2.2.2.1 Componentes

Como se había mencionado los componentes de un mortero son los materiales aglomerantes, el agregado y el agua, cuyas definiciones y características se mostrarán a continuación, mientras que los requisitos técnicos correspondientes a cada uno serán tratados en el capítulo posterior.

Aglomerantes

También denominados conglomerantes. Son los materiales capaces de unir a los demás componentes del mortero, es decir actúan como material ligante. El material más empleado en la construcción es el *cemento portland* con o sin cal hidratada, pero adicionalmente se encuentran investigaciones que consideran otras sustancias como el cemento de albañilería y el cemento de mortero, ambas empleadas en Estados Unidos, los *polímeros*, el azufre fundido y otras sustancias.

La principal función de este componente es proporcionar resistencia al mortero, así como brindar la trabajabilidad y retentividad necesaria para que el agua de la mezcla no se evapore con facilidad y permita interactuar con algunos aglomerantes.

Agregado inerte

Generalmente se emplea arena gruesa graduada como agregado, la cual debe contener granos grandes y pequeños para una correcta interacción entre ambos, ello con la finalidad de brindar estabilidad volumétrica a la mezcla y evitar las grandes contracciones por secado que ocurrirían si es que ésta estaría compuesta tan sólo por material cementante y agua. La arena, además de brindar mayor

volumen a la mezcla, también permite el empleo de un menor volumen de material aglomerante, lo que a su vez aminora los costos de producción.

Cabe mencionar que el agregado debe de estar libre de sustancias dañinas para la mezcla como el polvo o la tierra, ya que alteran negativamente sus propiedades.

Agua

El agua actúa como medio de hidratación de la mayoría de los aglomerantes, activando así sus propiedades, y del mismo modo, su cantidad influye en la trabajabilidad de la mezcla.

En los morteros cementicios, aquellos que tienen como aglomerante al cemento, el agua juega un papel muy importante, dado que cuando el mortero entra en contacto con la unidad de albañilería, ésta absorbe el agua contenida en el mortero y a su vez a los materiales cementicios que contiene tras la mezcla, los cuales se introducen en los poros capilares de la unidad donde se hidratan y cristalizan generando una especie de engrape entre la unidad y el mortero (Figura N°2.11).

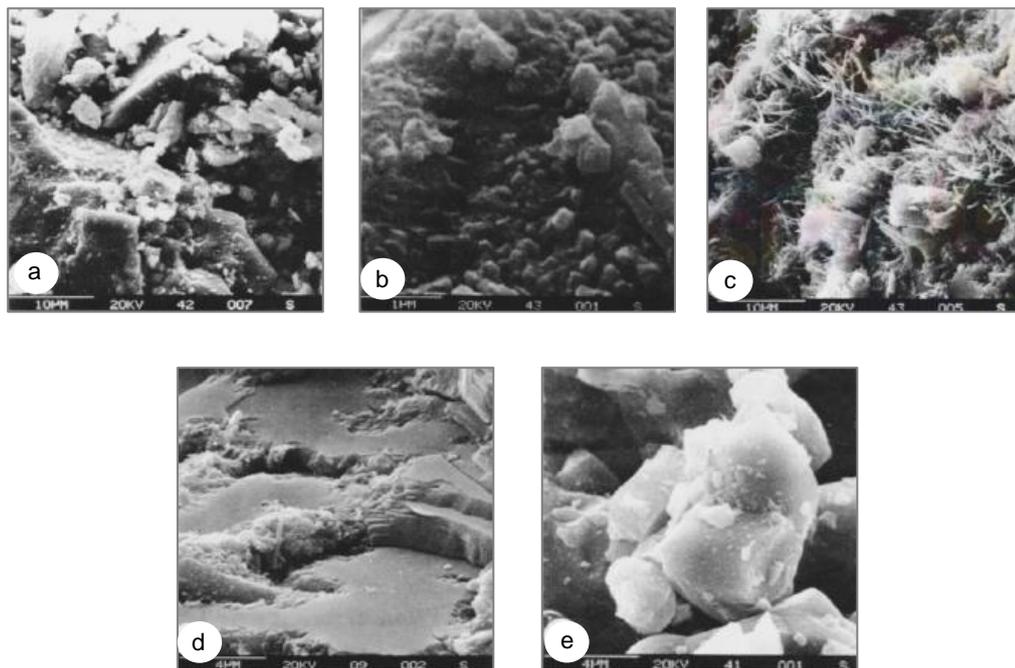


Figura N° 2.11 Hidratación del cemento: a) Partículas sin hidratar. b) Partículas a pocos minutos de la hidratación. c) Hidratación a los 3 días. d) Hidratación a los 7 días. e) Hidratación a los 28 días.

(Fuente: "Concrete admixtures handbook", Ramachandran, 1995)

2.2.2.2 Clasificación

No existe consenso en la normatividad respecto a la clasificación para morteros, pues existen diversas características a partir de las cuales podrían ser categorizados. Aspectos como la variedad de componentes del mortero, la finalidad del mortero o su forma de suministro, son mencionados como parámetros de clasificación en las diversas bibliografías.

Sin embargo, la NTE E.070 clasifica a los morteros según su uso estructural en morteros para muros portantes (P) o morteros a emplearse en muros no portantes (NP), basándose en las proporciones volumétricas de materiales que componen al mortero, pudiendo o no emplearse el uso de cal para cualquiera de los dos casos. La Tabla N° 2.2 muestra la clasificación propuesta en la norma.

Tabla N° 2.2 Tipos de morteros según fin estructural (NTE E.070)

Tipo de Mortero	Uso	Componentes		
		Cemento	Cal	Arena
P1	Muros portantes	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2
P2	Muros portantes	1	0 a 1/2	4 a 5
NP	Muros no portantes	1	-	Hasta 6

Asimismo, la NTP 399.610 que trata sobre la especificación normalizada para morteros en albañilería, que es la adaptación de la norma estadounidense ASTM C-270, menciona diversas proporciones de volúmenes de los componentes del mortero, así como propiedades alcanzados por los morteros diferenciándolos por el aglomerante que los componen, agregando a su vez una división de cuatro tipos de mortero (M, S, N y O), los cuales se pueden reconocer por las propiedades que poseen, las cuales se presentan en la Tabla N° 2.3 y que se desarrollan con mayor detalle en el siguiente capítulo (apartado “Proporciones y elaboración del mortero”).

Tabla N° 2.3 Tipos de morteros según especificación por propiedades (NTP 399.610)

Tipo	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Retención de agua (%)	Contenido de aire (%)
M	175.4	75	12
S	126.4	75	12
N	53.0	75	14
O	24.5	75	14

Por otro lado, a diferencia de las tipologías de mortero planteadas en las normas peruanas, también es posible diferenciar a los morteros de una forma más general, pudiéndolos clasificar según el conglomerante, el uso, el método de fabricación o la forma de suministro, como se puede encontrar en bibliografía europea.

Según el aglomerante

Como se había mencionado, además del cemento portland, que es el aglomerante más empleado para la obtención de morteros; también existen otros materiales que cumplen, reemplazan o mejoran las funciones que brinda el cemento.

La clasificación que se presenta a continuación, muestra los aglomerantes más empleados en el ámbito de la construcción y los compuestos que forman al mezclarse, tanto con los agregados y el agua, como entre ellos mismos. Del mismo modo, se abarcan también los morteros que emplean aglomerantes no convencionales y que no poseen la misma difusión que los inicialmente mencionados.

- **Morteros cementicios**

Denominados también “morteros de cemento”, pues son aquellos que en su composición emplean al cemento como elemento conglomerante, contando además de otros componentes como el agua y el agregado.

Este mortero es el más empleado desde su patente en el siglo XIX hasta la actualidad, por la gran variedad de usos que se le puede dar entre las que destacan el asentamiento de unidades de albañilería, revoques, revestimientos y reparaciones.

Asimismo, presenta propiedades como la adherencia, cohesividad, fluidez y textura en estado fresco; mientras que en estado endurecido presenta buena resistencia mecánica. Cabe mencionar, que el desempeño de estas propiedades está fuertemente ligado a la dosificación de los componentes y a la calidad de los mismos.

- **Morteros calcáreos**

Son aquellos morteros que tienen como material aglomerante a la cal, obtenida de la calcinación de la piedra caliza (carbonato de calcio),

pudiendo ser ésta, aérea o hidratada consiguiendo los morteros de cal área o los morteros de cal hidratada, respectivamente.

La mayoría de las edificaciones en las civilizaciones antiguas empleaban este tipo de morteros y debido a que muchas de ellas aún se encuentran en la actualidad, se puede inferir que estos morteros poseen un buen envejecimiento.

Asimismo, estos morteros poseen mayor deformabilidad que los morteros de cemento portland, pero una menor resistencia que los mismos. Es importante notar que la buena calidad de los agregados jugará un rol importante en este tipo de morteros debido a que depende de ellos la disminución del agrietamiento por pérdida de agua en las mezclas, por ello es esencial que las partículas estén libres de materia orgánica y en lo posible sean de forma angular.

- **Morteros de yeso**

Morteros obtenidos de la mezcla de yeso (sulfato de calcio semihidratado) con agregado y agua. Poseen una resistencia a la compresión mucho menor a la mayoría de morteros, pero fragua mucho más rápido. Frecuentemente no se emplea para el asentamiento de unidades de albañilería, más es bastante utilizado en revestimientos.

- **Morteros mixtos**

Con la finalidad de obtener mejores o distintos desempeños de las propiedades del mortero, es que se mezclan algunos aglomerantes en distintas proporciones, denominándose a los morteros resultantes como morteros mixtos. Entre las combinaciones más empleadas se encuentran los *morteros de cemento y cal (hidráulica – aérea)*, los cuales poseen excelente trabajabilidad, buena retentividad del agua y alcanzan altas resistencias y generalmente están normadas en los distintos países por su continuo uso en la construcción; por otro lado, se encuentra el *mortero de cal y yeso*, que posee buena resistencia al desgaste por agua, pero tiene menores usos, como por ejemplo las restauraciones.

- **Morteros con polímeros (Morteros no convencionales)**

Se denominan morteros no convencionales a aquellos que no poseen como aglomerante principal a materiales convencionales como el cemento, cales o yeso, es decir, que poseen otro aglomerante, en el caso de la mayoría estos materiales principales son los **polímeros**.

Los polímeros son sustancias constituidas por la repetición de unidades químicas pequeñas denominadas monómeros, dichas sustancias pueden ser naturales o sintéticas, siendo las últimas las utilizadas en la industria de la construcción para reemplazar a los ligantes convencionales, ello generalmente en forma de resinas.

Existen tres distintas formas de aplicar las resinas poliméricas a los morteros, resultando de las mismas los morteros impregnados con polímeros (PIM – Polymer Impregnated Mortar), los morteros de cemento y polímeros o mortero modificado con polímeros (PCM – Polymer Cement Mortar) y los morteros poliméricos (PM – Polymer Mortar). Todos ellos poseen dos fases, la fase ligante o aglomerante y la fase dispersa compuesta por áridos (agregados), vacíos o refuerzos (Figura N° 2.12).

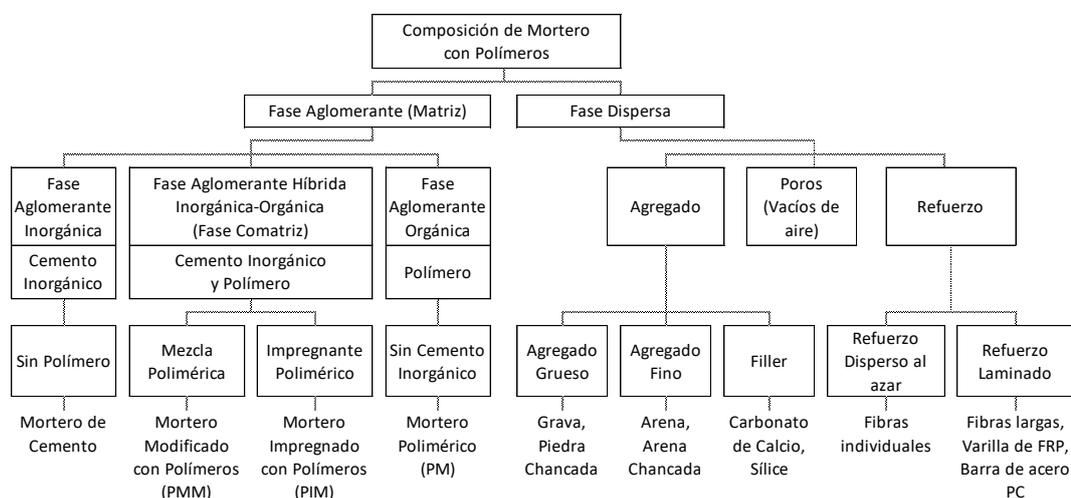


Figura N° 2.12 Fases en la composición de morteros con polímeros

Cabe mencionar que en la presente investigación solamente se estudia la interacción de los morteros poliméricos (PM) con la albañilería, más era necesario mencionar las diferentes aplicaciones de los polímeros en los morteros.

Según el Método de Fabricación

Existe también una clasificación de los morteros considerando la forma y lugar de fabricación de los mismos, pudiendo ser hechos tradicionalmente en obra o de forma industrializada en una fábrica, ésta última con dos variantes respecto al proceso de mezclado y amasado de la mezcla de mortero, la cual se describe en los siguientes párrafos.

- **Mortero hecho en obra (In Situ)**

Son aquellos morteros cuyos aglomerantes y agregados se dosifican y mezclan con agua en el lugar donde se realizarán los trabajos (obra). Cabe mencionar, que tanto la dosificación de los insumos primarios como la inclusión de algún aditivo o material adicional depende exclusivamente del diseño o proporciones requeridas para el trabajo; lo cual, aunado a la forma de amasado de la mezcla (manual o con equipo) genera que este tipo de morteros presente muchas más variaciones, por lo que estandarizarlos resulta un trabajo complicado, ello en comparación a los morteros hechos industrialmente.

- **Morteros industriales semi-terminados**

Se denomina a este tipo de morteros como “industriales semi-terminados” porque una parte del proceso de fabricación de estos morteros se realiza en fábricas.

El proceso de preparación del mortero generalmente comprende la dosificación y el mezclado de los materiales, entre sí y con agua. En el caso de este tipo de morteros, la dosificación y proporciones del o los aglomerantes y agregados se realiza en la fábrica y, asimismo, puede darse también la mezcla de los agregados, siendo esta última actividad la que genera que existan los morteros predosificados y los morteros con agregados premezclados. En el caso de los primeros, tan solo la dosificación se realiza en la fábrica, por lo que es necesario mezclar los componentes y luego agregar el agua en la obra para obtener el mortero; mientras que, en los segundos, además de la dosificación de los componentes, también se realiza la mezcla de los agregados en la fábrica, para luego agregar agua y mezclar los componentes en obra.

- **Morteros industriales**

En los morteros industriales, a diferencia de los morteros semi-terminados, los procesos de dosificación y mezcla de los aglomerantes y agregados se realizan en la fábrica. Asimismo, la posibilidad de incluir o no una cantidad de agua para su posterior mezcla en la fábrica, genera que se tenga dos presentaciones de morteros industriales, los cuales están ligados a la forma de suministro y se tratarán en el siguiente apartado.

Según la Forma de Suministro

Como se había mencionado previamente, el suministro de morteros generalmente ocurre en el caso de los morteros industriales, dado que es necesario su traslado desde la planta o fábrica hacia el lugar donde se realizarán los trabajos (obra). De acuerdo a la incorporación de agua a la mezcla se diferencian dos tipos:

- **Morteros secos**

Son mezclas de aglomerantes, agregados y eventualmente aditivos, cuyas proporciones y combinación se llevan a cabo en una fábrica o planta, ello sin considerar el agua, dado que ésta se agregará en el lugar donde se realizarán los trabajos en la proporción especificada. Dada la ausencia de agua en la mezcla, de ahí el nombre, ésta se suele distribuir en sacos, silos o bolsas de papel.

- **Morteros húmedos**

Caso contrario al anterior, el agua si se agrega a los aglomerantes, agregados y aditivos (generalmente retardantes) en la planta o fábrica, para posteriormente amasar esta mezcla hasta lograr una homogénea y envasarla para su distribución. Este tipo de morteros se suministra de forma que están listos para usarse, por lo que generalmente incluyen aditivos retardantes que a su vez mejoran la trabajabilidad.

2.2.2.3 Propiedades

Para analizar las propiedades que posee un mortero, es necesario diferenciar cada uno de los estados que poseen los morteros, dado que el comportamiento

presente en el estado fresco o plástico es completamente distinto al del estado endurecido.

Cabe mencionar que, a diferencia de las propiedades de las unidades de albañilería, las cuales son evaluadas necesariamente según la NTE E.070 y es por ello que son desarrolladas en un capítulo posterior, las propiedades exigidas por la misma norma para el caso del mortero son tan solo la fluidez y la resistencia a la compresión, las cuales si son abordadas con mayor detalle en el Capítulo IV, por lo que es necesario un desarrollo más amplio de las propiedades que no son exigidas obligatoriamente en la normatividad peruana.

Mortero en estado fresco (plástico)

- ✓ **Consistencia**, también denominada “Trabajabilidad o Temple”. Es la propiedad que permite la manipulación del mortero con el badilejo o cualquier otra herramienta similar, así mismo comprende también a la capacidad de esparcimiento que posee la mezcla y su adhesión a superficies verticales mediante el contacto con las irregularidades de la misma.

Dado que la consistencia es un conjunto de características, es necesario mencionar que las distintas propiedades que comprenden a la misma son la **cohesión**, la **plasticidad**, la **fluidez** y la **retentividad**, de las cuales solamente pueden ser cuantificadas las dos últimas, ello mediante el uso de la Mesa de Casagrande en un laboratorio o puede emplearse el cono de Abrams en caso se desee obtener la fluidez en campo.

Mortero en estado endurecido

- ✓ **Adhesión** con las unidades de albañilería, que permite la unión con las mismas y que puede medirse sometiendo a una fuerza perpendicular de tracción a un testigo de albañilería compuesto por dos unidades y que se determina mediante la relación entre la fuerza que permite la rotura y el área de contacto. El ensayo puede realizarse por tracción directa o por flexión, siendo el primer caso el más empleado.
- ✓ **Resistencia a la compresión**, que permite obtener la relación entre la fuerza de rotura de un prisma cúbico del mortero ensayado y el área perpendicular a dicha fuerza. Generalmente los ensayos se realizan a los 3, 7 y 28 días.

2.3 ALBAÑILERÍA COMO MATERIAL COMPUESTO

Ante la gran variedad de las unidades de la albañilería y de los morteros existentes, son las propiedades y características de dichos componentes de la albañilería, las que definen el comportamiento estructural de la misma, es decir que de acuerdo a forma en la que interactúan dichos materiales como un material compuesto pueden desarrollarse diferentes resistencias y patrones de falla en la albañilería.

A continuación, en la Figura N°2.13, se puede observar cómo puede verse afectado el patrón de falla de acuerdo a la configuración que presenta un murete de albañilería y al tipo de carga a la que se ve sometida el mismo.

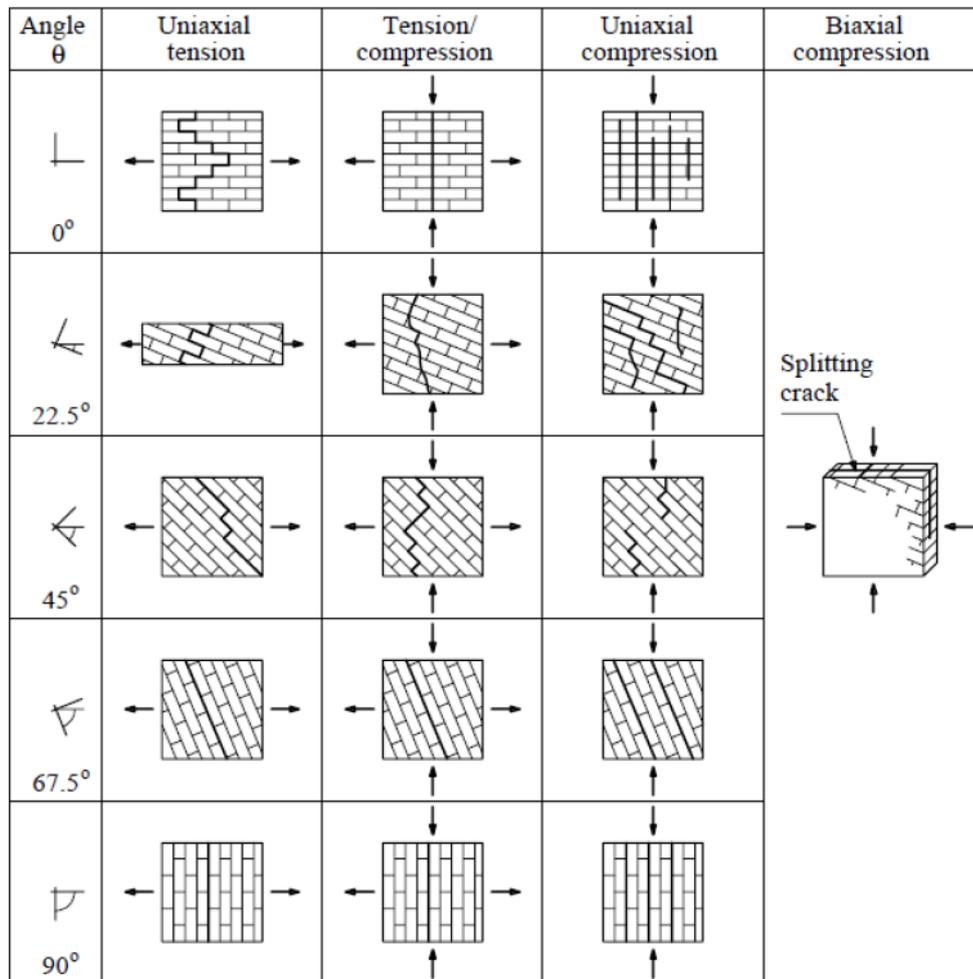


Figura N° 2.13 Modos de falla de muretes de albañilería en estado de carga biaxial (Fuente: Dhanakesar et al., 1985, citado en Ruiz, 2017)

2.3.1 Propiedades de la albañilería como material compuesto

El comportamiento estructural de la albañilería como un compuesto de materiales ante sollicitaciones o cargas reales, está definido por la resistencia a la compresión, tracción y corte de la albañilería. Dichas resistencias, se han determinado debido a los resultados de una gran cantidad de ensayos realizados alrededor del mundo, los mismos que posteriormente se han modelado considerando las interacciones heterogéneas entre los componentes de la albañilería.

Dada la complicación al modelar la albañilería, debido a la anisotropía del material y a la complejidad del sistema de esfuerzos al que se ve sometido (diferentes ángulos de las cargas), sin mencionar lo altamente costoso que resulta obtener datos a escala natural; se ha optado por elegir algunas orientaciones de las cargas para evaluarse en especímenes menores con la intención de determinar las resistencias mencionadas, siendo las siguientes las empleadas en los distintos ensayos:

- Ensayos de compresión: Se somete a una carga coplanar perpendicular a la hilada. Pueden simular cargas de gravedad y acciones sísmicas.
- Ensayos de tracción coplanar: Se aplica una fuerza de corte con la intención de generar tracciones indirectas.
- Ensayos de tracción por flexión: Se somete a una carga perpendicular al plano para producir flexiones paralelas y perpendiculares a la hilada.
- Ensayos de cizalle o corte: Se aplica simultáneamente una fuerza de corte en el plano y de compresión vertical en el plano perpendicular.

Para determinar las propiedades de la albañilería, es de vital importancia el conocimiento de las características de los especímenes a evaluar, así como el de los ensayos adecuados a los que se someterán dichas unidades. En los párrafos siguientes, se desarrollarán las principales propiedades de la albañilería y se mencionarán los ensayos necesarios con los que se pueden obtener los resultados.

2.3.1.1 Resistencia a la compresión de prismas

La resistencia a la compresión en los prismas de albañilería produce un **estado de compresión uniaxial**, ello por la aplicación de una carga paralela al eje longitudinal del espécimen a ensayar. Generalmente se suele aplicar la fuerza de manera perpendicular a las juntas de mortero (Figura N° 2.13), aunque puede darse casos en que dicha fuerza posea un ángulo de inclinación.

Asimismo, tanto la norma peruana NTP 339.605 como la normativa internacional ASM C 1314-03b, que contienen el procedimiento de ensayo para calcular esta propiedad en la albañilería, recomiendan que la cantidad mínima de ladrillos que debe de tener un espécimen a ensayar es de dos unidades, con una esbeltez (relación altura- espesor) entre 1.3 y 5.0.

Como lo revelan ensayos citados por Gallegos y Casabonne (2005) en prismas de albañilería con juntas de morteros perpendiculares a la fuerza aplicada, es a partir del 70% de la carga última que comienzan a aparecer grietas verticales en los ladrillos y es éste de hecho, el patrón ideal de falla (conocida como *falla por tracción ortogonal*). Dichas grietas se presentan porque al aplicar la fuerza vertical de compresión sobre los ladrillos, se generan fuerzas de tracción en el plano horizontal de los mismos debido a que la expansión lateral del mortero está limitada por los ladrillos, ello debido a la mayor rigidez y resistencia de las unidades de albañilería, como se puede apreciar en el Gráfico esfuerzo-deformación de los componentes del prisma (Figura N° 2.14).

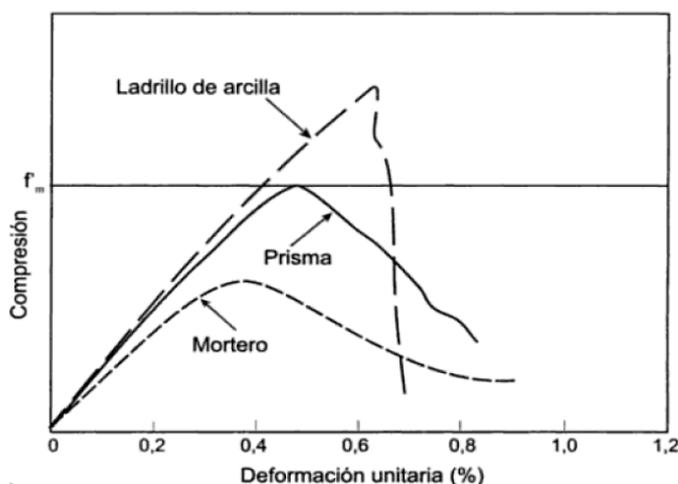


Figura N° 2.14 Gráfico compresión vs deformación unitaria para un prisma de albañilería y sus componentes (Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005)

En conclusión, podemos deducir que en un prisma cargado encontraremos a los ladrillos sometidos a compresión axial y tracción biaxial mientras que el mortero estará en un estado de compresión triaxial, como se muestra en la Figura N° 2.15.

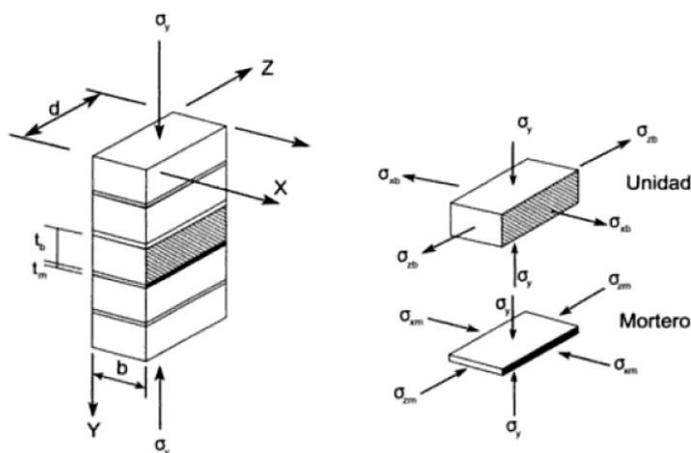


Figura N° 2.15 Esfuerzos en un prisma, ladrillo y mortero por acción de una carga axial de compresión (Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005)

Asimismo, no es deseable la ocurrencia de agrietamientos en las esquinas superiores o inferiores del prisma, dado que ello se relaciona a problemas procedimentales durante el refrendado de las unidades expuestas a la carga o en la aplicación de la carga durante el ensayo, lo cual ocasiona una mayor concentración de esfuerzos en las zonas mencionadas ni tampoco las conocidas como *fallas frágiles o de aplastamiento* que ocurren en unidades de albañilería huecas, ello por su poca resistencia y la gran cantidad de vacíos.

Por otro lado, con el fin de encontrar una expresión que cuantifique al valor de la resistencia de la albañilería, distintos investigadores alrededor del mundo, entre los que destacan Hillsdorf y Francis (Gallegos y Casabonne, 2005), realizaron muchos ensayos, cuyos resultados les permitieron formular las expresiones buscadas; dichos resultados permitieron también uniformizar y normalizar factores de corrección en base a la relación de las dimensiones de los prismas que permiten un cálculo con una menor cantidad de variables. Estos valores se han expandido globalmente y la normativa peruana no ha sido una excepción, pues recoge la expresión para el cálculo de la resistencia a la compresión (f'_m) en función a la carga de rotura (P), el área de la sección del prisma (A) y un factor de esbeltez obtenido empíricamente (t). A continuación, la expresión mencionada:

$$f'_m = \frac{P}{A} \times t$$

2.3.1.2 Módulo de elasticidad

El valor del módulo de elasticidad o *módulo de Young* se puede determinar empleando el gráfico esfuerzo-deformación unitaria en compresión o mediante expresiones obtenidas tras resultados empíricos. En el caso inicial, como menciona Gallegos y Casabonne (2005), investigaciones como las realizadas por Turnsek & Cacovic y Powell & Hodgkinson lograron aproximar a una parábola, el gráfico normalizado de la deformación en la albañilería (Figura N°2.16); de la cual se determina que el módulo de elasticidad (E_m) es un múltiplo del cociente entre el esfuerzo (σ') y la deformación unitaria (ϵ') en el punto máximo la parábola.

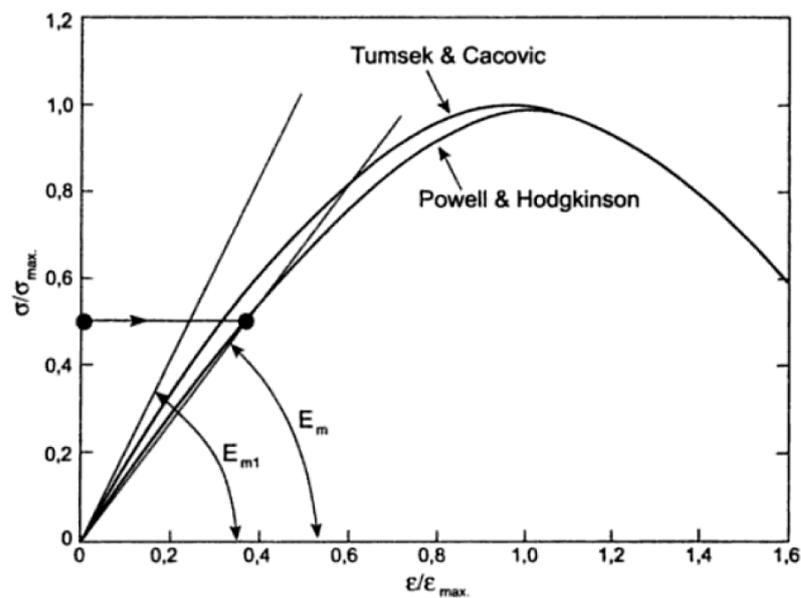


Figura N° 2.16 Gráfico normalizado esfuerzo vs deformación unitaria en el ensayo de compresión de prismas de albañilería (Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005)

La expresión empleada para el cálculo del módulo de elasticidad, resulta la siguiente:

$$E_m = 1.25 \frac{\sigma'}{\epsilon'}$$

Por otro lado, también se obtuvieron valores empíricos de cuyos resultados se obtuvieron los límites entre los cuales puede encontrarse el módulo de elasticidad, dichos valores poseen relación con la resistencia a la compresión en pilas de albañilería (f'_m), siendo el límite mínimo $400 f'_m$ y el valor máximo $1000 f'_m$. Cabe mencionar que la NTE E.070, considera los siguientes valores de módulo de elasticidad para las distintas unidades de albañilería:

- ✓ Unidades de arcilla: $E_m = 500 f'_m$
- ✓ Unidades sílico-calcáreas: $E_m = 600 f'_m$
- ✓ Unidades de concreto: $E_m = 700 f'_m$

2.3.1.3 Resistencia al corte (por cizalle)

Algunas investigaciones también denominan a esta propiedad como “adherencia por cizalle”, dado que durante los ensayos ocurre un desprendimiento de los ladrillos y el mortero por acción de una fuerza.

Como se había indicado previamente, la resistencia al corte se produce cuando un espécimen de albañilería, sea este un muro o una pila, se carga coplanarmente; es decir, se produce una fuerza de compresión en la dirección perpendicular a las hiladas y otras en dirección de la hilada, generando que se pueda producir el cizallamiento.

Los ensayos simulan este accionar, pero a una escala mucho menor, considerando pilas de baja esbeltez, generalmente de entre dos y tres ladrillos con una y dos juntas respectivamente, en los cuales se aplica una fuerza sobre uno de los ladrillos en forma paralela a la dirección de las hiladas de mortero mientras que los ladrillos restantes son comprimidos o sujetos de forma que el espécimen no pierda estabilidad.

El valor de la resistencia al corte por cizalle es calculada mediante la relación entre la carga máxima (P) y el área bruta de las superficies en contacto (A), como indica la siguiente expresión:

$$\tau'_m = \frac{P}{A}$$

Es importante señalar que resultados de algunos investigadores como Khalaf (Gallegos y Casabonne, 2005) indican que la resistencia al corte por cizalle está relacionada directamente a la resistencia del mortero, más no del mismo modo a las características presentes en la superficie de asiento de las unidades ensayadas.

2.3.1.4 Resistencia a la tracción

Aun cuando la resistencia a la tracción en la albañilería es muy baja o casi nula, ésta puede ser útil en el caso de analizar muros confinados sometidos a fuerzas coplanares o a cargas perpendiculares a su plano, como ocurre con los muros no portantes, por ello que es importante su estudio. Es así que para determinar esta resistencia se emplean métodos indirectos, como los enumerados a continuación:

- ✓ Tracción diagonal, mediante la aplicación de fuerzas de corte.
- ✓ Tracción indirecta, generada por la aplicación de compresión diametral.
- ✓ Tracción por flexión, conocida también como “*módulo de ruptura*”, la cual se genera mediante ensayos directos de flexión.

Corte (tracción diagonal)

La resistencia al corte o resistencia a la tracción diagonal se halla mediante el ensayo de “*compresión diagonal*”, el cual es popular por ser un ensayo simple y práctico además de que representa de cierta forma las formas de falla presentadas en muros ante la ocurrencia de eventos sísmicos, aunque esto último no es del todo cierto por las condiciones de los bordes de los especímenes.

Para la realización de los ensayos se emplean muretes cuadrados de dimensiones variables y mayores a 0.60 metros, los cuales se ensayan en un laboratorio mediante la aplicación de una carga vertical diagonal de compresión en las esquinas del espécimen de forma controlada y creciente hasta llegar a la rotura, provocando a su vez que en la diagonal perpendicular se generen las fuerzas de tracción, como se muestran en la Figura N° 2.17a.

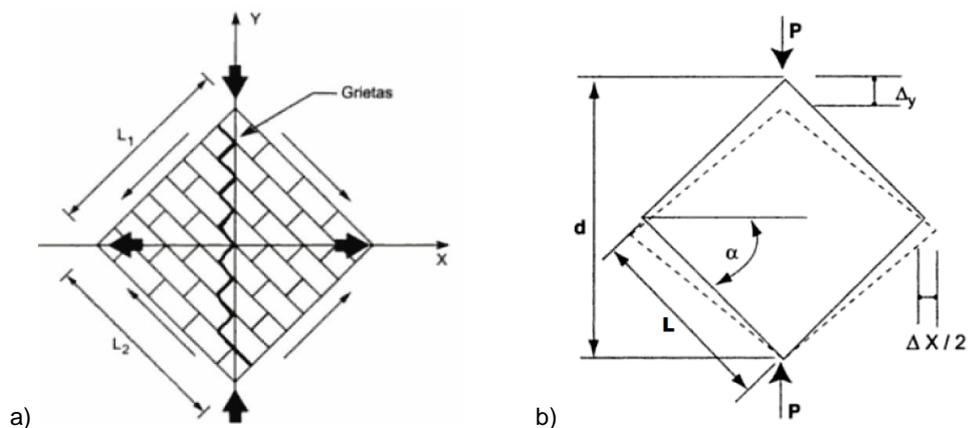


Figura N° 2.17 a) Esquema de ensayo de corteo compresión diagonal; b) Esquema de deformación del murete (Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005)

La expresión que permite el cálculo del valor nominal de la resistencia al corte (v'_m) es la siguiente:

$$v'_m = \frac{0,707 P}{A_b}$$

Donde P es la carga máxima de rotura y A_b representa al área bruta de la sección transversal del murete, calculada mediante la fórmula:

$$A_b = \frac{1}{2} (L_1 + L_2) t$$

En la que L_1 y L_2 son los lados reales del muretes y t representa a su espesor.

Asimismo, la deformación por corte que se muestra en el esquema de la Figura N° 2.15b, se puede representar mediante la siguiente expresión:

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

Por otro lado, las formas de falla para los especímenes pueden presentarse de diferentes modos (Figura N°2.18), aunque generalmente se dan por *corte* o *tracción diagonal*, lo cual indica una buena adherencia entre el mortero y las unidades. Otro modo de falla se presenta cuando la falla atraviesa las juntas del mortero, es decir que las unidades de albañilería se desprenden del mortero por una baja adherencia, denominando a esta una *falla escalonada*. Asimismo, puede ocurrir una acumulación de esfuerzos en las esquinas superior e inferior derivando en una *falla localizada* en dichas zonas, ocurren por problemas en la ejecución del ensayo o la construcción de los muretes. Por último y al igual que en el caso del ensayo de compresión axial, la falla por aplastamiento se produce al emplear ladrillos huecos o perforados.

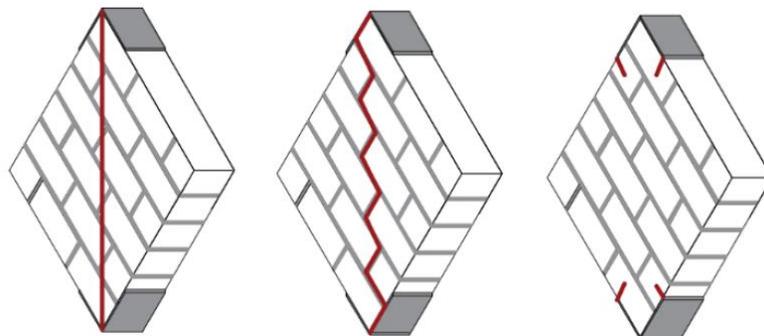


Figura N° 2.18 Modos de falla en el ensayo de compresión diagonal (Fuente: Ruiz, 2017)

Compresión diametral (tracción indirecta)

Los ensayos realizados por Gallegos y Casabonne en 1989 para calcular la resistencia a la tracción mediante compresión diagonal fueron una adaptación del ensayo brasileño para testigos cilíndricos de concreto donde se generan cargas de compresión diametralmente opuestas para que se originen tracciones indirectas perpendiculares al plano de carga. En este caso, se emplearon muretes octogonales de ladrillos de arcilla y sílice-cal con distintos tipos de mortero, los cuales fueron cargados diametralmente con tres distintas orientaciones en la aplicación de la carga (0° , 45° y 90°), de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Con una carga perpendicular a la hilada (0°), se alcanzaron los valores máximos para la resistencia dado que son las unidades de albañilería las que deben de romperse para alcanzar la falla del espécimen (Figura N°2.19a).
- b) Con carga a 45° con la hilada, los resultados fueron similares a un ensayo de corte con una falla escalonada, por lo que la adherencia mortero-ladrillo fue la que predominó en la falla (Figura N°2.19b).
- c) Con una carga paralela a la hilada (90°), se obtuvieron los valores más bajos dado que el ensayo consistió en el despegue de la junta horizontal de mortero (Figura N°2.19c).

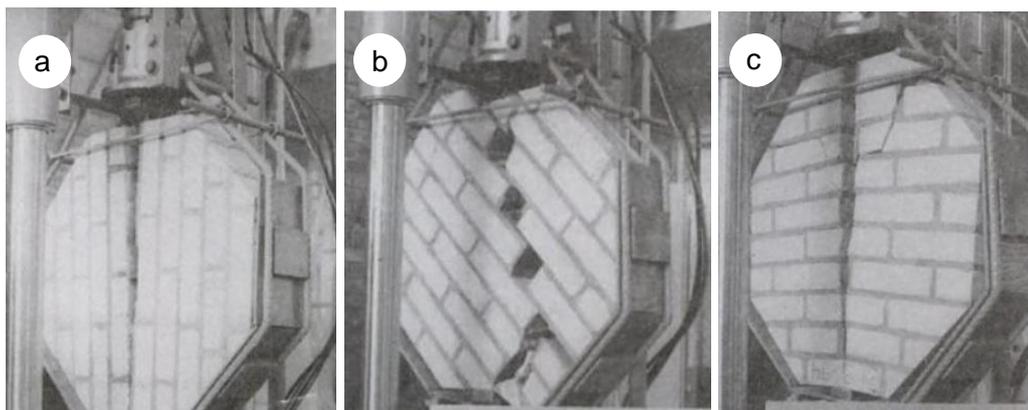


Figura N° 2.19 Especímenes del ensayo de compresión diametral; a) Compresión a 0° con la hilada: tracción perpendicular a la hilada; b) Compresión a 45° con la hilada: tracción a 45° con la hilada; c) Compresión a 90° con la hilada: tracción paralela a la hilada (Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005)

Módulo de ruptura (tracción por flexión)

Como se había mencionado, la resistencia a la tracción en la albañilería posee valores bajos, pero es necesario evaluar este parámetro en casos, como en el dimensionado de muros que estarán sometidos a solicitaciones predominantes de flexión, como es el caso de los muros no portantes que soportarán cargas de viento perpendiculares al plano del muro.

Es importante señalar que para analizar las formas de falla se deben de realizar dos estudios pues existe la posibilidad de que ocurra una falla perpendicular a la junta y otra de forma paralela como se observa en la Figura N° 2.20.

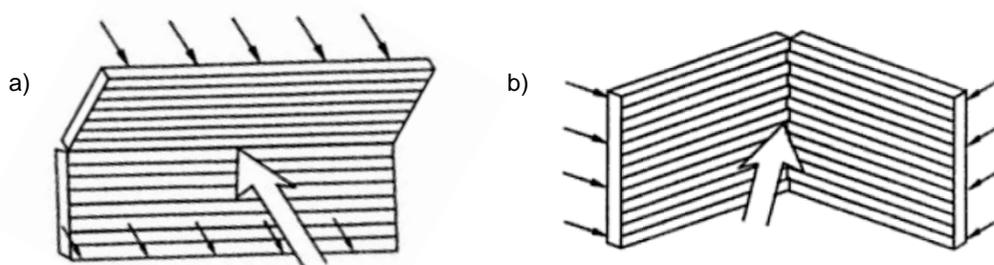


Figura N° 2.20 a) Falla paralela a las juntas de mortero; b) Falla perpendicular a las juntas del mortero (Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005)

Al igual que muchas de las propiedades antes desarrolladas, existen dos formas de calcular la resistencia a la tracción por flexión. La primera forma consiste en la ejecución de ensayos en laboratorios a especímenes rectangulares simplemente apoyados sometidos a cargas linealmente distribuidas, que generan un momento flector al igual que el peso del murete, y considerando las dos opciones de falla (fuerzas perpendiculares a la junta y fuerza paralela a la junta). Por otro lado, la otra forma es mediante valores indicativos y normalizados obtenidos por investigaciones.

2.3.1.5 Módulo de corte

El módulo de corte, también denominado *módulo de rigidez*, representa la capacidad de la albañilería para deformarse ante la aplicación de un esfuerzo cortante. La forma de cálculo de esta propiedad se desprende de los resultados obtenidos en el ensayo de compresión diagonal (corte o tracción diagonal en la

albañilería) ya que relaciona el esfuerzo de corte (v'_m) y la deformación angular o deformación por corte (ϵ), mediante la siguiente expresión:

$$G_m = \frac{v'_m}{\epsilon}$$

Por otro lado, resultados empíricos sugieren que un valor aproximado del módulo de corte puede obtenerse, también, de la siguiente relación:

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \nu)}$$

Donde E_m representa al módulo de elasticidad o módulo de Young y ν el coeficiente de Poisson.

2.4 MORTEROS POLIMÉRICOS PARA ALBAÑILERÍA

Como se había mencionado, entre las tres distintas formas de morteros con polímeros, en la presente investigación se desarrollará a los morteros que poseen como fase ligante a los polímeros únicamente, es decir, los morteros poliméricos.

Estos morteros son materiales compuestos o composites, que se generan mediante la mezcla de un polímero, que cumple la función del aglomerante o ligante (fase aglomerante), y un árido mineral (fase dispersa).

Los morteros poliméricos carecen de cemento, por lo que las resinas poliméricas actúan como único ligante en la mezcla, siendo además el material más importante del composite, pues depende del monómero empleado en la resina que el mortero adquiera determinadas propiedades.

Para comprender el porqué del uso de los morteros poliméricos en la albañilería, es necesario entender el concepto de los polímeros, repasar su evolución e introducción en la industria de la construcción y conocer sobre las opciones que se tienen actualmente para adquirir estos materiales.

2.4.1 Polímeros

La palabra polímero tiene su origen en dos vocablos griegos: *poly*, que significa mucho, y *méros*, que significa parte. En efecto, las moléculas de polímeros están constituidas por la repetición de pequeñas unidades químicas, denominadas *monómeros*, es decir, forman una sustancia macromolecular (Galán, 2001). Si los monómeros que conforman un polímero son del mismo tipo, serán denominados *homopolímeros*, mientras que aquellos que posean más de un tipo de monómero son llamados *copolímeros*.

Por su origen, los polímeros se pueden clasificar en *naturales* (madera, asfalto, piel, caucho, etc.), *semisintéticos* (nitrocelulosa, caucho vulcanizado, entre otros) y *sintéticos* (plásticos, nylon, elastómetos, policloruro de vinilo – PVC, polietileno y muchos más). Para la ciencia de los materiales, el estudio de elementos naturales conlleva el análisis de su estructura y propiedades, con lo cual, posteriormente, se pueden modificar su forma física para satisfacer determinadas necesidades; sin embargo, en el caso de los materiales sintéticos, es posible alterar su composición química para generar un material con las propiedades requeridas. Debido a lo mencionado, es que los materiales sintéticos (también denominados “materiales plásticos”) vienen siendo ampliamente utilizados en diversos campos de la ciencia, siendo uno de ellos, la construcción.

De acuerdo a las propiedades físicas que poseen, estos materiales plásticos pueden diferenciarse en tres tipos: *termoplastos*, *duroplastos* y *elastoplastos*, ello por la morfología y disposición de las cadenas poliméricas.

Asimismo, todos ellos se originan mediante un proceso denominado *polimerización*, el cual consiste en la agrupación de muchos monómeros iguales o distintos para formar las macromoléculas. Este proceso, presenta tres variantes según la forma de obtención de los polímeros, siendo la primera la *poliadición*, donde dos sustancias distintas general un monómero mediante una reacción química; también se presenta la *policondensación*, en la que también se genera una reacción química para producir al monómero, pero se eliminan productos no monoméricos (generalmente moléculas de agua); y por último, la *polimerización propiamente dicha*, que es la variante más frecuente, en ella los monómeros quedan unidos por enlaces covalentes fuertes, ello sin la necesidad de que ocurra una reacción química.

Como se había mencionado, debido al estado de los enlaces covalentes, pueden formarse los *termoplastos*, cuyos enlaces pueden romperse y recomponerse con facilidad al cambiar la temperatura; los *duroplastos*, que poseen enlaces fuertes, rígidos pero frágiles; y finalmente los *elastoplastos*, cuyos enlaces presentan gran elasticidad mecánica.

De estas tres variantes de resinas sintéticas pueden obtenerse morteros poliméricos, pero por razones técnicas y económicas solamente se emplean algunos *duroplastos* en la industria de la construcción; dichas resinas, por lo general, se emplean en estado líquido o de pasta viscosa consistente.

Los duroplastos más empleados en la elaboración de morteros poliméricos van desde materiales muy usados en los inicios, como las resinas fenólicas (FP) y las resinas melamínicas (MF, MP y UF), hasta materiales más actuales como resinas de furano y acetona (FA), políesteres no saturados (UP), resinas epóxicas (EP) y algunas formulaciones de poliuretano reticulado (PUR).

2.4.2 Antecedentes

Históricamente, el ser humano ha empleado polímeros en sus distintas actividades económicas; por ejemplo, como se menciona en la Biblia, se empleó el betún para las construcciones babilónicas; por otro lado, los romanos empleaban el ámbar para la joyería; los indios recubrían objetos con laca; en América Central se empleaba hule natural para rituales; entre diversos otros usos a lo largo del mundo.

Asimismo, es importante mencionar que además de los polímeros naturales mencionados, también es posible encontrarlos en estado puro dentro de animales y vegetales, como es el caso de las cadenas poliméricas de aminoácidos en el ADN o la celulosa de los árboles, respectivamente. Sin embargo, la mayoría de polímeros que empleamos a diario son materiales sintéticos, como se había mencionado anteriormente.

Fueron milenios los que pasaron sin poseer mucha información de los polímeros, aun cuando éstos eran utilizados. Es a finales del siglo XIX, que los estudios de las propiedades de los polímeros naturales son valorados y como resultado se

empieza a denominar a dichos materiales como *coloides*, creándose así un nuevo estado de la materia.

Durante las primeras décadas del siglo XX, se inventa y patenta un nuevo material que cambiaría la industria de la construcción: el cemento portland; a la par también se fueron desarrollando los primeros polímeros entre los que destacan el celuloide, empleado en la industria fotoGráfico, la baquelita que es un compuesto fenólico (FP) y el PVC; todos ellos de manera muy limitada. Es a partir de la década de 1940 que estos materiales plásticos empiezan a producirse de forma industrial por lo que su uso llega a ser popular en las diferentes industrias, siendo una de ellas la construcción (Bilurbina, 1990).

En los años 50, se empiezan a fabricar y emplear morteros y concretos poliméricos, siendo uno de los países impulsores la URSS mediante sus Institutos de la Academia Soviética de Construcción y Arquitectura, donde se enfocaron en desarrollar concreto con resinas furánicas con fines antiabrasivos y anticorrosivos, sobretudo en la protección de obras hidráulicas (Davydov, 1958). En los años posteriores, los soviéticos siguieron con las investigaciones de morteros y concretos con polímeros que poseían como material ligante a resinas furánicas, como figura en la publicación de Gosstroj en 1970.

Paralelamente, en el resto del mundo, destacando países como Francia y Estados Unidos, también se obtuvieron resultados exitosos en el desarrollo de concretos y morteros con polímeros, originando que en 1967 se convoque a la primera Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos de Materiales (RILEM por sus siglas en francés) sobre el uso de resinas sintéticas en la construcción.

Los trabajos en los Estados Unidos, durante los años 1967 y 1972, fueron apoyados por instituciones como el BNL (*Brookhaven National Laboratory*) y el USBR (*United States Bureau of Reclamation*), obteniendo resultados sobre la adición de resinas poliméricas a concretos y morteros convencionales, así como la sustitución del cemento portland por dichas resinas, es decir trabajos en morteros no convencionales. Es en el año 1971, que el American Concrete Institute (ACI) forma el Comité 548 "Polymers in Concrete" ante el creciente uso de las resinas poliméricos en el concreto y mortero, y durante los tres años posteriores se realizan diversas reuniones para revisar estos temas.

En 1975, se desarrolla en Gran Bretaña el Primer Congreso Internacional sobre los Polímeros en el Concreto (*International Congress of Polymers in Concrete – ICPC*) repasando los trabajos realizados hasta la fecha y acordando que la periodicidad de dicha celebración sea cada tres años (Dikeou, 1975).

En los años posteriores, se realizaron diversas investigaciones, estudios y publicaciones sobre el desarrollo de los concretos y morteros poliméricos, abarcando temas como el uso de duroplastos (Bilurbina, 1990), el uso de resinas fenólicas y aminofenólicas (Gould, 1959 y Valle, 1964), el uso de resinas furánicas (Delmonte, 1969), el uso de epoxis (ACI, 1968; Fernández, 1981), el uso de poliésteres no saturados (Lawrence, 1960 y Boening, 1981) o su aplicación en la construcción (Ohama, 190-1987; Fowler, 1981; Aguado, 1984; Dickeou, 1987 y Hollaway, 1993).

Es importante mencionar que también existe bibliografía que aborda como tema específico a los morteros y concretos poliméricos como Martineaux, 1987; Feldman, 1989; Gay, 1991 y Hollaway, 1993.

2.4.3 Productos actuales

Dadas las ventajas que los morteros y concretos poliméricos poseen sobre las mezclas convencionales, como las altas resistencias a ataques químicos, a la abrasión y al impacto; las buenas propiedades mecánicas; la excelente adherencia a otros concretos o morteros y el curado acelerado (Chawalwala, 1996) y aun considerando los costos relativamente altos de las resinas, es que diversas empresas a largo del mundo se han propuesto la tarea de expandir la fabricación, producción, difusión, empleo y venta de los morteros poliméricos apuntando al campo específico de la albañilería, logrando buenos resultados en Europa y América Latina.

Los productos generalmente se comercian de manera que los materiales están listos para usarse y del mismo modo presentan fichas técnicas que avalan las propiedades que ofrecen; del mismo modo, varios de estos productos siguen en proceso de aceptación por el mercado por lo que su distribución es un poco limitada. A continuación, se presentan los productos más resaltantes en el mercado local y una breve descripción de los mismos.

2.4.3.1 Pegablock

Es un mortero polimérico industrial para asentamiento de unidades de albañilería que posee dos presentaciones para el público, una húmeda que viene en envases listos para aplicarse sobre los ladrillos y otra seca, que necesita de la adición de agua en obra para su posterior aplicación, cabe mencionar que esta última es la empleada en la presente investigación. Este es el primer mortero polimérico para asentamiento de unidades de albañilería fabricado en el Perú, ello por la empresa peruana Delko Industrial S.A.C., quien se encarga de la obtención y dosificación de los insumos, la fabricación del mortero y su distribución a lo largo del país.

Composición

El mortero polimérico Pegablock está compuesto por copolímeros, resinas poliméricas y fillers minerales (partículas entre 0.04 mm y 2.60 mm de dimensión) en su presentación seca, mientras que para la presentación húmeda estos componentes son mezclados con agua y aditivos.

Propiedades

Las principales especificaciones que posee este mortero polimérico, son:

- Densidad : 1.80 gr/cm³ (húmedo) y 2.50 gr/cm³ (seco).
- Consistencia : Pastosa altamente viscosa.
- Color : Blanco humo.
- Olor : Polímero.
- Temperatura : 20 °C.
- Valor del pH : 8.5.
- Presentación : Bolsas de 3 kg (húmedo) y Sacos de 40 kg (seco).

Características

La mayoría de morteros poliméricos empleados para el asentamiento de unidades de albañilería poseen similares características entre sí. A continuación, las más resaltantes:

- ❖ Mortero premezclado y de doble presentación. En la presentación húmeda (Figura N°2.21a), no es necesaria la adición de agua pues el material se

encuentra listo para su uso. Por otro lado, en la presentación húmeda (Figura N°2.21b), es necesario agregar una cantidad de agua recomendada por el proveedor (15% a 18% del peso seco de la mezcla).

- ❖ Facilidad en la preparación de la mezcla seca y en la posterior aplicación de ambas presentaciones del mortero, incrementando notablemente la productividad en el asentamiento de muros y reduciendo tiempos transporte, mezcla, limpieza, esperas, etc.
- ❖ Reducción notable de la carga sobre la estructura y las fundaciones. Aproximadamente existe una disminución de 28 kg por cada metro cuadrado de albañilería.
- ❖ Disminución en el consumo de material de junta para el asentado, por ello y la aplicación directa, se reduce la cantidad de desperdicios.
- ❖ Reducción de costos por ahorros en materiales y mano de obra.
- ❖ Ecológicamente amigable con el medio ambiente, dado que se disminuye la huella de carbono emitida en la producción de cemento.
- ❖ No necesita curado.
- ❖ Es recomendable su uso en unidades de albañilería uniformes en dimensión, las cuales deben de estar completamente libres de humedad y sustancias nocivas (polvo, grasas, etc).
- ❖ Ante la falta de suficientes ensayos y certificaciones, no se recomienda su uso en albañilería estructural (muros portantes).

Aplicación

En el caso de adquirir el mortero polimérico Pegablock en la presentación seca, es necesario agregar la cantidad de agua especificada para poder obtener la pasta húmeda y trabajable. Tras ello, para ambas presentaciones la aplicación se da mediante un contenedor plástico con punta directamente sobre las superficies de asiento de las unidades de albañilería, se recomienda la aplicación de dos hiladas como mínimo y con un diámetro de 1 cm aproximadamente (Figura N°2.21c). Es necesario que las unidades de albañilería posean dimensiones uniformes y se encuentren niveladas, aplomadas y completamente libres de humedad y sustancias nocivas, como el polvo o la grasa. Del mismo modo, se recomienda que, en la primera hilada de los muros, se empleen morteros cementicio con la finalidad de garantizar una buena nivelación en las hiladas superiores.



Figura N° 2.21 a) Envase de presentación húmeda del mortero polimérico Pegablock; b) Envase de presentación seca del mortero polimérico Pegablock; c) Aplicación de mortero polimérico Pegablock

2.4.3.2 Massa Dun Dun

Mortero polimérico industrial y de presentación húmeda que posee regular aceptación en el mercado peruano. Este mortero es fabricado en Brasil por la empresa Grupo FCC Indústria e Comércio Ltda., de donde se exporta a varios países de la región. En el caso del Perú, la empresa Comercial Conte S.A.C. es la que exporta el producto para su distribución.

Composición

Este mortero está compuesto por termopolímeros, resinas poliméricas, áridos minerales de partículas entre 0.02 mm y 3.36 mm de dimensión, aditivos y biocidas. Las proporciones se presentan en la Tabla N° 2.4:

Tabla N° 2.4 Composición del mortero polimérico Massa Dun Dun (Grupo FCC)

Material	Porcentaje (%)
Termopolímeros	1.0 - 20.0
Resinas Poliméricas con Aditivos	0.0 - 20.0
Áridos Minerales (0.02 mm - 3.36 mm)	60.0 - 90.0
Biocidas	0.1 - 8.0

Especificaciones

Dentro de las principales especificaciones se pueden resaltar:

- Densidad : 1.85 gr/cm³.
- Color : Gris claro.
- Consistencia : Pastosa.
- Temperatura : 4 °C – 40 °C.
- Resistencia Final : A 72 horas de la aplicación.
- Presentación : Bolsas de 1.5 kg, 3 kg y 10 kg.

Características

Como se había mencionado, las características para los morteros poliméricos para asentamiento de ladrillos son similares. En la siguiente lista, algunos de ellas:

- ❖ Premezclado industrialmente y de presentación húmeda (incluye agua), por lo que viene “listo para utilizarse”, es decir que no necesita la adición de algún otro material (Figura N°2.22a).
- ❖ Mortero de fácil aplicación por lo que la productividad de asentamiento en los muros se ve elevada.
- ❖ Disminución de peso estructural debido a la baja densidad en comparación a morteros de cemento.
- ❖ Menor consumo de material de junta en el asentado (entre 1.45 kg/m² y 3.67 kg/m²), por ello y aunado a la aplicación directa, se reduce la cantidad de desperdicios.
- ❖ Reducción de costos por ahorros en materiales y mano de obra.
- ❖ El tiempo de secado va desde las 6 horas hasta las 72 horas, en la cual adquiere la resistencia final.
- ❖ No necesita curado.
- ❖ Se recomienda su uso con unidades de albañilería uniformes en dimensión, las cuales deben de estar completamente libres de humedad y sustancias extrañas (polvo, grasas, etc).
- ❖ Dado que no existen las suficientes pruebas y certificaciones, no se recomienda su uso en albañilería estructural.

Aplicación

La forma de aplicación de la Massa Dun Dun es similar a la del mortero polimérico anteriormente descrito. Deben de aplicarse dos hiladas de mortero con un diámetro aproximado de 1 cm sobre la superficie horizontal superior de las unidades de albañilería, las cuales deben de poseer dimensiones uniformes, estar niveladas, aplomadas y completamente libres de humedad y sustancias extrañas (Figura N°2.22b). Se recomienda que la primera hilada de los muros, se realicen con morteros cementicio ello para garantizar la nivelación de las hiladas superiores.



Figura N° 2.22 a) Envases de presentación de mortero polimérico Massa Dun Dun;
b) Aplicación de mortero polimérico Massa Dun Dun

2.4.3.3 Otras marcas

Tanto en el mercado peruano como en el mundial, existen otras marcas distribuidoras de morteros poliméricos para distintos usos, desde asentamiento de unidades de albañilería, reparaciones, revestimientos e impermeabilizaciones.

A continuación, se presentan algunas marcas que también destacan según el uso que se le da al mortero polimérico.

- **Asentamiento de unidades de albañilería:** Mortero polimérico Argamassa para Bloco (Brasil) y Mortero polimérico Smartop (Brasil).
- **Reparaciones estructurales:** Mortero polimérico Polymortero (Chile) y Mortero polimérico Epothan (Chile).
- **Impermeabilizante:** Mortero polimérico Denvertec (Brasil).

2.5 LA AUTOCONSTRUCCIÓN PERUANA Y LA ALBAÑILERÍA

La autoconstrucción, según la definición brindada por el ITACAB – CONCYTEC (citado en De la Cruz, 2011), es la actividad en la que los propietarios de una edificación son los encargados de la construcción de la misma, incluyendo en el mejor de los casos la asistencia de un maestro o albañil de la zona donde se encuentra dicha vivienda. Esta actividad comprende un conjunto de procesos entre los que están incluidos la gestión, organización de recursos (humanos, materiales, tecnológicos y económicos) hasta la ejecución del proceso constructivo de la edificación, para ello se cuenta con la participación directa del poblador (propietario de la edificación) y los miembros de su familia, aunque ocasionalmente suelen sumarse vecinos, demostrando los lazos de cooperación, solidaridad y ayuda mutua que existe en un grupo de personas con similares necesidades. Cabe mencionar que esta actividad carece de asistencia profesional.

2.5.1 Antecedentes

En el Perú, la autoconstrucción se remonta a las sociedades precolombinas, ello porque la mayoría de culturas pre-incas, entre las que destacan los Chavín y los Mochica, y posteriormente los mismos Incas, construyeron sus edificaciones sin contar con los conceptos actuales de ingeniería que se posee hoy en día, pero sí con conocimientos adquiridos a través de la experiencia (la repetición de procesos a lo largo de los años), ello fue complementado por el sentido de colaboración y organización existente en dichas sociedades, lo cual permitió que las edificaciones se construyeran gracias al esfuerzo de varios pobladores, siendo un ejemplo claro de ello fue el *ayni incaico*, que era un sistema de trabajo basado en la reciprocidad entre los miembros de una familia o grupo cercano de miembros de un mismo *ayllu* (comunidad) destinado a la ejecución de trabajos agrícolas y la construcción de viviendas. Cabe mencionar que, costumbres como el *ayni* han trascendido al tiempo y perduran hasta la actualidad; las cuales, con el pasar de los años, perfeccionaron sus procesos y se expandieron por el territorio nacional, convirtiéndose en uno de los pilares de lo que hoy se denomina “autoconstrucción”.

Hasta mediados del siglo XX, la gran mayoría de las viviendas peruanas se construyeron empleando materiales rústicos como el adobe, la piedra, la quincha

o la madera, bajo el sistema de autoconstrucción. Es a partir de la llegada de materiales como el cemento portland (elemento base para el concreto) y el acero al Perú, así como el desarrollo de la ingeniería civil a nivel mundial, que las viviendas pasan de emplear el sistema de autoconstrucción a tener sistemas estructurales, basados en cálculos y diseños, que aseguran la seguridad de los habitantes de la vivienda; dicho sistema fue expandiéndose progresivamente a lo largo del territorio nacional, ello mediante el apoyo del estado y el mayor acceso a los conocimientos.

Un problema para todos los gobiernos fue el crecimiento demográfico y, por ende, la necesidad de viviendas que ello generaba; para intentar solucionar dicho problema durante los años 1936 y 1939 a través de la Dirección de Obras Públicas del Ministerio de Fomento se creó el programa “Barrios Obreros”, que permitió la construcción de cuatro conjuntos habitacionales en las zonas periféricas de Lima (zonas de expansión). El éxito de este programa no fue el esperado, dado que existía una deficiencia en el equipamiento necesario y que no se contaba con un sistema de conexión adecuado entre dichos puntos y la ciudad, sirviendo como una de las primeras experiencias fallidas para solucionar la escasez de viviendas.

Durante los años posteriores ocurrieron grandes cambios políticos y económicos tanto a nivel mundial, por el desarrollo de la Segunda Guerra Mundial, como a nivel nacional, por los efectos que trajo la guerra en el país, la concentración poblacional en las ciudades capitales y el posterior desarrollo de la industria en las mismas, contrario a lo que ocurría en el campo donde las oportunidades de crecimiento eran mínimas; ello trajo consigo que se iniciara un acelerado proceso de migración de personas desde zonas rurales hacia dichas ciudades.

Durante las décadas del 40 y 50, fue numerosa la cantidad de familias que migraron hacia las ciudades con ansias de buscar mejores oportunidades, todas ellas se enfrentaron al problema del déficit de viviendas. Ante la necesidad de adquirir un terreno o vivienda propia, los migrantes vieron en las *invasiones* la oportunidad de satisfacer este déficit; es así que cientos de familias se organizaron para formar *asociaciones* las cuales, tras realizar invasiones a grandes terrenos, lograban apoderarse de los mismos tras recibir apoyo de los políticos de la época y realizar diversas gestiones judiciales, instalando posteriormente viviendas precarias, siendo la mayoría de esteras y palos. A este conjunto de grandes

cantidades de viviendas construidas con el esfuerzo de los propios pobladores y sin asistencia técnica ni económica por parte del Estado, se les denominó “barriadas”, las cuales fueron el reflejo de la falta de políticas de desarrollo y descentralización.

El gobierno intentó mitigar estos problemas mediante la ejecución de proyectos a través de la Corporación y el Instituto de la Vivienda, ello mediante licitaciones públicas para la habilitación urbana con construcción de viviendas simultáneamente y la “Autoconstrucción Asistida” para programas de vivienda en lotes de servicio. Al igual que los intentos de gobiernos anteriores, estos esfuerzos no fueron suficientes dado que las décadas posteriores demostraron que la autoconstrucción fue el sistema más empleado para construir una vivienda.

Durante las últimas seis décadas, la sociedad peruana se ha caracterizado por una fuerte tendencia a la urbanización, ello sustentado en la constante redistribución poblacional en el territorio. Los flujos migratorios, como el ocurrido entre las décadas del 80 y el 90 a causa del azote del terrorismo en el interior del país o el de las últimas dos décadas por una búsqueda de mejorar la calidad de vida, se han reflejado a través del acelerado crecimiento de la población en áreas urbanas y en un escaso crecimiento de la población de las áreas rurales; fenómeno que a su vez ha acrecentado el déficit de viviendas e incrementando el número de viviendas autoconstruidas (De la Cruz, 2011).

2.5.2 El problema de la autoconstrucción en el Perú

La mayoría de viviendas ubicadas en las zonas con bajos ingresos de la capital, han iniciado como construcciones provisionales de madera, esteras, adobe u otro material. Es con el pasar del tiempo y la adquisición de un poco de ingresos, que los propietarios deciden construir una vivienda de “material noble”, capaz de brindarles una sensación de mayor seguridad; para ello, generalmente, valoran la experiencia y contratan los servicios de un maestro o albañil del sector para el inicio de la construcción de sus viviendas, aunque en algunos casos son ellos mismos quienes realizan los trabajos tras la adquisición de un poco de experiencia en el sector construcción.

Estas viviendas emplean para su construcción materiales tradicionales como el cemento, agregados, unidades de albañilería, acero de construcción y agua; y poseen como configuración estructural el sistema característico de la albañilería confinada, que, en la práctica, se emplea de forma incorrecta, lo cual trae consigo que estas viviendas autoconstruidas e informales presenten diversos problemas tanto por el diseño como por el proceso de construcción.

De la Cruz (2011), plantea que los principales factores causantes de problemas en las viviendas autoconstruidas, son los siguientes:

- Falta de planos para la construcción.
- Ausencia de asistencia técnica por parte de un ingeniero civil.
- Uso de materiales de baja calidad.
- Insuficiencia de recursos económicos.
- Participación de mano de obra no calificada.

Del mismo modo, existen problemas derivados de ejecutar deficientes procesos constructivos. A continuación, se muestran los principales:

Problemas en la cimentación

- Cimentación deficiente en ladera (estructural).
- Cimentación sin refuerzo en ladera (estructural).
- Cimentación con piedras muy grandes (estructural).
- Cimentación con acero en corrosión (no estructural).

Problemas en muros de albañilería

- Muros laterales de ladrillos pandereta (estructural).
- Muros con ladrillos disparejos (estructural).
- Muros con fisuras (estructural).
- Muros sin confinamientos (estructural).
- Muros debilitados por tuberías (estructural).
- Muros portantes de ladrillos panderetas (estructural).
- Ausencia de junta sísmica (estructural).
- Intersección deficiente entre muros (estructural).
- Ventanas con vanos muy grandes (estructural).

Problemas en columnas

- Deficiente confinamiento entre columna y muro (estructural).
- Columnas con sección variable (estructural).
- Discontinuidad de columnas (estructural).
- Junta de construcción inadecuada (estructural).
- Columnas con alturas inapropiadas (estructural).
- Columnas con tuberías en el interior (estructural).
- Columnas con fisuras y grietas (estructural).
- Grietas en uniones viga-columna (estructural).
- Vaciado de concreto deficiente (estructural).
- Mala dosificación en el diseño del concreto (estructural).
- Columnas con concreto de sobrecimiento (estructural).
- Longitudes de empalme menores en acero de columnas (estructural).
- Protección deficiente del acero en columnas (no estructural).
- Columnas con acero en corrosión (no estructural).

Problemas en vigas, losas y escaleras

- Vigas discontinuas (estructural).
- Vigas con mala ubicación (estructural).
- Vigas partidas (estructural).
- Vigas con tuberías en el interior (estructural).
- Dinteles de ladrillo (estructural).
- Vigas y viguetas con cangrejeras (no estructural).
- Vigas con acero en corrosión (no estructural).
- Vigas con longitud de recubrimiento menor (no estructural).
- Losas aligeradas sin refuerzo en viguetas (estructural).
- Losa de techo con ladrillos deficientes (estructural).
- Losas con sobrecarga (estructural).
- Losas sin vigas soleras (estructural).
- Escaleras con acero descubierto (no estructural).

CAPÍTULO III: NORMAS Y PROCEDIMIENTOS APLICABLES

En este capítulo se describe el marco normativo que define los procedimientos, ensayos y la información necesaria para clasificar los materiales utilizados, tanto individualmente (unidades de albañilería, agregado y morteros) como en conjunto (prismas y muretes de albañilería). Del mismo modo, se presentan los parámetros límites y obligatorios para establecer que los materiales utilizados se puedan considerar como aptos.

Se establece la Norma Técnica de Edificación E.070 de Albañilería como la norma principal, las normas peruanas necesarias para el análisis de agregados, cementos y unidades de albañilería y algunas normas técnicas de países de la región, como complementarias.

3.1 NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070: ALBAÑILERÍA

Esta norma forma parte de las normas vigentes del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y no cuenta con modificaciones desde el año 2006. En ella se mencionan las definiciones relativas a la albañilería y se especifican los requerimientos y condiciones mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, la inspección y el control de calidad de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y muros armados (NTE E.070, 2006).

Como parte del contenido de la norma se muestran las pruebas necesarias, las cuales están asociadas a otras normas técnicas, para determinar la clasificación de las unidades de la albañilería, explicar el procedimiento de preparación del mortero y el cumplimiento de las condiciones necesarias de sus componentes, establecer los requisitos para el acero utilizado en la construcción de edificaciones de albañilería y, por último, determinar la resistencia de los prismas de albañilería.

A continuación, se desarrollarán los procedimientos según la normativa correspondiente especificada en la NTE E.070 Albañilería, asociados a los componentes de la albañilería y a los prismas obtenidos con ellos.

3.2 NORMAS APLICABLES A LOS COMPONENTES DE LA ALBAÑILERÍA SEGÚN LA NTE E.070

Dentro de los componentes de la albañilería que se mencionan en la NTE E.070 figuran la unidad de albañilería, el mortero, el concreto líquido o grout, el acero de refuerzo y el concreto, siendo los principales la unidad de albañilería y el material ligante, que en el caso más común es el mortero; es por ello, que en esta investigación se hará hincapié en las pruebas necesarias para dichos componentes.

3.2.1 Unidad de la Albañilería

La clasificación de las unidades de albañilería para efectos de diseño estructural depende de las características que presentan dichas unidades, las cuales están definidas por su variación dimensional, el alabeo que presentan y la resistencia característica a la compresión. Cada una de estas propiedades y sus procedimientos de cálculo se expresan en distintas normas técnicas, los cuales fueron cumplidos a cabalidad para la realización de esta investigación.

3.2.1.1 Variación Dimensional (NTP 399.613:2017 y NTP 399.604:2002)

Esta propiedad permite encontrar el porcentaje de variación entre las dimensiones de largo, ancho y altura de una unidad respecto a las indicadas por el fabricante. Dicha propiedad es importante dado que permite determinar el espesor de las juntas de mortero, pues una variación significativa de este podría afectar a la resistencia a la compresión y corte del elemento de albañilería.

- **Procedimiento:**

1. Se registran cuatro medidas por cada una de las dimensiones (largo, ancho y altura) de la unidad de albañilería con aproximación de 1 mm, consideradas desde los puntos medios de los bordes límites de la cara a evaluar. Se registra como el valor de cada dimensión (Largo: L_p , Ancho: A_p y Altura: H_p) al promedio de las cuatro medidas con aproximación de 0.5 mm.
2. Se registran las dimensiones especificadas por el fabricante con las denominaciones de Largo: L_e , Ancho: A_e y Altura: H_e .

- **Cálculo:**

La forma de calcular la variación dimensional (VD) está determinada por las siguientes expresiones:

a) Largo: $VD_L = \frac{(L_e - L_p)}{L_e} \times 100\%$

b) Ancho: $VD_A = \frac{(A_e - A_p)}{A_e} \times 100\%$

c) Altura: $VD_H = \frac{(H_e - H_p)}{H_e} \times 100\%$

- **Equipos:**

Vernier o calibrador con escala de 25 mm a 300 mm o regla de acero graduada de 30 cm.

3.2.1.2 Alabeo (NTP 399.613:2017)

Si una unidad de albañilería presenta en las superficies de sus lados una curvatura, sea ésta cóncava o convexa, puede ocasionar que las juntas horizontales o verticales presenten vacíos lo cual conlleva a su vez que la adherencia entre el ladrillo y el mortero se vea afectado; es por ello que es importante determinar el alabeo que presentan las unidades de albañilería, para ello se utilizan los procedimientos descritos en la NTP 399.613 para ensayos de ladrillos usados en albañilería.

- **Procedimiento:**

1. Se seleccionan diez unidades y se limpia el polvo o partículas adheridas a las superficies con una brocha pequeña.
2. Dado que las superficies pueden presentar concavidad o convexidad, la forma de medir el alabeo es distinta en cada caso.

Caso I: Medición de Concavidad

Se coloca una varilla de borde recto o regla metálica longitudinal o diagonalmente sobre la superficie a ser medida. Bajo dicho instrumento se introducirá la cuña metálica milimetrada con la intención de ubicar la mayor distancia entre la superficie y la varilla o regla metálica (Figura N° 3.1a). Se registrará el valor de la distorsión cóncava con una aproximación de 1mm.

Caso II: Medición de Convexidad

Se coloca la varilla de borde recto o la regla metálica sobre la diagonal de la superficie del ladrillo. Dada la convexidad de dicha superficie, es necesario el uso de dos cuñas metálicas en los vértices diagonalmente opuestos que generen que la varilla o regla metálica quede apoyada en un punto de la diagonal (Figura N° 3.1b). Se busca que la medida en ambas cuñas sea de la misma magnitud para tomar dicho valor como medida de la distorsión convexa, la cual se registrará con aproximación de 1 mm.

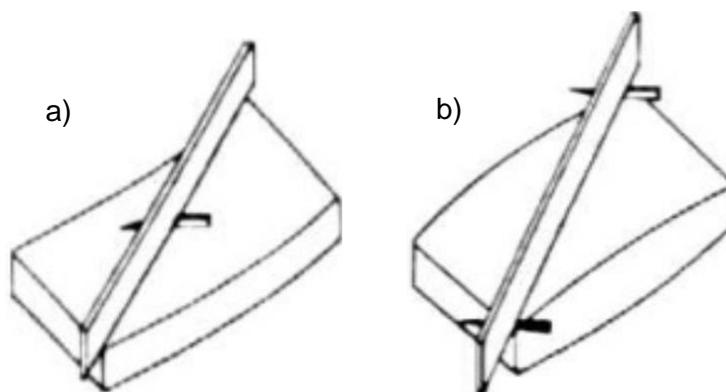


Figura N°3.1 Medición del alabeo en unidades de albañilería: a) Medición de la concavidad; b) Medición de la convexidad

- **Equipos:**

1. Regla metálica graduada al milímetro o varilla de acero de borde recto.
2. Cuñas metálicas milimetradas.

3.2.1.3 Absorción (NTP 399.613:2017 y NTP 399.604:2002)

La permeabilidad es una propiedad importante en las unidades de albañilería, dado que cuando se construye un elemento de albañilería, éstas estarán en contacto con el mortero mediante todas sus superficies y a su vez, absorberán parte del agua contenida en él, lo cual podría ocasionar problemas en la resistencia del mortero y la adherencia mortero-ladrillo; por ende, es necesario cuantificar cuan permeable es una unidad de albañilería, ello se dimensiona al determinar su capacidad de absorción.

- **Procedimiento:**

1. **Secado:** Se secan cinco especímenes en un horno de 110°C a 115°C, durante por lo menos 24 horas y hasta obtener una variación de $\pm 0.2\%$ del peso tras dos pesadas consecutivas, realizadas con una diferencia de 2 horas.
2. **Enfriamiento:** Tras ello, se dejan enfriar los especímenes por un periodo de 4 horas como mínimo, en una cámara a $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$.
3. Se toman las medidas del peso de cada uno de los especímenes.
4. **Saturación:** Los especímenes se sumergen parcialmente en agua fría, por un tiempo inicial de 5 horas y luego hasta completar 24 horas, donde se retiran, se limpia el agua superficial de las unidades y se pesan dentro de los 5 minutos siguientes a la extracción.

- **Cálculo:**

La absorción de cada espécimen se determina mediante:

$$\text{Absorción \%} = \frac{(W_s - W_d)}{W_s} \times 100\%$$

Donde

W_s : Peso seco del espécimen, expresado en g.

W_d : Peso saturado del espécimen tras la sumersión en agua fría, expresado en g.

- **Equipos:**

Balanza calibrada.

3.2.1.4 Resistencia Característica a la Compresión (NTP 399.613:2017 y NTP 399.604:2002)

Para determinar el esfuerzo máximo que soporta una unidad de albañilería al recibir una fuerza de aplastamiento, es necesario evaluar la resistencia a la compresión de dicha unidad.

Es importante mencionar que, dado que la resistencia a la compresión puede verse alterada por factores como la altura del ladrillo o el material de refrendado,

los valores obtenidos darán una idea de la calidad y durabilidad del espécimen ensayado.

El procedimiento a seguir varía mínimamente según el tipo de unidad de albañilería:

Unidad de Albañilería de Arcilla (NTP 399.613:2017)

- **Procedimiento:**

1. **Secado:** Se secan los especímenes a ensayar en un horno de 110°C a 115°C, durante por lo menos 24 horas y hasta que se obtengan una variación de $\pm 0.2\%$ del peso tras dos pesadas consecutivas, que se realizan con una diferencia de 2 horas.
2. **Enfriamiento:** Tras el secado se dejan enfriar los especímenes por un periodo de 4 horas como mínimo, en una cámara a $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$.
3. Se obtienen las medidas promedio de las tres dimensiones de los especímenes de prueba (largo, ancho y altura), tras realizar cuatro mediciones por cada dimensión.
4. **Refrendado:** Existen dos métodos para refrendar los especímenes, el primero utiliza una combinación de azufre - materiales granulares, mientras que el segundo, que es el más utilizado, requiere de una mezcla de yeso - cemento - agua en proporciones de volumen de 1:2:2, la cual se extiende en las superficies de apoyo de las unidades con la finalidad de nivelarlas. El espesor promedio del refrendado no debe de exceder los 3.2 mm y se debe de realizar al menos 2 horas antes de realizar el ensayo de los especímenes.
5. **Ensayo:** Se ensayan los especímenes utilizando una máquina de compresión calibrada que satisfaga lo especificado en la norma ASTM E 4.

Se coloca una plancha metálica como soporte de espesor de 1" en la parte inferior de la unidad a ser ensayada y otra del mismo espesor sobre la superficie superior. Posteriormente, se coloca el conjunto de elementos bajo el centro de la máquina de ensayo, para luego ajustar el cabezal de la misma sobre la plancha superior con la finalidad de

asegurar una posición donde se mantengan alineados el centro de la superficie del espécimen y el centro del cabezal de la máquina.

Se aplica la carga con cualquier velocidad hasta alcanzar la mitad de la máxima carga esperada y posterior a ello, se adecua la velocidad de tal manera que el resto de la carga sea aplicada entre uno y dos minutos. La carga de falla o rotura se registra como la carga de compresión máxima.

- **Cálculos:**

La resistencia a la compresión del espécimen está dada por el cociente de la carga máxima de falla o rotura y el área bruta promedio de las superficies de contacto de la unidad.

$$f'_b = \frac{P}{A}$$

Donde

f'_b : Resistencia a la compresión, expresada en kg / cm².

P : Máxima carga o carga de falla o rotura registrada durante el ensayo, expresada en kg.

A : Área bruta promedio del espécimen, obtenido promediando las áreas de las superficies de contacto, tanto inferior como superior, expresada en cm².

Se obtiene una resistencia a la compresión promedio (f'_b) de los especímenes ensayados y se calcula la desviación estándar (DE) considerando:

$$DE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (f'_{bi} - f'_{bp})^2}{n - 1}}; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde

f'_{bi} : Resistencia a la compresión individual de cada ensayo, expresada en kg / cm².

f'_{bp} : Resistencia a la compresión promedio de todos los ensayos, expresada en kg / cm².

DE : Desviación estándar, expresada en kg / cm².

Finalmente, la resistencia característica de la unidad de albañilería (f'_{bc}) se obtiene disminuyendo en una vez la desviación estándar (DE) a la resistencia a la compresión promedio (f'_{bp}).

$$f'_{bc} = f'_{bp} - DE$$

- **Equipos:**

1. Horno ventilado.
2. Regla metálica milimetrada.
3. Mesa nivelada.
4. Bandeja para elaboración de mezcla de refrendado.
5. Planchas metálicas de soporte de 1" de espesor con una superficie mayor a la de los especímenes.
6. Máquina de compresión calibrada (Máquina universal).

Unidad de Albañilería de Concreto (NTP 399.604:2002)

- **Procedimiento:**

1. **Secado:** A diferencia de las unidades de arcilla, los especímenes de concreto no deben de ser sometidos a secado en horno, por el contrario, se deben de almacenar en el laboratorio por no menos de 48 horas, a una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa menor a 80%. Se debe verificar que no existan manchas de humedad.
2. **Limpieza:** Se verifica que los especímenes no tengan proyecciones en sus caras y en caso existan, es necesario aserrar dichas prominencias.
3. Tras realizar cuatro mediciones por cada dimensión (largo, ancho y altura), se obtienen las medidas promedio de las mismas.
4. **Refrendado:** Al igual que en las unidades de arcilla, se pueden refrendar los especímenes utilizando la combinación de azufre - materiales granulares, o caso contrario la mezcla de yeso - cemento - agua en proporciones de volumen de 1:2:2, la cual se extiende en las superficies de apoyo de las unidades con la finalidad de nivelarlas. Es importante considerar que el espesor promedio del refrendado no debe ser mayor a 3.2 mm y que el refrendado se debe de realizar al menos 2 horas antes de realizar el ensayo de los especímenes.

5. **Ensayo:** La forma de ensayar los especímenes es similar al caso de las unidades de arcilla, pues la unidad se coloca el espécimen bajo el centro de la máquina conjuntamente a las planchas metálicas.

El ensayo prosigue aplicando la carga a cualquier velocidad hasta alcanzar la mitad de la máxima carga esperada y el resto del ensayo debe alcanzar una velocidad uniforme de tal forma que se alcance la carga de falla o rotura en no menos de un minuto ni más de dos. Finalmente se registra el valor máximo que alcanza la carga.

- **Cálculos:**

La resistencia a la compresión del espécimen está dada por el cociente de la carga máxima de falla o rotura y el área bruta promedio de las superficies de contacto de la unidad.

$$f'_b = \frac{P}{A}$$

Donde

f'_b : Resistencia a la compresión, expresada en kg / cm².

P : Máxima carga o carga de falla o rotura registrada durante el ensayo, expresada en kg.

A : Área bruta promedio del espécimen, obtenido promediando las áreas de las superficies de contacto, tanto inferior como superior, expresada en cm².

Se obtiene una resistencia a la compresión promedio (f'_{bp}) de los especímenes ensayados y se calcula la desviación estándar (DE) considerando:

$$DE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (f'_{bi} - f'_{bp})^2}{n - 1}}; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde

f'_{bi} : Resistencia a la compresión individual de cada ensayo, expresada en kg / cm².

f'_{bp} : Resistencia a la compresión promedio de todos los ensayos, expresada en kg / cm².

DE : Desviación estándar, expresada en kg / cm².

Finalmente, la resistencia característica de la unidad de albañilería (f'_{bc}) se obtiene disminuyendo en una vez la desviación estándar (DE) a la resistencia a la compresión promedio (f'_{bp}).

$$f'_{bc} = f'_{bp} - DE$$

- **Equipos:**

1. Horno ventilado.
2. Regla metálica milimetrada.
3. Bandeja para elaboración de mezcla de refrendado.
4. Planchas metálicas de soporte de 1" de espesor con una superficie mayor a la de los especímenes.
5. Máquina de compresión calibrada (Máquina universal).

3.2.1.5 Porcentaje de Vacíos (NTP 399.613:2017)

Para determinar si un ladrillo es sólido o hueco es necesario conocer la relación entre el área bruta y el área neta de la superficie de asiento del mismo o cualquier sección paralela. En el caso que esta relación sea mayor al 30%, el ladrillo será considerado como una unidad de albañilería hueca y en el caso que sea menor a igual a 30% se le denominará unidad de albañilería maciza. Asimismo, para obtener el área neta del ladrillo es necesario conocer el porcentaje de vacíos de dicha unidad, por lo que para su obtención es necesario cumplir lo detallado en la NTP 399.613:2017.

- **Procedimiento:**

1. Se utiliza una muestra de diez unidades y se limpia el polvo o partículas adheridas a las superficies con una escobilla pequeña.
2. Se miden y registran las dimensiones de cada unidad.
3. En una superficie plana, colocar el espécimen sobre una hoja de plástico resistente y llenar las perforaciones de la unidad de albañilería con la arena y posteriormente nivelar con una varilla de acero de borde recto. Utilizando la escobilla, remover el exceso de arena presente en el plástico.
4. Levantar el espécimen de manera que la arena contenida en las perforaciones caiga sobre el plástico de la base.

5. Depositar la arena del plástico a la balanza, pesar y registrar dicha cantidad con aproximación de 0.5 g.
6. Repetir el procedimiento para cada unidad.
7. Finalmente, llenar una probeta graduada de 1L con una porción de arena hasta que alcance la graduación de 1 L. Colocar dicha arena sobre la balanza, pesar y registrar el peso del volumen considerando una aproximación de 0.5 g.

- **Cálculos:**

Para determinar el volumen de arena contenido en las perforaciones de las unidades, se debe considerar:

$$V_S = \frac{1000}{S_C} \times S_U$$

Donde

- V_S : Volumen de arena contenida en la unidad ensayada, en cm^3 .
- S_C : Peso de 1 L de arena medida en la probeta graduada, en g.
- S_U : Peso de la arena contenida en la unidad ensayada, en g.

Luego, se puede determinar el porcentaje de vacíos (con una aproximación de 1%), utilizando la siguiente expresión:

$$\%V = \frac{V_S}{V_U} \times 100$$

Donde

- V_S : Volumen de arena contenida en la unidad ensayada, en cm^3 .
- V_U : Volumen de la unidad de albañilería (longitud x ancho x altura) en cm^3 .

- **Equipos:**

1. Regla metálica milimetrada.
2. Probeta graduada.
3. Arena limpia y seca (500 ml).
4. Varilla de acero con borde recto.
5. Superficie dura con área mayor a la superficie de asiento (hoja de plástico resistente).
6. Escobilla de cerda suave.
7. Balanza.

3.2.2 Mortero

El comportamiento del mortero como ligante de las unidades de albañilería, al igual que los muros de albañilería, depende en gran medida de las propiedades de sus componentes y de la interacción de los mismos.

Tanto la NTE E.070 como otras normas específicas brindan requerimientos y procedimientos específicos y obligatorios que deben de cumplir los componentes del mortero, así como el mortero como unidad. Por otro lado, los morteros de matriz polimérica no están incluidos en la normativa peruana, más si los morteros modificados con polímeros, que son adaptaciones de las normas de la American Concrete Institute (Normas ACI).

Componentes:

El análisis inicial de los componentes del mortero, así como el cumplimiento de los requerimientos especificados en las normas son determinantes en las propiedades del mortero como mezcla. Es así que a continuación, se muestran los ensayos empleados en los materiales utilizados para los morteros de esta investigación, cabe mencionar que los componentes del mortero tradicional utilizados para la misma son el cemento Portland, el agregado y el agua.

3.2.2.1 Agregado Fino: Granulometría y Módulo de Fineza (NTP 400.012:2013), Peso Unitario Suelto, Peso Unitario Compactado y Contenido de Humedad (NTP 400.017:2011), Peso Específico y Porcentaje de Absorción (NTP 400.022:2013).

Como está especificado en la NTE E.070, el agregado requerido para el mortero debe ser un agregado fino (arena gruesa natural) cuya granulometría cumpla con la Tabla 3 de la misma y cuyo módulo de fineza se encuentre entre 1.6 y 2.5, cuyos procedimientos se encuentran detallados en la NTP 400.012:2013.

Adicionalmente, para obtener una buena mezcla de mortero, es necesario determinar propiedades adicionales en el agregado fino como el peso unitario suelto, peso unitario compactado, contenido de humedad, peso específico y porcentaje de absorción.

Granulometría (NTP 400.012:2013)**• Procedimiento:**

1. Se toma una muestra de arena con un peso superior a los 3 kg, y se deja secando en un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por no menos de 24 horas.
2. Tras ello, se deja enfriar el material y para luego proceder a seleccionar 600 gr mediante el método del cuarteo.
3. Se seleccionan los tamices adecuados y se colocan en orden descendente según el tamaño de las aberturas. Tras ello se colocan los tamices sobre el agitador mecánico y se aseguran.
4. Dicha muestra de arena se coloca sobre los tamices y se procede con el agitado de los tamices por un período de 1.5 min.
5. Finalmente se determina el peso retenido por cada malla y el fondo, siendo cuidadosos de considerar todo el material de cada tamiz, se puede utilizar un cepillo para limpiar las aberturas de los tamices más pequeños.

• Cálculos:

Se puede determinar el porcentaje retenido acumulado o caso contrario el porcentaje que pasa correspondiente a cada tamiz. Dichos porcentajes son respecto al peso inicial de la muestra (600 gr).

Los valores obtenidos serán comparados con los mostrados en la Tabla 3 de la NTE E.070 (Tabla N° 3.1) y de ser necesario se puede obtener la Curva Granulométrica al graficar dichos valores.

Tabla N° 3.1 Granulometría para la arena gruesa (NTE E.070)

Malla ASTM	% que pasa
N° 4 (4.75 mm)	100.0
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

- **Equipos:**

1. Balanza electrónica.
2. Tamices (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y Fondo).
3. Agitador mecánico de tamices.
4. Horno ventilado.
5. Cepillo de cerdas suaves.

Módulo de Fineza (NTP 400.012:2013)

- **Cálculo:**

Para el cálculo se consideran los porcentajes obtenidos para la granulometría. El módulo de fineza se obtiene de la expresión:

$$M.F. = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acum. en tamices } (3''+1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Peso Unitario Suelto - P.U.S. (NTP 400.017:2011)

- **Procedimiento:**

1. En una balanza electrónica, se pesa el recipiente metálico de 1/10 pie³ de volumen.
2. Se toma una muestra lo suficientemente considerable del agregado, aproximadamente el 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente de 1/10 pie³ y se seca en el horno por no menos de 24 horas.
3. Tras el enfriamiento de la muestra, se realiza el procedimiento de cuarteo.
4. Haciendo uso de una lampa o un badilejo, se llena el recipiente considerando que la altura a la que se deja caer el material es a 5 cm del nivel superior del recipiente.
5. Se elimina el exceso de material, enrasando la parte superior del recipiente utilizando una varilla metálica.
6. Finalmente, se pesa el recipiente con el material suelto.

- **Cálculo:**

Para determinar el peso unitario suelto (P.U.S) del agregado fino se utiliza la siguiente expresión:

$$P.U.S = \frac{(W_{ms} + W_r) - W_r}{V}$$

Donde

$P.U.S$: Peso Unitario Suelto del agregado fino, en kg/m^3 .

W_r : Peso del recipiente limpio y seco de $1/10 \text{ pie}^3$, en kg.

W_{ms} : Peso del agregado fino en estado suelto, en kg.

V : Volumen del recipiente de $1/10 \text{ pie}^3$, expresado en m^3 .

- **Equipos:**

1. Balanza electrónica con aproximación de 0.1g.
2. Varilla lisa de 5/8" de diámetro, 60 cm de longitud y con punta roma.
3. Recipiente metálico de $1/10 \text{ pie}^3$ de volumen.
4. Horno ventilado.
5. Pala (lampa) y/o badilejo.

Peso Unitario Compactado - P.U.C (NTP 400.017:2011)

- **Procedimiento:**

1. El procedimiento, inicialmente es similar al cálculo del peso unitario suelto. Es así que para los cálculos se considera el peso del recipiente metálico de $1/10 \text{ pie}^3$ de volumen calculado anteriormente.
2. La muestra de agregado tomada debe ser lo suficientemente considerable (entre 125% y 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente metálico), y esta debe ser secada en el horno.
3. Se continúa con el procedimiento de cuarteo para luego proseguir con el llenado del recipiente.
4. Utilizando una lampa o un badilejo se llena el recipiente dejando caer el material desde una distancia de 5 cm del borde del recipiente. El llenado se realiza en 3 capas y en cada una de ellas se debe de realizar 25 golpes concéntricos con la varilla metálica.
5. Tras llenar el recipiente se debe enrasar el nivel superior, quitando el material sobrante con la varilla.
6. Finalmente, se pesa el recipiente con el material compactado, para obtener el peso del agregado contenido.

- **Cálculo:**

El cálculo del peso unitario compactado (P.U.C) se obtiene de una expresión similar a la mencionada en el ensayo anterior:

$$P.U.C = \frac{(W_{mc} + W_r) - W_r}{V}$$

Donde

$P.U.C$: Peso Unitario Compactado del agregado fino, en kg/m³.

W_r : Peso del recipiente limpio y seco de 1/10 pie³, en kg.

W_{mc} : Peso del agregado fino compactado, en kg.

V : Volumen del recipiente de 1/10 pie³, expresado en m³.

- **Equipos:**

1. Balanza electrónica con aproximación de 0.1g.
2. Varilla lisa de 5/8" de diámetro, 60 cm de longitud y con punta roma.
3. Recipiente metálico de 1/10 pie³ de volumen.
4. Horno ventilado.
5. Pala (lampa) y/o badilejo.

Contenido de Humedad (NTP 400.017:2011)

- **Procedimiento:**

1. Se toma una muestra de 500 g del agregado en estado natural y se seca en un horno por no menos de 24 horas a una temperatura de 110°C ± 5°C.
2. Tras dejar enfriar la muestra, ésta se pesa y se obtiene el peso seco de la muestra.

- **Cálculo:**

El porcentaje de humedad se calcula según la expresión:

$$\% \text{ Contenido de Humedad} = \frac{(W_n - W_{m \text{ seca}})}{W_{m \text{ seca}}} \times 100\%$$

Donde

W_n : Peso de la muestra en estado natural, 500 g.

$W_{m \text{ seca}}$: Peso seco de la muestra, en g.

- **Equipos:**

1. Balanza electrónica con aproximación de 0.1g.
2. Horno ventilado.
3. Badilejo.

Peso Específico (Densidad Relativa) y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino (NTP 400.022:2013)

- **Procedimiento:**

1. Se obtiene una muestra del agregado fino, superior a 1 kg, mediante el método del cuarteo.
2. Dicha muestra se coloca en un recipiente mediano y se satura con agua por un período de 24 h \pm 4h. Considerar que el agua debe cubrir la totalidad de la muestra.
3. Tras ello, se debe eliminar el exceso de agua del recipiente evitando la pérdida de material fino, para luego extender el material sobre una superficie no absorbente (plástico) para dejar secar la muestra a temperatura ambiente. El objetivo de dicha operación es lograr la condición Saturada Superficialmente Seca, la cual también se puede obtener calentando la muestra en una estufa, acelerando el proceso.
4. **Prueba de estado saturado superficialmente seco:** Para obtener este estado, se sigue el Ensayo Provisional de Cono, el cual se describe a continuación:
 - ❖ Se extrae una muestra de 500 g para llenar el molde tronco-cónico y tras ello, con ayuda del apisonador, proporcionar 25 golpes livianos sobre la superficie.
 - ❖ El exceso de agregado se limpia y se prosigue levantando el molde cónico de forma vertical.
 - ❖ De acuerdo a la forma que adopta la muestra sin el molde, se pueden obtener tres estados:
 - *Húmedo:* El agregado conserva la forma del molde, indicando que aún se tiene humedad existente, por lo que es necesario seguir calentando la muestra.
 - *Seco:* El agregado se desmorona en su totalidad, indicando que la muestra ha sobrepasado la condición superficialmente seca.

Ante ello, se recomienda agregar unos mililitros de agua a la muestra, mezclarla, dejar reposar por unos minutos y repetir el ensayo.

- *Saturado Superficialmente Seco*: El agregado se desmoronará levemente, indicando que la condición adquirida es la correcta.
5. Tras obtenerse esta condición, se procede a introducir 500 g del material, previamente pesados, en una fiola de 500 cc de volumen. Luego se llena de agua la fiola, hasta alcanzar el 90% del volumen. Para garantizar que las burbujas de aire contenidas en la muestra sean eliminadas, se inclina la fiola y se procede a rodar la misma por un tiempo aproximado de 15 minutos.
 6. Luego se deja el recipiente en reposo y se completa el volumen de agua faltante, ello con la intención de obtener el peso del agua introducida a la fiola, con una aproximación de 0.1 g.
 7. Se prosigue extrayendo el material de la fiola a un recipiente para luego dejarlo secando en un horno por no menos de 24 horas.

- **Cálculo:**

Para calcular el Peso Específico, se emplea la siguiente expresión:

$$Pe = \frac{A}{V - W}$$

Donde

- Pe : Peso Específico de masa, en g/cm³.
- A : Peso seco de la muestra, en g.
- V : Volumen de la fiola, en cm³.
- W : Peso del agua agregada a la fiola, en g.

Adicionalmente, utilizando los datos anteriormente calculados se puede obtener el Peso Específico de masa Saturado Superficialmente Seco (en g/cm³), de la siguiente forma:

$$Pe_{SSS} = \frac{500}{V - W}$$

Así como, el Peso Específico Aparente (en g/cm³):

$$Pe_a = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

Finalmente, para calcular el Porcentaje de Absorción del agregado fino se emplea la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$$

Cabe resaltar que los resultados obtenidos se expresan con una aproximación de 0.01 g/cm³.

- **Equipos:**

1. Balanza electrónica con aproximación de 0.1g.
2. Horno ventilado.
3. Fiola (frasco volumétrico de 500 cc de capacidad).
4. Molde tronco cónico, de 40 mm de diámetro superior, 90 mm de diámetro inferior y 75 mm de altura.
5. Apisonador metálico, de superficie plana circular de 25 mm de diámetro en un extremo y peso aproximado de 340 g.
6. Estufa.
7. Embudo y pipeta.

3.2.2.2 Cemento: Requisitos (NTP 334.009:2016)

Según lo especificado en la NTE E.070, el cemento Portland debe cumplir con lo especificado en la NTP 334.009:2016. Dicha norma especifica los requisitos físicos, químicos, métodos de ensayo, condiciones de muestreo, envase y almacenaje que debe cumplir el cemento Portland de cualquier productor.

Las empresas peruanas productoras de cemento, aseguran cumplir con dichos requerimientos, tal como lo indican en sus especificaciones técnicas. Asimismo, organismos fiscalizadores del Estado Peruano, velan por que dichas empresas cumplan los procedimientos establecidos en las normas, con lo que se garantiza la calidad de los mismos.

3.2.2.3 Agua

La NTE E.070 indica que el agua a emplearse para la preparación del mortero debe ser potable y libre de sustancias dañinas (ácidos, álcalis, materia orgánica, etc.)

Diseño de Mortero:

La mezcla proporcional de los componentes, cuyos procedimientos de ensayos se enumeraron anteriormente, dan como resultado al mortero de albañilería.

La NTE E.070 brinda una clasificación para los morteros, dividiéndolos en morteros para muros portantes y para muros no portantes, cada una con rangos de proporciones de volumen en cemento : arena : cal especificadas en la Tabla 4 de la misma norma y antes mostrada en la Tabla N°2.2. Cabe recordar, que la presente investigación se emplea dos proporciones de cemento : arena como mortero patrón, las cuales son 1:4 y 1:5.

3.2.2.4 Proporciones y Elaboración (NTP 399.610:2013)

Adicionalmente a las proporciones indicadas en la Tabla 4 de NTE E.070, se sugieren en la NTP 399.610:2013, algunas proporciones de volúmenes según el tipo de material cementante que podría ser: cemento-cal, cemento de albañilería y cemento de mortero, cuyas combinaciones generan distintos tipos de mortero (M, S, N u O), como se muestra a continuación en la Tabla N° 3.2.

Tabla N° 3.2 Especificación de mortero según proporciones (NTP 399.610:2013)

Aglomerante de Mortero	Tipo	Proporciones por volumen						Agregado (en condición húmeda suelta)	
		Cemento	Cemento de mortero			Cemento de albañilería			
			M	S	N	M	S		N
Cemento - cal	M	1						1/4	
	S	1						1/4 a 1/2	
	N	1						1/2 a 1 1/4	
	O	1						1 1/4 a 2 1/2	
Cemento de mortero	M	1		1				No menos a 2 1/4 y no más que 3 veces la suma de volúmenes separados de materiales cementicios	
	M		1		1				
	S	1/2		1					
	S		1						
	N			1					
Cemento de albañilería	O			1					
	M	1				1			
	S	1/2				1			
	S				1				
	N					1			
O					1				

Esta propuesta se complementa con la Tabla 2, la cual menciona los requisitos o valores que deberían alcanzar algunas propiedades de los morteros antes mencionados (Tabla N° 3.3), los cuales sirven como referencia para las propiedades de los morteros de esta investigación.

Tabla N° 3.3 Especificación de mortero según propiedades (NTP 399.610:2013)

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión MPa (lb/pulg ²)	Retención mínima de agua (%)	Contenido máximo de aire (%)	Agregado (en condición húmeda suelta)
Cemento - cal	M	17.2 (2500)	75	12	No menos a 2 1/4 y no más que 3 veces la suma de volúmenes separados de materiales cementicios
	S	12.4 (1800)		12	
	N	5.2 (750)		14	
	O	2.4 (350)		14	
Cemento de mortero	M	17.2 (2500)	75	12	No menos a 2 1/4 y no más que 3 veces la suma de volúmenes separados de materiales cementicios
	S	12.4 (1800)		12	
	N	5.2 (750)		14	
	O	2.4 (350)		14	
Cemento de albañilería	M	17.2 (2500)	75	18	No menos a 2 1/4 y no más que 3 veces la suma de volúmenes separados de materiales cementicios
	S	12.4 (1800)		18	
	N	5.2 (750)		20	
	O	2.4 (350)		20	

3.2.2.5 Fluides (NTP 334.057:2011)

El ensayo de fluides permite determinar la cantidad idónea de agua para que la muestra de mortero posea una fluides de $110\% \pm 5\%$. El procedimiento para el cálculo de la fluides se encuentra especificado en la NTP 334.057:2011.

Dado que se tienen dos diseños de mortero patrón, es necesario realizar dos veces la prueba para determinar la cantidad de agua necesaria para los diseños.

- **Procedimiento:**

1. Se preparan las muestras de mortero considerando una cantidad definida de agua.
2. Tras limpiar la mesa de flujo, se coloca el molde centralmente y se vierte la mezcla de mortero en dos capas. Utilizando el compactador se proporcionan 20 golpes uniformemente distribuidos en cada capa, para luego retirar el exceso de mortero con una espátula.
3. Utilizando un paño, limpiar el agua de la base del molde y tras un minuto, retirar el molde de forma vertical.

4. Inmediatamente, dejar caer la mesa de flujo 25 veces en 15 segundos.
5. Se registran las medidas de los cuatro diámetros de la plataforma con aproximación de 0.1 mm.

- **Cálculo:**

La fluidez refleja el aumento del diámetro promedio obtenido tras el ensayo, como un porcentaje del diámetro original.

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{d_{\text{prom}} - d_{\text{base}}}{d_{\text{base}}} \times 100$$

Donde

d_{prom} : Promedio de los cuatro diámetros medidos, en mm.

d_{base} : Diámetro inferior de la base del molde, en mm.

En caso de que la fluidez no se encuentre dentro del rango de $110\% \pm 5\%$, se debe de disminuir o aumentar la cantidad de agua para la mezcla de mortero y luego proceder a realizar el ensayo nuevamente.

- **Equipos:**

Los siguientes aparatos deben de cumplir las especificaciones mencionadas en la NTP 334.126.

1. Mesa de Flujo.
2. Molde de Flujo.
3. Calibrador.
4. Compactador.
5. Espátula.
6. Regla metálica o vernier.

3.2.2.6 Peso Unitario (NTP 339.046:2008)

Esta propiedad permite calcular el peso del mortero contenido en una unidad de volumen, el cual normalmente al depender del tipo de agregado y la cantidad de agua puede variar entre los 2000 kg/cm^3 y los 2200 kg/cm^3 . Esta propiedad es empleada para calcular los rendimientos de mezcla de mortero, así como para determinar el contenido de aire de la mezcla. Para determinar su valor es necesario seguir los procedimientos indicados en la NTP 339.046:2008.

- **Procedimiento:**

1. El mortero en estado fresco se deposita en el recipiente de 400 cm³ en tres capas uniformes, cada una a un tercio de la altura del mismo.
2. Haciendo uso de un apisonador se compacta cada capa con 25 golpes uniformemente distribuidos.
3. El material sobrante se retira enrasando la superficie superior, cuidando que el nivel del mortero coincida con el del recipiente.
4. Finalmente, se elimina el material adherido a las paredes externas y se procede a pesar el recipiente.

- **Cálculo:**

El peso unitario del mortero está determinado según la expresión:

$$P.U. = \frac{(W_m + W_r) - W_r}{V}$$

Donde

- $P.U.$: Peso Unitario del mortero en estado fresco, en kg/m³.
 W_r : Peso del recipiente limpio y seco de 400 cm³, en kg.
 W_m : Peso del mortero, en kg.
 V : Volumen del recipiente de 400 cm³, expresado en m³.

- **Equipos:**

1. Balanza electrónica con aproximación de 0.1g.
2. Recipiente metálico de 400 cm³ de volumen.
3. Apisonador metálico.
4. Badilejo.

3.2.2.7 Resistencia a la Compresión (NTP 334.051:2013)

Una de las propiedades que definen la calidad de un buen mortero, es la resistencia a la compresión y es por ello que se debe seguir el procedimiento de la NTP 334.051:2013 para determinar el valor de dicha característica, utilizando especímenes de 50 mm de lado para ser sometidos a pruebas de carga.

Dado que existe una diferencia considerable entre la resistencia de las unidades de albañilería y el mortero que las une, es importante estudiar con cautela esta propiedad pues generalmente las fallas ocurren en las juntas de mortero.

- **Procedimiento:**

1. Se arman los moldes metálicos y se untan los bordes interiores y las bases con una ligera capa de aceite mineral o grasa.
2. Tras preparar las muestras de mortero que cumplan con la fluidez de $110\% \pm 5\%$ (puede utilizarse las proporciones de cemento, arena y agua especificadas en la NTP 334.051), se procede a llenar los moldes metálicos en dos capas de 25 mm y entre cada capa se debe de apisonar la mezcla con 32 golpes adyacentes, los cuales se ejecutan en 4 etapas de 8 golpes cada una. Se debe evitar que exista vacíos en las mezclas.
3. El exceso de mortero en la superficie, se retira con ayuda del badilejo y se procede a cubrir las muestras con un paño húmedo por un período de 24 horas.
4. Transcurridas la cantidad de horas mencionadas, se continúa con el desmoldamiento de los especímenes, los cuales se sumergirán el agua con cal inmediatamente.
5. Los ensayos se realizan con 3 especímenes de la misma edad, como mínimo, y a una frecuencia de 3, 7 y 28 días.
6. Para el ensayo los especímenes deben de estar secos, limpios y con las caras perfectamente planas.
7. Durante el ensayo, el cubo se asegura en la zona central de la máquina y se procede a cargar la misma, con cualquier velocidad hasta la mitad de la carga esperada, para luego regularla hasta que se logre la falla y así obtener la carga máxima.

- **Cálculo:**

La resistencia a la compresión de los cubos de mortero, se encuentra dada por la siguiente expresión:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Donde

f_m : Resistencia a la compresión del espécimen, en kg/cm^2 .

P : Carga máxima donde ocurre la falla, en kg.

A : Área de la superficie de carga, en cm^2 .

- **Equipos:**
 1. Máquina de ensayo: Máquina de compresión Versa-Tester.
 2. Moldes metálicos.
 3. Mezcladora, recipiente y paletas.
 4. Compactador.
 5. Badilejo.
 6. Balanza.
 7. Cámara de curado.

3.3 NORMAS APLICABLES A LOS PRISMAS DE ALBAÑILERÍA SEGÚN LA NTE E.070

Tras mencionar los ensayos y procedimientos necesarios a los que se deben de someter los componentes de la albañilería como unidad, es necesario también que se someta, a la misma rigurosidad, la interacción de dichos componentes.

La NTE E.070, indica que para calcular la resistencia axial y de corte de la albañilería, es necesario elaborar pilas y muretes, respectivamente, para luego ensayarlos; siendo dichos elementos, las unidades mínimas que permiten analizar la interacción entre la unidad de albañilería (ladrillo) y el mortero.

En el Capítulo V de dicha norma se mencionan las especificaciones generales que deben de considerarse para la elaboración, curado, ensayo y determinación de las resistencias de los especímenes, las cuales pueden obtenerse de forma empírica o mediante procedimientos de laboratorio, ello según las condiciones de sismicidad (zona sísmica) y la cantidad de pisos de las edificaciones a construir en las que se evaluará la albañilería.

En el caso de la determinación de las resistencias de forma empírica, es decir que no se hayan realizado ensayos en laboratorio, la norma sugiere los valores expresados en la Tabla N° 3.4, mostrada a continuación.

Tabla N° 3.4 Resistencias características de la albañilería, en MPa (kg/cm²) (NTE E.070)

Materia Prima	Denominación	Unidad f_b	Pilas f_m	Muretes v'_m
Arcilla	King Kong Artesanal	5.4 (55)	3.4 (35)	0.5 (5.1)
	King Kong Industrial	14.2 (145)	6.4 (65)	0.8 (8.1)
	Rejilla Industrial	21.1 (215)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
Sílice - cal	King Kong Normal	15.7 (160)	10.8 (110)	1.0 (9.7)
	Dédalo	14.2 (145)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
	Estándar y Mecano (*)	14.2 (145)	10.8 (110)	0.9 (9.2)
Concreto	Bloque Tipo P (*)	4.9 (50)	7.3 (74)	0.8 (8.6)
		6.4 (65)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
		7.4 (75)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
		8.3 (85)	11.8 (120)	1.1 (10.9)

- El valor f_b se proporciona sobre área bruta en unidades vacías (sin grout), mientras que las celdas de las pilas y muretes están totalmente rellenas con grout de $f'_c = 13.72$ MPa (140 kg/cm²).

- El valor f_m ha sido obtenido contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparece en la Tabla 3.5.

(*) Utilizados para la construcción de Muros Armados.

Por otro lado, para determinar las resistencias mediante ensayos de laboratorio se mencionan, seguidamente, los procedimientos de laboratorio para ensayar las pilas y los muretes de albañilería:

3.3.1 Compresión Axial de Pilas de Albañilería (NTP 399.605:2013)

El primer ensayo sugerido por la NTE E.070 para evaluar la resistencia del conjunto ladrillo – mortero es la compresión axial de pilas de albañilería, en la que mediante la aplicación de una carga paralela al eje del eje del prisma de albañilería se podrá determinar el estado de carga.

Cabe mencionar que para dicho ensayo las pilas deben de contener por lo menos dos unidades de albañilería y poseer una relación alto – espesor (esbeltez) entre 1.3 y 5.0, asimismo las juntas de mortero deben de poseer un espesor representativo y similar al que se empleará en la construcción.

- **Procedimiento:**

1. **Transporte:** Tras la elaboración de los prismas (procedimiento detallado en el Capítulo II – Fundamento Teórico), éstos deben de transportarse hacia el laboratorio de ensayo amarrándolos y protegiéndolos de tal forma que no sufran caídas o golpes.
2. **Medición de Especímenes:** Cuando las unidades hayan llegado al laboratorio, se deben registrar todas las dimensiones de ancho y longitud de las caras superior e inferior, para luego obtener como medidas finales al promedio de las mismas. En el caso de la altura, se toma el promedio de las cuatro caras laterales.
3. **Refrendado:** Las caras superior e inferior de cada prisma deben de refrendarse con un compuesto de azufre o una mezcla de cemento y yeso de alta resistencia (proporción 1:2). El espesor del refrendado no debe de exceder los 3 mm y el ángulo que forme el eje del prisma con las caras refrendadas debe ser un ángulo recto (90°) con una precisión de 1°. Por último, este procedimiento debe realizarse como mínimo 2 horas antes de que se realice el ensayo.
4. **Edad de Ensayo:** Los ensayos deben de realizarse a los 28 días. Pueden realizarse ensayos a los 14 o 21 días de manera que se muestre la evolución de la resistencia de los ensayos.

5. **Ensayo:** Se colocará el espécimen sobre la plancha metálica inferior (plato inferior) de la máquina de ensayo, cuidando que el eje de la máquina este alineado al eje del prisma, posteriormente se colocará la plancha metálica superior (plato superior) y se fijará la posición mediante el ajuste de la rótula superior de la máquina.
Tras ello se debe de aplicar la carga axial al prisma, de tal forma que ésta sea uniforme y continua, permitiendo que el ensayo dure de 3 a 4 minutos.
 6. **Registro:** Se anotará la carga máxima obtenida al final del ensayo y se describirá el estado del prisma, registrando la forma de falla y grietas mediante fotografías o esquemas.
- **Cálculo:**

La resistencia a la compresión axial de los prismas de albañilería (f'_m) está determinada por la siguiente expresión:

$$f'_m = \frac{P}{A} \times t$$

Donde

- f'_m : Resistencia a la compresión axial del espécimen, en kg/cm².
- P : Carga máxima de falla, en kg.
- A : Área bruta de la sección transversal del prisma, en cm².
- t : Factor de esbeltez, que es la relación de entre la altura (hp) y el espesor (tp) del prisma. La NTE E.070, indica que los valores para el factor de esbeltez se obtienen de la Tabla N° 3.5 y que los valores intermedios se obtendrán interpolando los valores de la misma.

Tabla N° 3.5 Factores de corrección de f'_m por esbeltez (NTE E.070)

h_p / t_p	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22

Dado que algunos de los ensayos se realizaron antes de los 28 días, es necesario multiplicar al valor de la resistencia característica por los valores de la Tabla N° 3.6.

Tabla N° 3.6 Incremento de f'_m y v'_m por edad (NTE E.070)

		Edad	14 días	21 días
Muretes	Ladrillos de arcilla		1.15	1.05
	Bloques de concreto		1.25	1.05
Pilas	Ladrillos de arcilla		1.10	1.00
	Bloques de concreto		1.10	1.00

Luego, se obtiene una resistencia a la compresión axial promedio (f'_{mp}) de los especímenes con características similares de construcción y se calcula la desviación estándar (DE) considerando la siguiente fórmula:

$$DE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (f'_{mi} - f'_{mp})^2}{n - 1}}; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde

f'_{mi} : Resistencia a la compresión axial individual de cada ensayo, expresada en kg/cm².

f'_{mp} : Resistencia a la compresión axial promedio de todos los ensayos, expresada en kg/cm².

DE : Desviación estándar, expresada en kg/cm².

Finalmente, la resistencia axial característica del prisma de albañilería (f'_{mc}) se obtiene disminuyendo en una vez la desviación estándar (DE) a la resistencia a la compresión axial promedio (f'_{mp}).

$$f'_{mc} = f'_{mp} - DE$$

- **Equipos:**

1. Máquina de compresión axial calibrada con capacidad no menor a 100 toneladas.
2. Planchas metálicas de soporte (superior e inferior) con un área mayor al área inferior de la pila.

3.3.2 Compresión Diagonal de Muretes de Albañilería (NTP 399.621:2004)

El ensayo complementario para caracterizar al conjunto de albañilería (ladrillo – mortero) permite determinar la resistencia al corte de la albañilería, así como el módulo de corte.

Los especímenes para determinar el ensayo son muretes de dimensión mínima de 600 mm x 600 mm, sobre los cuales se aplicará una carga de compresión en dirección paralela a una de sus diagonales.

- **Procedimiento:**

1. Se coloca la escuadra inferior de carga de manera que se encuentre centrado con el eje de la máquina.
2. El murete se ubica sobre la escuadra colocada, de tal forma que la diagonal del espécimen coincida con el eje de la máquina y que las unidades de las esquinas que contengan la mezcla de mortero de cemento: arena 1:3 (colocadas durante la construcción del murete) coincidan con la posición de las escuadras metálicas. Tras ello, se coloca la escuadra superior y se asegura la posición del murete cuidando que éste quede aplomado y alineado.
3. Se instalan los equipos de medición de deformación, los cuales pueden ser:
 - ❖ Extensómetros y compresómetros (diales), los cuales se utilizaron en la investigación.
 - ❖ Sensores de deformación unitaria de tipo de resistencia eléctrica.
4. La carga sobre el murete se aplica a cualquier velocidad hasta la mitad de carga máxima esperada y tras ello se puede modular la velocidad de ensayo de tal forma que la carga máxima se alcance en no menos de 1 min ni más de 2 min y que en período se registren por lo menos 10 lecturas de los dispositivos de deformación. Cuando el espécimen pueda fallar súbitamente, se puede detener el ensayo con la intención de retirar los dispositivos de medición para preservarlos y luego continuar con el ensayo hasta que se alcance la falla.

- **Cálculo:**

El esfuerzo cortante o la resistencia a la compresión diagonal de albañilería (v'_m) se determina utilizando la expresión:

$$v'_m = \frac{0,707 P}{A_b}$$

Donde

v'_m : Resistencia a la compresión diagonal del murete, en kg/cm².

P : Carga máxima de falla, en kg.

A_b : Área bruta de la sección transversal del prisma, en cm², calculada mediante la expresión:

$$A_b = \left(\frac{l + h}{2} \right) t$$

Donde:

l : Largo del murete con aproximación al décimo, en cm.

h : Altura del murete con aproximación al décimo, en cm.

t : Espesor del murete con aproximación al décimo, en cm.

Asimismo, la deformación angular se determina mediante la expresión:

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}$$

Donde

γ : Deformación angular, en mm/mm.

ΔV : Acortamiento vertical, en mm.

ΔH : Acortamiento horizontal, en mm.

g : Longitud de medición de deformaciones vertical y horizontal, en mm.

Utilizando la variación del esfuerzo cortante ($\Delta v'_m$), en un rango comprendido entre el 10% y el 50% del esfuerzo cortante máximo, y la variación de la deformación angular ($\Delta \gamma$) presentadas en dicho rango, podemos obtener el Módulo de Corte (G_m) en kg/cm², mediante la siguiente expresión:

$$G_m = \frac{\Delta v'_m}{\Delta \gamma}$$

Tras ello, la resistencia obtenida se multiplica por los valores de la Tabla N° 3.5, anteriormente mostrada, que denota factores de incremento por la edad a la que se realizan los ensayos.

Luego, se procede con el cálculo de una resistencia a la compresión diagonal promedio (v'_{mp}) de los muretes ensayados y se calcula la desviación estándar (DE) mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$DE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (v'_{mi} - v'_{mp})^2}{n - 1}}; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde

v'_{mi} : Resistencia a la compresión diagonal individual de cada ensayo, expresada en kg/cm².

v'_{mp} : Resistencia a la compresión diagonal promedio de todos los ensayos, expresada en kg/cm².

DE : Desviación estándar, expresada en kg/cm².

Por último, la resistencia diagonal característica del prisma de albañilería (v'_{mc}) es el resultado de la disminución en una vez de la desviación estándar (DE) a la resistencia a la compresión diagonal promedio (v'_{mp}).

$$v'_{mc} = v'_{mp} - DE$$

- **Equipos:**

1. Máquina de compresión calibrada con capacidad no menor a 100 toneladas.
2. Escuadras de carga de acero.
3. Soporte de seguridad para muertes.
4. Nivel de mano.
5. Plomada.
6. Extensómetros y compresómetros (diales).

3.3.3 Adherencia en Pilas de Albañilería (Tracción Directa)

Son pocos los países que adaptaron normas para determinar la adherencia entre las unidades de albañilería y el mortero, el Perú no es uno de ellos.

Como se mencionó en el capítulo anterior, este ensayo es una adaptación de algunos ensayos empleados para determinar la resistencia de la albañilería a la tracción directa realizados por empresas privadas en el LEM-UNI, así mismo se recogió aspectos importantes de normas latinoamericanas que emplean métodos similares para dicho fin, como la norma peruana NTP 334.129 (Adherencia por flexión) y las normas chilenas NCh167- Of2001 (Adherencia al Cizalle) y NCh2471- Of2000 (Ensayo de Adherencia en Morteros), así como de bibliografía especializada en el tema.

El test consiste en la aplicación de una carga vertical de tracción sobre pilas de albañilería compuestas por dos unidades y sujetadas a la máquina de ensayo mediante cajas metálicas ajustables, de manera se mide la fuerza necesaria para generar una falla, pudiendo ser causada por el desprendimiento del mortero de la superficie del ladrillo, rotura en el mortero o rotura en el ladrillo.

- **Procedimiento:**

1. Se colocan las dos cajas metálicas ajustables en el espécimen a evaluar, de manera que cada uno de los ladrillos que componen la pila, este sujetado por una de las cajas, prosiguiendo con la nivelación y ajuste del espécimen de forma que quede lo más asegurado e inamovible posible, ello mediante los pernos de ajuste de las cajas.
2. La pila con las cajas se coloca en la máquina de tracción considerando que la junta siempre debe mantenerse horizontal y perpendicular al eje de la máquina, de tal modo que los pernos centrales de las cajas, ubicados en las superficies superior e inferior del conjunto, queden sujetos por las mordazas de la máquina de tracción. Es importante verificar la verticalidad y nivelación del espécimen para proceder con el inicio de la carga.
3. Se aplica la carga de tracción sobre el espécimen con una velocidad uniforme y continua hasta que se produzca la falla o despegue,

registrando dicho valor. Es recomendable ir monitoreando la deformación a lo largo del ensayo.

- **Cálculo:**

La adherencia se determina utilizando la expresión:

$$B = \frac{P}{A_b}$$

Donde

B : Adherencia, en kg/cm².

P : Carga máxima de falla, en kg.

A_b : Área bruta de la sección transversal del prisma, en cm².

- **Equipos:**

1. Máquina de tracción calibrada.
2. Cajas de acero ajustables mediante pernos.
3. Plomada.

CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL MURO DE ALBAÑILERÍA

Este capítulo contiene los resultados obtenidos tras la realización de los procedimientos y ensayos aplicados en los materiales componentes de un muro de albañilería, es decir, se detalla las propiedades obtenidas en las unidades de albañilería (variación dimensional, alabeo, absorción y resistencia a la compresión axial), el agregado fino (granulometría, módulo de fineza, peso unitario suelto, peso unitario compactado, porcentaje de absorción y peso específico) y el ensayo de compresión axial para las distintas dosificaciones de morteros.

4.1 UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Son muchas las variables que determinarán el buen comportamiento de una unidad como componente de la albañilería. Las características de la materia prima que compone a la unidad (arcilla, sílice – cal o concreto), las dimensiones, la superficie de asiento del mortero, la similitud con las demás unidades, así como las propiedades físicas y mecánicas especificadas en las normas determinarán en buen comportamiento del elemento dentro del conjunto, es por esta razón que para los ensayos se emplearon la mayor cantidad posible de unidades con características distintas.

4.1.1 Generalidades

Las unidades de albañilería empleadas para la realización de la investigación se pueden diferenciar en tres grupos con distintas características y propiedades entre ellas; asimismo, la elección de las mismas se basó en los siguientes criterios:

- Mayor uso en la construcción.
- Comportamiento estructural.
- Variedad de material componente de la unidad de albañilería.
- Adherencia entre la unidad de albañilería y el mortero.

Dado ello, se optó por elegir dos unidades comerciales fabricadas con arcilla y otra de concreto, las cuales se describen a continuación:

Ladrillo King Kong 18 Huecos:

Unidad de albañilería comercial de arcilla cocida y de marca Pirámide, según la ficha técnica (Ladrillos Pirámide, 2017) se clasifica como Tipo IV, de dimensiones 23 x 12.5 x 9 cm y puede ser empleada en muros portantes de moderada resistencia a la compresión, tanto en interiores como en exteriores, pudiéndose emplear recubrimientos (tarrajeo) sobre la unidad. Para los ensayos de la investigación a esta unidad se le dio la nomenclatura de “Clase A”.

Ladrillo Pandereta Acanalada:

Unidad de albañilería de marca Pirámide, de composición arcillosa y que según indica la ficha técnica (Ladrillos Pirámide, 2017) posee dimensiones 23 x 11 x 9.3 cm y puede ser utilizada en la construcción divisorios, es decir tabiquería en la que no se aplican cargas portantes. El diseño con canales en sus caras exteriores permite una mejor adherencia con el mortero, el ligero peso y los costos más accesibles, determinan que esta unidad sea la más empleada en las construcciones peruanas. Para la investigación, esta unidad recibió la nomenclatura de “Clase B”.

Ladrillo Konkreto:

Unidad de albañilería de concreto y fabricado por la empresa Unión de Concreteras S.A. (Unicon), como lo indica la ficha técnica (Unicon prefabricados, 2018) las dimensiones del ladrillo son de 22 x 13 x 9 cm y puede ser utilizada para muros portantes de albañilería confinada, tabiques, cercos y parapetos. Se caracteriza por su uniformidad dimensional y por su peso, el cual es muy superior a los ladrillos de arcilla. Como parte de la investigación, esta unidad fue nombrada como “Clase C”.

4.1.2 Resultados de los ensayos en las unidades de albañilería

Los ensayos que se realizaron en las tres variedades de unidades de albañilería fueron los especificados en la NTE E.070: Resistencia a la Compresión, Variación Dimensional, Alabeo y Absorción; asimismo, para poder clasificar a las unidades se calculó el porcentaje de vacíos de las mismas. A continuación, se presentan consideraciones adicionales a las especificadas en el capítulo anterior y los resultados de los distintos ensayos.

4.1.2.1 Variación Dimensional (NTP 399.613:2017)

La cantidad de unidades (por cada clase) que se consideró para realizar las mediciones de las variaciones en las dimensiones de los ladrillos fue de diez (10), como se especifica en la NTP 399.613:2017. A continuación, se detallan las dimensiones especificadas por los proveedores, así como los resultados de las mediciones en laboratorio:

- **Resultados en ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla**

Las dimensiones según el proveedor (Ladrillos Pirámide) para este tipo de ladrillos, se muestran en la Tabla N° 4.1:

Tabla N° 4.1 Dimensiones del ladrillo Clase A (Ladrillos Pirámide)

Ladrillo King Kong 18 Huecos (Clase A)		
Largo	Ancho	Altura
Le (cm)	Ae (cm)	He (cm)
23.000	12.500	9.000

Las dimensiones de los especímenes medidos en laboratorio se detallan en la Tabla N°4.2:

Tabla N° 4.2 Variación Dimensional (VD) en ladrillos Clase A (Elaboración propia)

Muestra	Largo Prom.	Ancho Prom.	Altura Prom.	VD	VD	VD
	Lp (cm)	Ap (cm)	Hp (cm)	Largo	Ancho	Altura
A - 1	22.950	12.325	9.025	0.22%	1.40%	-0.28%
A - 2	22.825	12.375	9.100	0.76%	1.00%	-1.11%
A - 3	22.775	12.325	9.150	0.98%	1.40%	-1.67%
A - 4	22.750	12.175	8.975	1.09%	2.60%	0.28%
A - 5	22.900	12.375	9.000	0.43%	1.00%	0.00%
A - 6	22.675	12.300	9.000	1.41%	1.60%	0.00%
A - 7	22.825	12.275	9.200	0.76%	1.80%	-2.22%
A - 8	22.675	12.225	9.150	1.41%	2.20%	-1.67%
A - 9	22.725	12.250	9.100	1.20%	2.00%	-1.11%
A - 10	22.625	12.175	9.025	1.63%	2.60%	-0.28%

Variación Dimensional	Promedio		VD - Valor más desfavorable
	Positivo (+)	Negativo (-)	
Largo	0.99%	0.00%	0.99%
Ancho	1.76%	0.00%	1.76%
Altura	0.09%	-1.19%	-1.19%

- **Resultados en ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla**

Las dimensiones según el proveedor (Ladrillos Pirámide) para el ladrillo Pandereta Acanalada, fueron las que se muestran en la Tabla N°4.3:

Tabla N° 4.3 Dimensiones del ladrillo Clase B (Ladrillos Pirámide)

Ladrillo Pandereta Acanalada (Clase B)		
Largo	Ancho	Altura
Le (cm)	Ae (cm)	He (cm)
23.000	11.000	9.000

Los resultados de los ensayos en laboratorio se detallan en la Tabla N°4.4:

Tabla N° 4.4 Variación Dimensional (VD) en ladrillos Clase B (Elaboración propia)

Muestra	Largo Prom.	Ancho Prom.	Altura Prom.	VD Largo	VD Ancho	VD Altura
	Lp (cm)	Ap (cm)	Hp (cm)			
B - 1	22.850	11.225	9.325	0.65%	-2.05%	-3.61%
B - 2	22.725	11.150	9.300	1.20%	-1.36%	-3.33%
B - 3	22.800	11.150	9.350	0.87%	-1.36%	-3.89%
B - 4	22.725	10.975	9.125	1.20%	0.23%	-1.39%
B - 5	22.925	11.150	9.250	0.33%	-1.36%	-2.78%
B - 6	23.025	11.050	9.450	-0.11%	-0.45%	-5.00%
B - 7	23.025	11.200	9.325	-0.11%	-1.82%	-3.61%
B - 8	22.975	11.125	9.250	0.11%	-1.14%	-2.78%
B - 9	22.900	11.000	9.350	0.43%	0.00%	-3.89%
B - 10	23.000	11.250	9.425	0.00%	-2.27%	-4.72%

Variación Dimensional	Promedio		VD - Valor más desfavorable
	Positivo (+)	Negativo (-)	
Largo	0.60%	-0.11%	0.60%
Ancho	0.11%	-1.48%	-1.48%
Altura	0.00%	-3.50%	-3.50%

- **Resultados en ladrillos Clase C: Konkreto de concreto**

Las dimensiones indicadas según el proveedor (Unicon) para los ladrillos de concreto denominados ladrillos Konkreto, se muestran en la Tabla N°4.5:

Tabla N° 4.5 Dimensiones del ladrillo Clase C (Unión de Concreteras - Unicon)

Ladrillo Konkreto (Clase C)		
Largo	Ancho	Altura
Le (cm)	Ae (cm)	He (cm)
23.000	13.000	9.000

Las mediciones de los especímenes se detallan en la Tabla N° 4.6:

Tabla N° 4.6 Variación Dimensional (VD) en ladrillos Clase C (Elaboración propia)

Muestra	Largo Prom.	Ancho Prom.	Altura Prom.	VD	VD	VD
	Lp (cm)	Ap (cm)	Hp (cm)	Largo	Ancho	Altura
C - 1	22.000	13.000	9.200	0.00%	0.00%	-2.22%
C - 2	22.000	13.000	9.175	0.00%	0.00%	-1.94%
C - 3	22.000	13.000	9.325	0.00%	0.00%	-3.61%
C - 4	22.000	13.000	9.050	0.00%	0.00%	-0.56%
C - 5	22.000	13.000	9.025	0.00%	0.00%	-0.28%
C - 6	22.000	13.000	9.100	0.00%	0.00%	-1.11%
C - 7	22.000	13.000	9.150	0.00%	0.00%	-1.67%
C - 8	22.000	13.000	9.125	0.00%	0.00%	-1.39%
C - 9	22.000	13.000	9.050	0.00%	0.00%	-0.56%
C - 10	22.000	13.000	9.125	0.00%	0.00%	-1.39%

Variación Dimensional	Promedio		VD - Valor más desfavorable
	Positivo (+)	Negativo (-)	
Largo	0.00%	0.00%	0.00%
Ancho	0.00%	0.00%	0.00%
Altura	0.00%	-1.47%	-1.47%

4.1.2.2 Alabeo (NTP 399.613:2017)

Como se indica en NTP 399.613:2017, la cantidad de especímenes (por cada clase) consideradas para esta prueba fue de diez (10), dichas unidades fueron las mismas que se utilizaron para el ensayo de Variación Dimensional.

En los siguientes cuadros, se detallan los resultados obtenidos de las mediciones en laboratorio para cada clase de unidad empleada:

- **Resultados en ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla**

El alabeo promedio presentado en las unidades Clase A (ladrillos King Kong 18H) se presenta en la Tabla N°4.7:

Tabla N° 4.7 Alabeo en ladrillos Clase A (Elaboración propia)

Muestra	Concavidad máxima (mm)	Convexidad máxima (mm)	Valor más desfavorable (mm)
A - 1	0.00	0.00	0.00
A - 2	1.00	0.00	1.00
A - 3	1.00	0.00	1.00
A - 4	1.00	0.00	1.00
A - 5	1.00	0.00	1.00
A - 6	1.00	0.00	1.00
A - 7	1.00	0.00	1.00
A - 8	1.00	0.00	1.00
A - 9	0.00	0.50	0.50
A - 10	1.00	0.00	1.00
Promedio			0.85

- **Resultados en ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla**

En la Tabla N°4.8, se detallan los resultados del ensayo de alabeo para los ladrillos Pandereta Acanalada (Clase B).

Tabla N° 4.8 Alabeo en ladrillos Clase B (Elaboración propia)

Muestra	Concavidad máxima (mm)	Convexidad máxima (mm)	Valor más desfavorable (mm)
B - 1	1.00	0.00	1.00
B - 2	1.50	1.00	1.50
B - 3	1.00	0.00	1.00
B - 4	1.00	0.00	1.00
B - 5	0.00	0.00	0.00
B - 6	0.50	0.00	0.50
B - 7	0.00	0.00	0.00
B - 8	0.00	0.50	0.50
B - 9	1.00	0.00	1.00
B - 10	0.00	0.00	0.00
Promedio			0.65

- **Resultados en ladrillos Clase C: Konkreto de concreto**

Las unidades de concreto (Ladrillos Konkreto – Clase C) son la que menor alabeo presentan; a continuación, se presentan los resultados en la Tabla N° 4.9:

Tabla N° 4.9 Alabeo en ladrillos Clase C (Elaboración propia)

Muestra	Concavidad máxima (mm)	Convexidad máxima (mm)	Valor más desfavorable (mm)
C - 1	0.00	1.00	1.00
C - 2	0.50	0.00	0.50
C - 3	0.50	0.00	0.50
C - 4	1.00	0.00	1.00
C - 5	0.00	0.50	0.50
C - 6	0.50	0.00	0.50
C - 7	0.00	0.00	0.00
C - 8	0.50	0.00	0.50
C - 9	1.00	0.00	1.00
C - 10	0.00	0.00	0.00
Promedio			0.55

4.1.2.3 Absorción (NTP 399.613:2017)

La cantidad de especímenes (por cada clase) especificada en la NTP 399.613:2017 para esta prueba es de diez (05), y a continuación se detallan los resultados obtenidos tras las mediciones en el laboratorio:

- **Resultados en ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla**

La absorción promedio presentada en las unidades Clase A (ladrillos King Kong 18H) se presenta en la Tabla N°4.10:

Tabla N° 4.10 Absorción en ladrillos Clase A (Elaboración propia)

Muestra	Peso saturado (g)	Peso seco (g)	Porcentaje de Absorción (%)
A-1	3,096.1	2,713.5	14.1%
A-2	3,203.4	2,802.6	14.3%
A-3	3,199.2	2,796.5	14.4%
A-4	3,160.2	2,764.8	14.3%
A-5	3,205.8	2,812.1	14.0%
Promedio			14.2%

- **Resultados en ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla**

Se detallan los resultados de los ladrillos Pandereta Acanalada (Clase B).

Tabla N° 4.11 Absorción en ladrillos Clase B (Elaboración propia)

Muestra	Peso saturado (g)	Peso seco (g)	Porcentaje de Absorción (%)
B-1	2,457.3	2,168.8	13.3%
B-2	2,481.3	2,192.0	13.2%
B-3	2,491.0	2,198.6	13.3%
B-4	2,446.8	2,165.3	13.0%
B-5	2,414.9	2,135.2	13.1%
		Promedio	13.2%

- **Resultados en ladrillos Clase C: Konkreto de concreto**

En la tabla se muestran los resultados de los ladrillos Konkreto (Clase C):

Tabla N° 4.12 Absorción en ladrillos Clase C (Elaboración propia)

Muestra	Peso saturado (g)	Peso seco (g)	Porcentaje de Absorción (%)
C-1	4,889.6	4,631.0	5.6%
C-2	4,850.9	4,602.4	5.4%
C-3	4,719.0	4,447.7	6.1%
C-4	4,753.2	4,496.9	5.7%
C-5	4,813.6	4,567.0	5.4%
		Promedio	5.6%

4.1.2.4 Resistencia a la Compresión (NTP 399.613:2017 y NTP 399.604:2002)

Unidad de Albañilería de Arcilla (NTP 399.613:2017)

Considerando los procedimientos especificados en la NTP 399.613:2017, mencionados en el Capítulo III, se eligieron cinco (05) especímenes por cada una de las dos clases de unidades de arcilla que se evalúan en la presente investigación, cabe mencionar que éste es el número mínimo de especímenes que se deben de ensayar. A continuación, se presentan las cargas de ensayo:

- **Resultados en ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla**

Las dimensiones de las unidades de Clase A empleadas para el ensayo se muestran en la Tabla N° 4.13:

Tabla N° 4.13 Dimensiones de los ladrillos de Clase A empleados para el ensayo
(Elaboración propia)

Muestra	Largo Prom.	Ancho Prom.	Altura Prom.
	Lp (cm)	Ap (cm)	Hp (cm)
A - 1	22.950	12.325	9.025
A - 2	22.825	12.375	9.100
A - 3	22.775	12.325	9.150
A - 4	22.750	12.175	8.975
A - 5	22.900	12.375	9.000

Dichas unidades fueron sometidas a cargas de compresión y se obtuvieron los resultados que aparecen en la Tabla N° 4.14:

Tabla N° 4.14 Resistencia a la Compresión en ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Muestra	Área Bruta (cm ²)	Carga (P) (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tiempo
A - 1	282.859	46,900	165.8	02:51.30
A - 2	282.459	50,200	177.7	02:37.94
A - 3	280.702	50,250	179.0	02:34.46
A - 4	276.981	53,000	191.3	01:53.21
A - 5	283.388	41,608	146.8	01:16.28
Promedio			172.14	02:14.64
Desviación Estándar			16.80	
Coeficiente de Variación			9.76%	
Resistencia Característica			155.35	

- **Resultados en ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla**

Las unidades de Clase B presentaron las dimensiones detalladas en la Tabla N° 4.15:

Tabla N° 4.15 Dimensiones de los ladrillos de Clase B empleados para el ensayo
(Elaboración propia)

Muestra	Largo Prom.	Ancho Prom.	Altura Prom.
	Lp (cm)	Ap (cm)	Hp (cm)
B - 1	22.850	11.225	9.325
B - 2	22.725	11.150	9.300
B - 3	22.800	11.150	9.350
B - 4	22.725	10.975	9.125
B - 5	22.925	11.150	9.250

Tras someter a las unidades a cargas de compresión, se obtuvieron los resultados de la Tabla N° 4.16:

Tabla N° 4.16 Resistencia a la Compresión en ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Muestra	Área Bruta (cm ²)	Carga (P) (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tiempo
B - 1	256.491	10,400	40.5	01:26.08
B - 2	253.384	7,600	30.0	01:11.40
B - 3	254.220	13,200	51.9	01:38.95
B - 4	249.407	7,000	28.1	01:22.60
B - 5	255.614	8,600	33.6	00:53.32
Promedio			36.84	01:18.47
Desviación Estándar			9.69	
Coeficiente de Variación			26.30%	
Resistencia Característica			27.15	

Unidad de Albañilería de Concreto (NTP 399.604:2002)

A diferencia de la NTP 399.613:2017, la cual menciona que, para esta prueba las unidades de arcilla deben de ser por lo menos de cinco (05) especímenes, las cuales deben secarse al horno y luego enfriarse; la NTP 399.604:2002, tan sólo indica que las unidades de concreto a emplearse sean medidas mas no secadas, además de tener como límite mínimo a tres (03) unidades de ensayo. A continuación, se presentan las consideraciones y resultados de las unidades de concreto que se emplearon.

- **Resultados en ladrillos Clase C: Concreto de concreto**

Se consideraron cinco (05) unidades para el ensayo, cumpliendo lo establecido en la NTP 399.604:2002, cuyas dimensiones se detallan:

Tabla N° 4.17 Dimensiones de los ladrillos de Clase C empleados para el ensayo (Elaboración propia)

Muestra	Largo Prom. Lp (cm)	Ancho Prom. Ap (cm)	Altura Prom. Hp (cm)
C - 1	22.000	13.000	9.200
C - 2	22.000	13.000	9.175
C - 3	22.000	13.000	9.325
C - 4	22.000	13.000	9.050
C - 5	22.000	13.000	9.025

Los resultados tras aplicar las cargas se muestran en la Tabla N° 4.18.

Tabla N° 4.18 Resistencia a la Compresión en ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Muestra	Área Bruta (cm ²)	Carga (P) (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tiempo
C - 1	286.000	71,200	249.0	04:51.20
C - 2	286.000	59,600	208.4	04:23.33
C - 3	286.000	60,800	212.6	02:24.20
C - 4	286.000	71,300	249.3	02:07.25
C - 5	286.000	57,800	202.1	02:33.05
Promedio			224.27	03:15.81
Desviación Estándar			23.00	
Coeficiente de Variación			10.26%	
Resistencia Característica			201.27	

4.1.2.5 Porcentaje de Vacíos (NTP 399.613:2017)

Como lo indica la NTP 399.613:2017, los especímenes necesarios para realizar la prueba son diez (10) unidades por cada clase ensayada. Asimismo, con los resultados obtenidos se puede determinar si las unidades son huecas o macizas, según la clasificación de la NTE E.070, por lo que es necesario analizar si los resultados exceden el 30% de porcentaje de vacíos o son menores a dicho valor.

- **Resultados en ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla**

Los resultados en las unidades de Clase A fueron las siguientes:

Tabla N° 4.19 Porcentaje de Vacíos en ladrillos de Clase A (Elaboración propia)

Muestra	Peso arena en 1L (g)	Peso arena en vacíos (g)	Volumen de Arena (cm ³)	Volumen del Ladrillo (cm ³)	Porcentaje de Vacíos (%)
A-1	1,469.80	1,624.00	1,104.91	2,552.80	43.28
A-2	1,469.80	1,599.10	1,087.97	2,570.38	42.33
A-3	1,469.80	1,632.10	1,110.42	2,568.42	43.23
A-4	1,469.80	1,563.00	1,063.41	2,485.91	42.78
A-5	1,469.80	1,611.10	1,096.14	2,550.49	42.98
A-6	1,469.80	1,592.40	1,083.41	2,510.12	43.16
A-7	1,469.80	1,636.90	1,113.69	2,577.63	43.21
A-8	1,469.80	1,610.00	1,095.39	2,536.40	43.19
A-9	1,469.80	1,624.10	1,104.98	2,533.27	43.62
A-10	1,469.80	1,583.30	1,077.22	2,486.02	43.33
Promedio					43.11%

Dado que el Porcentaje de Vacíos promedio para los ladrillos de arcilla King Kong 18 huecos (Clase A) es 43.11%, valor superior al 30% mencionado en la NTE E.070, se considera que este ladrillo es una **unidad hueca**.

- **Resultados en ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla**

Los resultados de los ladrillos de Clase B, se muestran a continuación en la Tabla N° 4.20:

Tabla N° 4.20 Porcentaje de Vacíos en ladrillos de Clase B (Elaboración propia)

Muestra	Peso arena en 1L (g)	Peso arena en vacíos (g)	Volumen de Arena (cm ³)	Volumen del Ladrillo (cm ³)	Porcentaje de Vacíos (%)
B-1	1,469.80	1,789.10	1,217.24	2,391.78	50.89
B-2	1,469.80	1,784.60	1,214.18	2,356.47	51.53
B-3	1,469.80	1,778.90	1,210.30	2,376.96	50.92
B-4	1,469.80	1,700.10	1,156.69	2,275.84	50.82
B-5	1,469.80	1,774.30	1,207.17	2,364.43	51.06
B-6	1,469.80	1,824.40	1,241.26	2,404.33	51.63
B-7	1,469.80	1,787.60	1,216.22	2,404.73	50.58
B-8	1,469.80	1,754.30	1,193.56	2,364.27	50.48
B-9	1,469.80	1,765.20	1,200.98	2,355.27	50.99
B-10	1,469.80	1,784.60	1,214.18	2,438.72	49.79
Promedio					50.87%

Al igual que las unidades de Clase A, los ladrillos Pandereta Acanalada de arcilla (Clase B) obtuvieron un valor promedio que excede el 30% especificado en la NTE E.070 para el porcentaje de vacíos, por lo que estos especímenes también son considerados como **unidades huecas**. Cabe mencionar, que según esta clasificación coincide con la mencionada por el proveedor (Ladrillos Pirámide).

- **Resultados en ladrillos Clase C: Konkreto de concreto**

Las mediciones y resultados obtenidos para los ladrillos de Clase C, se muestran en la Tabla N° 4.21:

Tabla N° 4.21 Porcentaje de Vacíos en ladrillos de Clase C (Elaboración propia)

Muestra	Peso arena en 1L (g)	Peso arena en vacíos (g)	Volumen de Arena (cm ³)	Volumen del Ladrillo (cm ³)	Porcentaje de Vacíos (%)
C-1	1,469.80	785.80	534.63	2,631.20	20.32
C-2	1,469.80	779.00	530.00	2,624.05	20.20
C-3	1,469.80	761.50	518.10	2,666.95	19.43
C-4	1,469.80	767.30	522.04	2,588.30	20.17
C-5	1,469.80	757.00	515.04	2,581.15	19.95
C-6	1,469.80	760.00	517.08	2,602.60	19.87
C-7	1,469.80	764.40	520.07	2,616.90	19.87
C-8	1,469.80	771.20	524.70	2,609.75	20.11
C-9	1,469.80	771.70	525.04	2,588.30	20.29
C-10	1,469.80	770.90	524.49	2,609.75	20.10
Promedio					20.03%

A diferencia de las unidades de arcilla, los ladrillos Konkreto de concreto, poseen un Porcentaje de Vacíos de 20.03%, inferior al valor de 30% mencionado en la NTE E.070, por lo que estos ladrillos pertenecen al tipo de **unidades macizas**.

4.1.3 Resumen: Clasificación para fines estructurales

La NTE E0.70, en la Tabla 1 (Tabla N° 4.22 de esta tesis), plantea una clasificación para fines de diseño estructural. Esta clasificación agrupa a las unidades en siete posibles tipos, de los cuales cinco son para los ladrillos y los dos restantes para los bloques, ello según las características de variación dimensional, alabeo y resistencia a la compresión a la que pueda estar sometida cada unidad ensayada.

Tabla N° 4.22 Clasificación para Fines Estructurales (NTE E.070, Tabla 1)

Clase	Variación de la Dimensión (máxima en porcentaje)			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia Característica a Compresión f_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4.9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2.0 (20)

Tras realizar los ensayos a las distintas clases de unidades planteadas para esta investigación y analizando sus resultados, se pudo clasificar a dichos especímenes según el cumplimiento de los parámetros de la Tabla N° 4.22.

Es así que los ladrillos King Kong 18 huecos (Clase A) y el ladrillo Konkreto (Clase C), pueden emplearse como ladrillos estructurales, clasificándose como Tipo IV y Tipo V, respectivamente; mientras que el ladrillo Panderetea Acanalada, es un ladrillo no estructural. A continuación, los resultados se muestran en la Tabla N° 4.23:

Tabla N° 4.23 Clasificación para Fines Estructurales (Elaboración propia)

Unidad	Variación Dimensional		Alabeo Máx. (mm)	Absorción (%)	Resist. a la Compresión (kg/cm ²)	Clasificación para Fines Estructurales
	Dimensión	(%)				
Clase A	Largo	0.99%	0.85	14.2%	155.35	Ladrillo Tipo IV
	Ancho	1.76%				
	Altura	-1.19%				
Clase B	Largo	0.60%	0.65	13.2%	27.15	Ladrillo NO Estructural
	Ancho	-1.48%				
	Altura	-3.50%				
Clase C	Largo	0.00%	0.55	5.6%	201.27	Ladrillo Tipo V
	Ancho	0.00%				
	Altura	-1.47%				

4.2 MORTERO

Al igual que las unidades de albañilería, es necesario también comprobar el cumplimiento de la normatividad para el mortero, tanto para sus componentes como para la interacción de los mismos como un conjunto.

Existen diferencias en la aplicación de la normatividad para el mortero y sus componentes, es así que, en el caso del agregado fino, componente fundamental del mortero, así como del mortero en sí, es necesario realizar ensayos en un laboratorio certificado por cuenta propia, mientras que en el caso del cemento y los morteros “industriales”, como el mortero embolsado, los morteros adicionados o los morteros a base de polímeros; los ensayos se asumen como realizados por las empresas distribuidoras, dado que el análisis físico y químico de sus componentes, así como sus ensayos correspondientes, son regulados por entes que califican y certifican su distribución.

Considerando la variedad de morteros disponibles en el mercado y aprovechando que la gran mayoría se encuentran certificados, se optaron por analizar y ensayar distintas presentaciones de mortero, desde morteros convencionales a base de matriz cementicia en distintas presentaciones y con diferentes relaciones de volumen entre sus componentes, hasta el mortero de matriz polimérica, que se encuentra en sus primeros años en el país.

4.2.1 Generalidades

Ante la variada oferta disponible en el mercado para encontrar morteros, se optaron por elegir algunos en base a dos razones principales, las cuales son:

- Mayor uso en las construcciones actuales.
- Comercialización.

Es así que los morteros elegidos fueron cuatro (04), dos de los cuales fueron elaborados en el laboratorio considerando diferentes relaciones de cemento-arena, mientras que los dos restantes son morteros industriales, siendo uno de ellos de matriz cementicia, mientras que el otro posee matriz polimérica.

A continuación, se describen las características principales de cada uno de los morteros empleados para la investigación:

Mortero Convencional C:A 1:4:

Mortero compuesto de cemento, agregado fino y agua, con una relación de volumen de 1:4 para los componentes cemento-arena. A continuación, se presenta mayor información sobre los componentes del mortero:

- Cemento: Cemento Portland Tipo I embolsado de marca “Cemento Sol”
- Agregado: Arena gruesa embolsada de marca “Luk”.
- Agua: Agua potable extraída del laboratorio.

Su elaboración no fue industrial, dado que su preparación fue ejecutada en el laboratorio. Cabe mencionar, que el mortero con esta dosificación de volúmenes es el mencionado por la NTE E.070 para obtener resistencias características de la albañilería armada para el diseño estructural, en caso no se realicen ensayos de laboratorio (Tabla 9 - NTE E.070, 2006), asimismo se define como un mortero para muros portantes dentro de dicha norma; por lo que de ello se puede inferir que esta relación es la más representativa para definir un límite entre los muros

estructurales y los no estructurales. Es por esta razón que este mortero es considerado como el **mortero patrón** para los ensayos de la presente investigación, es decir, que los resultados obtenidos en los ensayos realizados con los demás morteros serán comparados con los obtenidos con el mortero de esta relación.

Mortero Convencional C:A 1:5:

Al igual que el mortero anterior, este mortero está constituido por cemento, arena y agua, pero la relación de volúmenes entre el cemento y la arena es de 1:5. Las propiedades de cada componente, así como su procedencia es similar al caso anterior y se menciona a continuación:

- Cemento: Cemento Portland Tipo I embolsado de marca “Cemento Sol”
- Agregado: Arena gruesa embolsada de marca “Luk”.
- Agua: Agua potable extraída del laboratorio.

A pesar de que la NTE E.070 considera a este mortero como un mortero para muros portantes, esta dosificación se encuentra muy cercana a la relación planteada para los muros no portantes, es quizá por ello que la mayoría de recomendaciones que se encuentran en manuales de construcción para el asentamiento de albañilería no portante optan por esta relación, como son los casos de los manuales de construcción de Unacem y Aceros Arequipa.

Mortero Embolsado 1:4:

Mortero premezclado y embolsado de la marca “Quikrete”, que según su ficha técnica (Quikrete Perú S.A, 2017) posee una mezcla seca homogénea de cemento Portland Tipo I y arena gruesa seleccionada y tamizada, cuya dosificación de volúmenes es de 1:4. Por otro lado, la cantidad de agua recomendada para el asentado de ladrillo es de 6.0 a 6.5 litros por cada bolsa de 40 kg.

Mortero Polimérico:

Mortero de matriz polimérica, es decir que a diferencia de un mortero convencional en que el material ligante es el cemento, en este tipo de morteros una mezcla de polímeros reemplaza al cemento y cumple la misma función. El producto es fabricado, dosificado y embolsado en Perú por la marca “Pegablock”, la cual recomienda que, para una buena trabajabilidad, la cantidad de agua utilizada será de 15% a 18% del peso de la mezcla seca (Delko Industrial, 2017).

4.2.2 Componentes y resultados sobre sus propiedades

Dado que, de los morteros planteados para la investigación, solamente los convencionales de cemento y agregado (dosificaciones 1:4 y 1:5) son preparados y mezclados en el laboratorio, pues los dos restantes son industrializados; es necesario analizar a detalle sus componentes, vale decir el agregado, el cemento y el agua, pues dependerá de ello la calidad de los morteros finales.

La normatividad peruana contempla un análisis detallado para uno de los componentes del mortero convencional que puede encontrarse en estado natural y que influye enormemente en la resistencia del mortero, en este caso se está hablando del agregado fino; mientras que, para los otros componentes como el cemento, las normas son orientadas al sector industrial, quienes son el distribuidor final de este componente del mortero, es por ello que a diferencia del agregado, el análisis en laboratorio se asume como realizado por la empresa productora de cemento, lo cual es validado por los entes de supervisión del estado.

Planteadas estas realidades, lo que a continuación se presenta, son los resultados de las pruebas realizadas al único componente que no es industrializado, el agregado fino; pues como se mencionó, tanto el cemento como el agua cumplen con parámetros medidos y certificados por las empresas productoras.

4.2.2.1 Agregado Fino: Granulometría y Módulo de Fineza (NTP 400.012:2013), Peso Unitario Suelto, Peso Unitario Compactado y Contenido de Humedad (NTP 400.017:2011), Peso Específico y Porcentaje de Absorción (NTP 400.022:2013).

El agregado considerado para los morteros de dosificación 1:4 y 1:5, fue una arena gruesa embolsada de marca “Luk”, cuyo estado embolsado presentaba una ligera humedad y casi nula presencia de impurezas. Cabe mencionar, que dicha arena tuvo que tamizarse tras realizarse la prueba de granulometría, dado que no cumplía con el uso exigido por las normas.

A continuación, se presentan, los resultados de los ensayos realizados a la arena gruesa, incluyendo el primer ensayo de granulometría antes de la realización del tamizado, así como todos los demás ensayos necesarios.

Granulometría (NTP 400.012:2013)

Inicialmente, se realizó el ensayo de granulometría del agregado grueso tal y como había sido adquirido, obteniéndose los resultados que a continuación se presentan en la Tabla N° 4.24:

Tabla N° 4.24 Resultados iniciales para el ensayo de granulometría (Elaboración propia)

Tamiz Malla N°	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%
N° 4	15.5	2.6%	2.6%	97.4%	100.0%	100.0%
N° 8	86.6	14.4%	17.0%	83.0%	95.0%	100.0%
N° 16	144.7	24.1%	41.1%	58.9%	70.0%	100.0%
N° 30	146.5	24.4%	65.6%	34.5%	40.0%	75.0%
N° 50	108.7	18.1%	83.7%	16.3%	10.0%	35.0%
N° 100	62.9	10.5%	94.2%	5.9%	2.0%	15.0%
Fondo	35.1	5.9%	100.0%	0.0%	0.0%	2.0%
Total	600.0	100.0%				

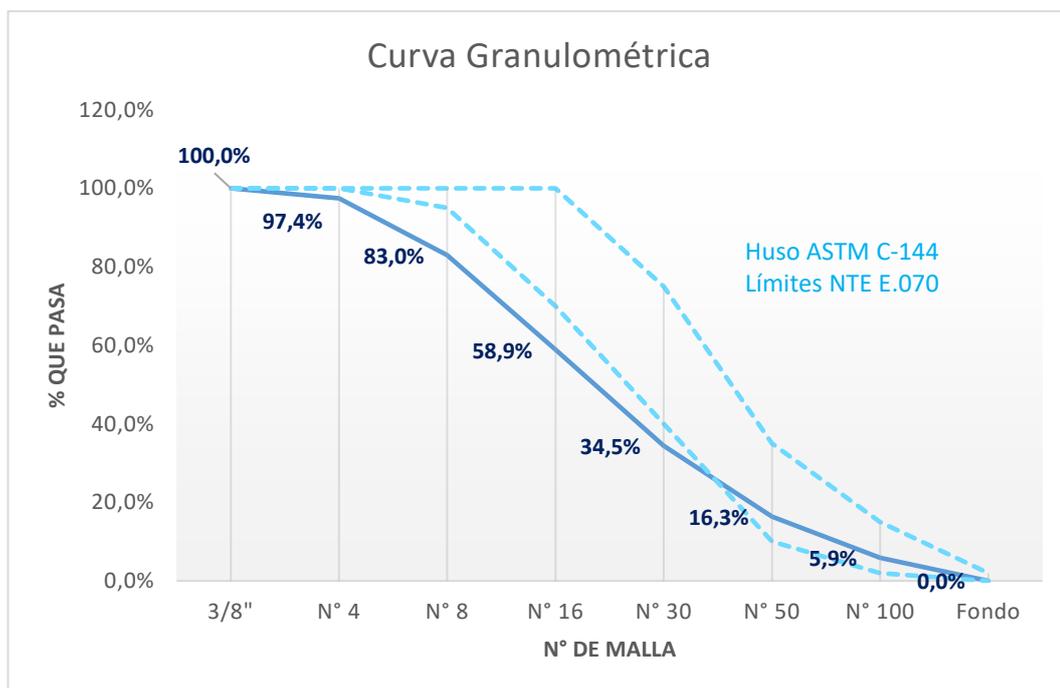


Gráfico N° 4.1 Curva granulométrica inicial para el agregado

Como se observa, los porcentajes que pasan bajo las respectivas mallas, no encajan dentro de lo exigido por las normas ASTM C-144 y que a su vez recoge la NTE E.070, límites que figuran en la Tabla N° 3.1 del capítulo anterior (Gráfico N°4.1); dicho ello, existirían dos opciones para solucionar este problema, la primera

cambiar el agregado directamente del proveedor por una arena fina o con menor contenido de partículas grandes, o caso contrario disminuir el contenido de partículas grandes mayores a la Malla N° 8.

La solución por la que se optó fue el tamizado de todo el agregado empleando la Malla N° 4 para luego tamizar ciertos volúmenes con la Malla N° 8, como se muestra en la Figura N° 4.1.



Figura N° 4.1 Tamizado del agregado con las Mallas N°4 y N° 8

Tras el tamizado del agregado, los resultados obtenidos para la curva granulométrica, fueron los mostrados en la Tabla N° 4.25:

Tabla N° 4.25 Resultados finales para el ensayo de granulometría (Elaboración propia)

Tamiz Malla N°	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%
N° 4	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%
N° 8	12.5	2.1%	2.1%	97.9%	95.0%	100.0%
N° 16	143.4	23.9%	26.0%	74.0%	70.0%	100.0%
N° 30	168.5	28.1%	54.1%	45.9%	40.0%	75.0%
N° 50	121.1	20.2%	74.3%	25.8%	10.0%	35.0%
N° 100	94.6	15.8%	90.0%	10.0%	2.0%	15.0%
Fondo	59.9	10.0%	100.0%	0.0%	0.0%	2.0%
Total	600.0	100.0%				

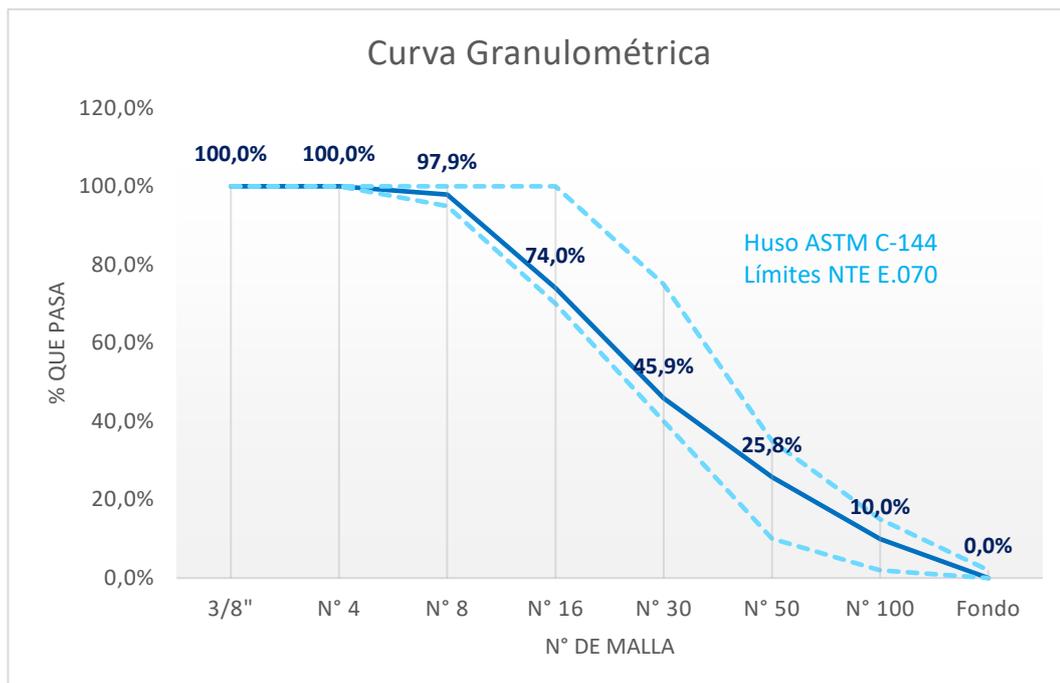


Gráfico N° 4.2 Curva granulométrica final para el agregado

Con el agregado tamizado, los resultados se encuentran dentro de todo el uso exigido por la ASTM C-144 y la NTE E.070 (Gráfico N°4.2); por lo que, tras la comprobación del módulo de finura necesario, se puede proseguir con el resto de los ensayos.

Módulo de Fineza (NTP 400.012:2013)

El módulo de fineza se obtiene de sumar los porcentajes retenidos acumulados de determinadas mallas tras el ensayo de granulometría. A continuación, el valor obtenido para el ensayo:

$$M. F. = \frac{(0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 2.1 + 26.0 + 54.1 + 74.3 + 90.0)}{100} = 2.46$$

El valor para el módulo de fineza del agregado tamizado, cuyo valor es 2.46 también se encuentra dentro de los límites permitidos por la NTE E.070, la cual indica que dicho valor debería estar entre 1.6 y 2.5 (NTE E.070, 2006).

Dado que el agregado tamizado cumple con los requerimientos de granulometría y módulo de fineza, se pueden llevar a cabo los ensayos de peso unitario suelto y compactado, contenido de humedad, peso específico y porcentaje de absorción.

Peso Unitario Suelto - P.U.S. (NTP 400.017:2011)

Tras cumplir lo indicado en la NTP 400.017:2011 para obtener el peso unitario del agregado en estado suelto, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 4.26 Peso unitario suelto del agregado (Elaboración propia)

Descripción	Und	Cantidad
Peso de la muestra y el recipiente	kg	5.582
Peso del recipiente	kg	1.577
Peso de la muestra	kg	4.005
Volumen del recipiente	m ³	0.003
Peso Unitario Suelto (P.U.S)	kg/m ³	1,415.124

Peso Unitario Compactado - P.U.C (NTP 400.017:2011)

Del mismo modo, se puede obtener el peso unitario del agregado en estado compactado; a continuación, los resultados en la Tabla 4.27:

Tabla N° 4.27 Peso unitario compactado del agregado (Elaboración propia)

Descripción	Und	Cantidad
Peso de la muestra y el recipiente	kg	6.008
Peso del recipiente	kg	1.577
Peso de la muestra	kg	4.431
Volumen del recipiente	m ³	0.003
Peso Unitario Suelto (P.U.S)	kg/m ³	1,565.654

Contenido de Humedad (NTP 400.017:2011)

Al igual que las dos propiedades anteriores, el procedimiento para determinar la cantidad de agua del agregado se detalló en anteriormente, según lo expresado en la NTP 400.017:2011. En la Tabla N°4.28, se muestran los resultados:

Tabla N° 4.28 Contenido de humedad del agregado (Elaboración propia)

Descripción	Und	Cantidad
Peso de la muestra y el recipiente	g	684.5
Peso del recipiente	g	184.5
Peso de la muestra	g	500.0
Peso de la muestra seca y el recipiente	g	671.8
Peso de la muestra seca	g	487.3
Peso del agua perdida	g	12.7
Contenido de Humedad	%	2.61

Peso Específico (Densidad Relativa) (NTP 400.022:2013)

Cumpliendo el procedimiento especificado en la NTP 400.022:2013 en cual, además, fue mencionado en el capítulo anterior, se pudieron obtener los pesos específicos de masa (Pe), de masa saturada superficialmente seca (PeS) y aparente (Pea), los cuales se muestran a continuación, en la Tabla N° 4.29:

Tabla N° 4.29 Pesos específicos del agregado (Elaboración propia)

Descripción	Und	Cantidad
Peso de la arena en estado SSS	g	500.0
Peso de la arena en estado SSS + Peso de la fiola + Peso del agua	g	860.6
Peso de la fiola	g	142.2
Volumen de la fiola	cm ³	500.0
Peso del agua	g	218.4
Peso de la arena secada al horno	g	488.9
Peso Específico de Masa (Pe)	kg / cm ³	1.74
Peso Específico de Masa SSS (PeS)	kg / cm ³	1.78
Peso Específico Aparente (Pea)	kg / cm ³	1.81

Porcentaje de Absorción del Agregado (NTP 400.022:2013)

Parte de los cálculos que acompañan al peso específico, es la determinación del porcentaje de absorción del agregado, dado que con los datos anteriores se puede obtener la cantidad de agua contenida en agregado, ello tras secar y pesar una muestra del material.

Realizado el cálculo, se pudo obtener que el Porcentaje de Absorción del agregado es **2.27%**.

4.2.2.2 Cemento: Requisitos generales (NTP 334.009:2016)

Conforme a lo indicado inicialmente, el cemento empleado para la elaboración de los dos morteros convencionales fue el Cemento Portland Tipo I de la marca "Cemento Sol", el cual según lo solicitado en la NTE E.070 debe cumplir con los requisitos físicos, requisitos químicos, métodos de ensayo, condiciones de muestreo, condiciones de envase y condiciones de almacenaje que especifican en la NTP 334.009:2016.

Dado que no se pudo tener conocimiento sobre los procedimientos realizados internamente por la empresa Unión Andina de Cementos S.A.A. – Unacem, grupo que fusionó Cementos Sol y Cementos Andino, para satisfacer lo solicitado por la normatividad peruana; son las certificaciones de calidad y seguridad que ostenta la empresa, los únicos comprobantes del cumplimiento de los requisitos y normatividad que se exigen para sus productos (Unacem, 2017). Dicho ello, la ficha técnica del Cemento Portland Tipo I, asegura el cumplimiento de los requisitos expresados en la NTP 334.009:2016 así como los que figuran en la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

4.2.2.3 Agua

Finalmente, como último componente del mortero, se empleó agua potable extraída de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Dado que el agua empleada cumple con los requisitos indispensables para el consumo humano, vale decir que posee una casi nula cantidad de sustancias dañinas como ácidos, álcalis o materia orgánica, que a su vez son los requisitos que exige la NTE E.070, se puede afirmar que este componente del mortero es apto para su utilización en las diferentes pruebas.

4.2.3 Diseño y proporciones del mortero

Como se mencionó en las generalidades sobre el mortero, de los cuatro morteros de la investigación, solamente dos son no industrializados, es decir se dosifican y elaboran in situ, estos morteros son los convencionales con relación de volúmenes de 1:4 y 1:5.

Dado que las dosificaciones de volúmenes de cemento-arena ya están preestablecidas para los distintos morteros, ello con la finalidad de abarcar la mayor cantidad posible de morteros con características estructurales distintas y por las razones específicas comentadas anteriormente para cada mortero (en la sección de generalidades), entonces solamente será necesario comprobar que dichas dosificaciones sean aceptables y cumplan lo establecido en las normas correspondientes, vale decir la NTE E.070 y la NTP 339.610:2013.

- **Morteros convencionales C:A**

Las relaciones en volumen de cemento-arena establecidas para los morteros convencionales, 1:4 y 1:5, se consideran como aptas y para muros estructurales en la NTE E.070; mientras que, por otro lado, no figuran en la NTP 339.610:2013 dado que esta norma considera morteros con otros materiales ligantes adicionados al cemento Portland, tales como el cemento-cal, cemento de albañilería y cemento de mortero, por lo que la relación específica para cemento-arena no existe. Cabe mencionar, que las denominaciones de morteros tipo M, S, N u O también pueden determinarse por las características del mortero (resistencia a la compresión, máxima retención de agua y máximo contenido de aire) como lo menciona dicha norma.

- **Mortero embolsado**

Este mortero posee la dosificación 1:4 para la relación cemento-arena, pero tiene la cualidad de que viene premezclado por lo que es complicado determinar la exactitud de dicha proporción. Al igual que el caso de los morteros convencionales, esta dosificación se menciona en la NTE E.070, la cual además menciona que se pueden emplear morteros embolsados (industriales) siempre y cuando los resultados de las pruebas de resistencia en los prismas y muretes de albañilería sean superiores a los especificados en los planos de diseño, pero no figura en la NTP 399.610:2013 por las razones antes explicadas.

- **Mortero polimérico**

Dado que este mortero no posee cemento como material ligante más si una mezcla de polímeros, la normativa peruana y sudamericana actual no contempla dosificaciones ni mucho menos pruebas para morteros que no posean al cemento en su composición, por lo que los distintos morteros poliméricos aún se encuentran en etapa de validación. Por el momento, se utilizan los resultados de los ensayos en prismas y muretes de albañilería para comparar los resultados con los realizados con morteros de matriz cementicia.

Para este caso, la dosificación y proporción de los polímeros está determinada por cada fabricante, en este caso, la empresa Delko Industrial S.A.C., más si existen dosificaciones recomendadas de agua que ha de agregarse para un comportamiento óptimo del mortero.

Finalmente, para completar la elaboración de los distintos morteros es necesario la adhesión de agua. La cantidad de dicho elemento se determinará según el ensayo de fluidez del mortero, prueba cuyos resultados se muestran posteriormente. Cabe mencionar que esta prueba se realizó para todos los morteros de matriz cementicia, mientras que para el mortero polimérico se empleó la cantidad de agua recomendada por el fabricante.

4.2.3.1 Elaboración (NTP 399.610:2013)

Dado que se cuenta con las proporciones definidas de cemento y arena, tanto para los morteros convencionales como para el mortero embolsado, y se ha indicado que el volumen de agua necesario se obtiene como resultado de la prueba de fluidez, se puede proseguir con la explicación del procedimiento para la elaboración de los morteros convencionales y el embolsado. Asimismo, se detallará el procedimiento recomendado por el distribuidor del mortero polimérico para su correcta aplicación.

- **Morteros convencionales C:A**

El procedimiento para elaborar un mortero convencional, independientemente de la dosificación cemento-arena (1:4 o 1:5) que este posea, es simple y se detalla a continuación:

6. Dosificar los volúmenes de cemento, arena y agua que se emplearán. Pueden utilizarse baldes, carretillas o cualquier otro elemento que permita medir el volumen.
7. Preparar la superficie donde se mezclarán los componentes, pudiendo ser una batea o en el piso, en ambos casos las superficies deben de estar limpias y libres de impurezas.
8. Mezclar el cemento y la arena con una lampa, para luego formar una cavidad central en la ruma de material.
9. Verter el agua para proseguir con el mezclado hasta lograr una consistencia uniforme y trabajable para el mortero.

- **Mortero embolsado**

El procedimiento de elaboración del mortero embolsado, es muy similar al mencionado anteriormente, dado que la mezcla de cemento y arena, ya viene realizada en el producto; por otro lado, la cantidad de agua considerada fue la indicada por el proveedor en el envase y comprobada mediante el ensayo de fluidez. A continuación, el detalle:

1. Limpiar la superficie donde se mezclarán el mortero embolsado y el agua, pudiendo ser una batea o en el piso.
2. Colocar el contenido de la(s) bolsa(s) de mortero embolsado en la superficie y formar la cavidad central para verter el agua.
3. Agregar la cantidad de agua sugerida por el distribuidor y mezclar hasta lograr una consistencia uniforme y trabajable para el mortero.

- **Mortero polimérico**

A diferencia de los morteros de matriz cementicia y de los demás morteros poliméricos del mercado, el mortero polimérico “Pegablock” tiene una presentación en polvo, por lo que es necesario agregarle agua para elaborar la mezcla. Se detalla el procedimiento recomendado:

1. Elegir la cantidad de mortero polimérico de acuerdo a la dimensión (en metros cuadrados) de albañilería que se trabajará, según el rendimiento por tipo de ladrillo especificada por el proveedor; asimismo, considerar el agua necesaria para dicho peso de mortero recomendada por el proveedor.
2. En una batea o recipiente limpio, con ayuda de una mezcladora de pintura o una batidora, mezclar el mortero polimérico en polvo con el agua hasta que se obtenga la consistencia trabajable indicada por el proveedor (similar a una pasta viscosa).
3. Verter el mortero preparado en envases plásticos (bolsas herméticas) para su mejor trabajabilidad y transporte, dichas bolsas deben de permitir que se genere un agujero en una de sus esquinas para la correcta aplicación del mortero a la hora de realizar los asentados de ladrillos.

4.2.4 Resultados de los ensayos en los morteros

La NTE E.070 indica que para los requerimientos relativos a los ensayos en mortero se debe revisar la NTP 399.610:2013, donde el principal ensayo a realizar es el de resistencia a la compresión, el cual se realizó para los morteros de matriz cementicia, pues el mortero polimérico no adquiere un estado duro tras el secado.

Cabe mencionar que adicionalmente a este ensayo, se muestran también los resultados del ensayo de fluidez y de peso unitario para los morteros convencionales, así como la comprobación del agua necesaria para el mortero embolsado, mientras que para el mortero polimérico se consideró el agua necesaria según las recomendaciones del fabricante.

4.2.4.1 Fluidez (NTP 334.057:2011)

El objetivo del ensayo es determinar la cantidad de agua idónea para que el mortero tenga una fluidez de $110\% \pm 5\%$ según lo especifica la NTP 334.057:2011. A continuación, se presentan los resultados de la fluidez para los morteros convencionales, así como para el mortero embolsado, cabe mencionar que, para este último, el ensayo sirvió para comprobar lo indicado por el proveedor.

- **Mortero convencional C:A 1:4**

En la Tabla N°4.30, se detalla la cantidad de agua necesaria para obtener la fluidez necesaria especificada por la norma.

Tabla N° 4.30 Resultados de la fluidez para mortero convencional C:A 1:4 (Elaboración propia)

Descripción	Und	Cantidad
Cemento	g	375.00
Agregado	g	1500.00
Agua	ml	350.00
Diámetro 1	cm	20.93
Diámetro 2	cm	21.15
Diámetro 3	cm	21.12
Diámetro 4	cm	21.00
Diámetro Promedio	cm	21.05
Diámetro Base	cm	10.16
Fluidez	%	107.19
Agua / Cemento (a/c)		0.93

- **Mortero convencional C:A 1:5**

Se presenta la cantidad de agua y la relación agua/cemento para alcanzar la fluidez exigida en la NTP 334.057:2011, ello en la Tabla N° 4.31.

Tabla N° 4.31 Resultados de la fluidez para mortero convencional C:A 1:5 (Elaboración propia)

Descripción	Und	Cantidad
Cemento	g	312.50
Agregado	g	1562.50
Agua	ml	280.00
Diámetro 1	cm	21.87
Diámetro 2	cm	21.60
Diámetro 3	cm	21.73
Diámetro 4	cm	21.71
Diámetro Promedio	cm	21.73
Diámetro Base	cm	10.16
Fluidez	%	113.85
Agua / Cemento (a/c)		0.90

- **Mortero embolsado**

Los resultados obtenidos para alcanzar la fluidez necesaria para el mortero embolsado, se muestran en la Tabla N° 4.32.

Tabla N° 4.32 Resultados de la fluidez para mortero embolsado (Elaboración propia)

Descripción	Und	Cantidad
Mortero embolsado 1:4	g	1875.00
Agua	ml	340.00
Diámetro 1	cm	21.50
Diámetro 2	cm	21.42
Diámetro 3	cm	21.40
Diámetro 4	cm	21.10
Diámetro Promedio	cm	21.36
Diámetro Base	cm	10.16
Fluidez	%	110.19
Agua / Cemento (a/c)		0.91

4.2.4.2 Peso Unitario (NTP 339.046:2008)

Como ensayo complementario, se hallaron los pesos unitarios de los morteros de matriz cementicia, ello siguiendo lo indicado en la NTP 339.046:2008. Se detallan los resultados en la Tabla N° 4.33.

Tabla N° 4.33 Peso unitario para morteros cementicios (Elaboración propia)

Descripción	Und	Mortero Convencional C:A 1:4	Mortero Convencional C:A 1:5	Mortero Embolsado
Peso del recipiente	g	759.45	759.45	759.45
Volumen del recipiente	ml	400.00	400.00	400.00
Peso del recipiente + Mortero	g	1594.30	1615.20	1607.80
Peso del mortero	g	834.85	855.75	848.35
Peso unitario	kg/m ³	2087.13	2139.38	2120.88

4.2.4.3 Resistencia a la Compresión (NTP 334.051:2013)

Se realizó el ensayo con seis especímenes por cada tipo de mortero cementicio (convencionales y embolsado), los cuales fueron ensayados a los 14 y 28 días de su preparación. Como se mencionó anteriormente, el mortero polimérico no fue sometido a este ensayo debido a la contextura que posee al secar, la cual es de naturaleza plástica y no alcanza a endurecer con el transcurso de los días. A continuación, los resultados obtenidos:

- **Mortero convencional C:A 1:4**

Se muestran los resultados obtenidos en la Tabla N° 4.34.

Tabla N° 4.34 Resistencia a la compresión del mortero convencional C:A 1:4 (Elaboración propia)

Muestra	Ensayo (días)	Sección		Área (cm ²)	Carga (kN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
		Largo (cm)	Ancho (cm)					
M14-1	14	5.10	5.09	25.96	41.13	4,194.03	161.56	
M14-2	14	5.10	5.10	26.01	38.50	3,925.85	150.94	154.40
M14-3	14	5.10	5.10	26.01	38.44	3,919.73	150.70	
M14-4	28	5.09	5.10	25.96	46.48	4,739.57	182.58	
M14-5	28	5.10	5.10	26.01	41.97	4,279.68	164.54	173.37
M14-6	28	5.10	5.11	26.06	44.21	4,508.09	172.98	

- **Mortero convencional C:A 1:5**

Los resultados obtenidos para el mortero de dosificación 1:5 se muestran en la Tabla N° 4.35.

Tabla N° 4.35 Resistencia a la compresión del mortero convencional C:A 1:5 (Elaboración propia)

Muestra	Ensayo (días)	Sección		Área (cm ²)	Carga (kN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
		Largo (cm)	Ancho (cm)					
M15-1	14	5.10	5.09	25.96	35.38	3,607.70	138.98	130.47
M15-2	14	5.10	5.10	26.01	32.30	3,293.63	126.63	
M15-3	14	5.10	5.10	26.01	32.09	3,272.22	125.81	
M15-4	28	5.12	5.11	26.16	39.42	4,019.66	153.64	146.54
M15-5	28	5.10	5.10	26.01	35.71	3,641.35	140.00	
M15-6	28	5.11	5.10	26.06	37.31	3,804.50	145.98	

- **Mortero embolsado**

Las resistencias a la compresión alcanzadas por los cubitos de mortero embolsado se detallan en la Tabla N° 4.36.

Tabla N° 4.36 Resistencia a la compresión del mortero embolsado (Elaboración propia)

Muestra	Ensayo (días)	Sección		Área (cm ²)	Carga (kN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
		Largo (cm)	Ancho (cm)					
ME-1	14	5.12	5.12	26.21	46.87	4,779.33	182.32	178.01
ME-2	14	5.10	5.08	25.91	43.65	4,450.99	171.80	
ME-3	14	5.10	5.10	26.01	45.89	4,679.40	179.91	
ME-4	28	5.09	5.10	25.96	51.09	5,209.65	200.69	199.43
ME-5	28	5.10	5.10	26.01	49.76	5,074.03	195.08	
ME-6	28	5.11	5.11	26.11	51.86	5,288.16	202.52	

Como se observa en las tablas, el mortero que mayor resistencia adquiere es el mortero embolsado, seguido por el mortero convencional C:A 1:4 y finalizando con el mortero convencional C:A de dosificación 1:5.

Asimismo, de la clasificación planteada en la NTP 399.610:2013, podemos afirmar por las resistencias obtenidas que el mortero convencional C:A 1:4 y el mortero embolsado podrían clasificarse como Morteros Tipo M, mientras que el mortero convencional C:A 1:5 encajaría dentro de un Mortero Tipo S.

En el Gráfico N° 4.3, se puede observar las variaciones existentes en las resistencias alcanzadas por los tres morteros ensayados a lo largo del tiempo.

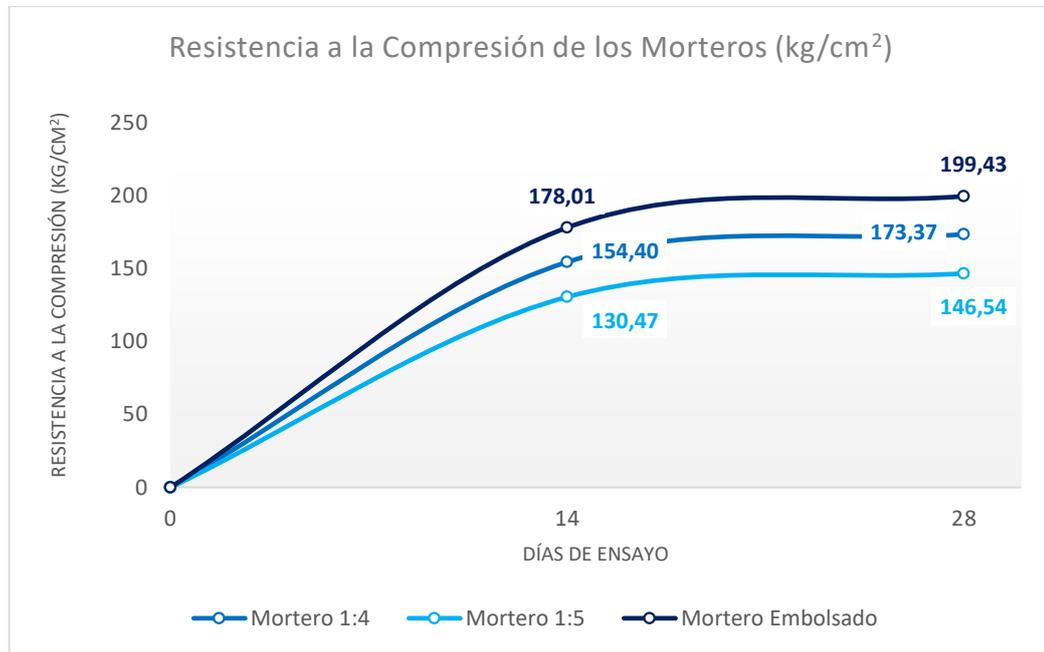


Gráfico N° 4.3 Comparación de Resistencias a la Compresión en morteros

CAPÍTULO V: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PILAS Y MURETES DE ALBAÑILERÍA

A diferencia del capítulo anterior, donde se evaluaron los materiales componentes de los muros de albañilería de forma individual (unidad de albañilería, agregado y mortero); este capítulo hace referencia a la elaboración, ensayo y resultados de las pruebas realizadas a los prismas y muretes de albañilería, que serían la forma conjunta de los materiales componentes anteriormente mencionados y analizados, describiendo lo obtenido en los ensayos de compresión axial de pilas, compresión diagonal de muretes y adherencia en prismas de albañilería.

5.1 COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS DE ALBAÑILERÍA

Como se mencionó en el Capítulo III, la norma que regula este ensayo es la NTP 399.605:2013, en ella se describe el procedimiento para la construcción, ensayo y cálculos necesarios para determinar la resistencia en los prismas de albañilería. Dado que gran parte de los puntos mencionados, ya se desarrollaron con anterioridad, en seguida se hará hincapié en temas no profundizados, como la elaboración de los prismas considerando todos los tipos de morteros y ladrillos empleados en la investigación, y los resultados obtenidos tras el ensayo.

Cabe mencionar que la principal diferencia del uso de morteros de cementos o morteros poliméricos en pilas de albañilería, se da en la etapa de construcción, cuyos procedimientos se explicarán detalladamente. Sin embargo, la etapa de ensayo y análisis de resultados es similar en todos los casos. A continuación, se detallarán ambos procedimientos, así como los resultados obtenidos tras ellos.

5.1.1 Elaboración de pilas de albañilería

El proceso y recomendaciones para la elaboración de pilas de albañilería se menciona en apartado 6 de la NTP 399.605:2013 y hace referencia a pilas elaboradas usando morteros de cemento, ello porque los ensayos que sirvieron como sustento de la norma utilizaron este tipo de mortero. Es así que en el caso del uso de morteros de cemento (mortero convencional y mortero embolsado) para la construcción de pilas, ambos procedimientos son muy similares, siendo la única variación, la forma en la que se preparan los morteros, cuyos procedimientos

fueron explicados en el Capítulo IV. Mientras que, por otro lado, la construcción de pilas de albañilería empleando morteros poliméricos, además de poseer diferencias en la preparación del mortero, también es diferente en cuanto a la aplicación del mismo. A continuación, se detallan ambos procedimientos.

5.1.1.1 Pilas de albañilería con morteros de cemento

Se muestra el procedimiento a seguir para elaborar pilas de albañilería con morteros de cemento, sean éstos los convencionales o embolsados. Dado que en el capítulo anterior se detallaron los procedimientos para elaborar los morteros, los cuales representan la única diferencia entre el proceso de construcción de pilas con mortero convencional y el embolsado, éstos no serán incluidos en el detalle que se presenta a continuación.

- **Consideraciones generales**

Las pilas de albañilería estarán compuestas por cuatro (04) ladrillos por cada tipo de unidad investigadas, los cuales estarán asentados en forma de pila, uno sobre otro, adheridos por una junta de mortero de 1.5 cm de dimensión. Asimismo, se construirán tres (03) pilas por cada una de las nueve (09) combinaciones posibles de ladrillo-mortero de cemento.

- **Procedimiento**

1. Se elegirán los ladrillos que no presenten grietas ni desperfectos notorios y en caso posean salientes, éstas deben de ser removidas.
2. En el caso de los ladrillos de arcilla, King Kong 18 huecos y Pandereta Acanalada, los especímenes seleccionados deben de sumergirse en agua por alrededor de 2.5 minutos, ello con la intención de que, al interactuar con el mortero, no absorban el agua del mismo. Por otro lado, en el caso de los ladrillos de concreto, éstos no deben de humedecerse, dado el agua dificulta la adhesión mortero-concreto.
3. En una superficie o recipiente limpio, se elabora la mezcla del mortero según la dosificación necesaria (Ver 4.2.3.1 Elaboración de mortero, Capítulo IV).
4. Sobre una superficie nivelada, se coloca el primer ladrillo y sobre él, se aplica una capa de mortero de 1.5 cm de espesor. Tras ello, se coloca

el segundo ladrillo, verificando la horizontalidad con un nivel de mano o un escantillón y la verticalidad con la plomada. Se repite el procedimiento, intercalando mortero y ladrillo, hasta completar los cuatro ladrillos necesarios para la pila (Figura N°5.1).

5. Tras construir las pilas, éstas deben de cubrirse con polietileno con la finalidad de que el agua que se evapore con el paso de los días no se pierda con facilidad. El polietileno debe permanecer hasta 3 días antes del ensayo.
6. Los prismas son transportados al laboratorio, dónde se anotan las dimensiones de ancho, longitud y altura de cada uno, para posteriormente refrendar la cara superior e inferior de los especímenes, como paso previo al ensayo (Figura N°5.2).



Figura N° 5.1 Colocación de mortero de cemento y asentado de ladrillos



Figura N° 5.2 Pilas de albañilería de diferentes combinaciones de mortero de cemento y ladrillaría (izquierda); Refrendado de pilas de albañilería (derecha)

5.1.1.2 Pilas de albañilería con mortero polimérico

El procedimiento para la elaboración de estas pilas varía respecto al detallado anteriormente en cuanto a la preparación del mortero y la aplicación del mismo sobre las unidades de albañilería. Asimismo, dado que este mortero no está considerado dentro de los parámetros de la NTP 399.605:2013, se hará una adaptación del procedimiento de construcción considerando lo mencionado por el proveedor del producto para su correcta preparación y aplicación.

- **Consideraciones generales**

Las pilas de albañilería estarán compuestas por cuatro (04) ladrillos por cada tipo de unidad investigadas, los cuales estarán asentados en forma de pila, uno sobre otro, adheridos por una junta de mortero polimérico de entre 1 y 3 mm de dimensión. Asimismo, se construirán tres (03) pilas por cada una de las tres (03) combinaciones posibles de ladrillo y mortero polimérico.

- **Procedimiento**

1. Serán elegidos aquellos los ladrillos que no presenten grietas ni desperfectos notorios y en caso posean salientes, éstas deben de ser removidas. Asimismo, todas las unidades deben de estar limpias de polvo, grasa, arena, aceites u otro material perjudicial, priorizar las superficies de asiento (cara superior e inferior del ladrillo), ello con la intención de garantizar una óptima interacción mortero-ladrillo.
2. No se recomienda que las unidades de albañilería sean humedecidas previamente, ello porque retarda el tiempo de secado del mortero.
3. En un recipiente limpio y con ayuda de una batidora, se elabora el mortero polimérico según las proporciones de agua recomendadas por el proveedor, asimismo la cantidad de mortero está relacionada a la cantidad de metros cuadrados de ladrillos a asentarse (Ver 4.2.3.1 Elaboración de mortero del Capítulo IV). Una vez listo el mortero, depositarlo en envases plásticos (bolsas herméticas con punta) para facilitar su aplicación, la que se dará cortando uno de los extremos en punta de la bolsa, mediante el corte de una tijera.
4. Sobre una superficie plana y nivelada, se coloca el primer ladrillo y sobre él, se aplican dos hiladas del mortero polimérico sobre la

superficie de asiento, ello en forma de forma continua y longitudinal al ladrillo, en caso el ladrillo presente problemas geométricos en su superficie se recomienda aplicar una tercera hilada. El espesor de las hiladas será de entre 5 a 8 mm, pues éste disminuirá al colocarse el siguiente ladrillo, asimismo este espesor está relacionada al tamaño del corte de la bolsa de aplicación, por lo que es necesario un control exhaustivo de dicha dimensión. Seguidamente, se coloca el segundo ladrillo, verificando la horizontalidad con un nivel de mano o un escantillón y la verticalidad con la plomada. Se repite el procedimiento, intercalando hiladas de mortero polimérico y ladrillos, hasta completar los cuatro ladrillos necesarios para la pila (Figura N°5.3).

5. Tras construir las pilas, éstas deben de ser cubiertas con polietileno para su protección ante los rayos solares y los vientos. El polietileno permanecerá hasta 3 días antes del ensayo.
6. Transcurrido el tiempo mencionado, los prismas son transportados al laboratorio, dónde se toma nota de las dimensiones de ancho, longitud y altura de cada uno, para posteriormente refrendar la cara superior e inferior de los especímenes con la finalidad de nivelar las superficies de contacto que estarán expuestas a la máquina de ensayo, ello como paso previo al ensayo (Figura N° 5.4).



Figura N° 5.3 Construcción de pilas de albañilería (ladrillos Konkreto) mediante la aplicación de mortero polimérico



Figura N° 5.4 Protección de pilas empleando polietileno (izquierda); Refrendado de pilas de albañilería de mortero polimérico (derecha)

5.1.2 Ensayo de compresión axial en pilas de albañilería

Las pilas de albañilería se ensayan según el procedimiento especificado en la NTP 399.605:2013 y que a su vez se detalla en el Capítulo III, asimismo en la presente investigación las pilas fueron ensayadas a los 28 días de su elaboración. El procedimiento de ensayo es similar para cualquier pila de albañilería, es decir que tanto las pilas construidas con mortero de cemento y las construidas con mortero polimérico, tienen las mismas consideraciones para ensayarse. A continuación, en la Figura N° 5.5 y N° 5.6, se muestran imágenes de los ensayos realizados.



Figura N° 5.5 Ensayo de compresión axial en pilas de albañilería de ladrillos (King Kong 18 huecos, Pandereta Acanalada y Konkreto) y morteros de cemento (Convencional C:A 1:4, Convencional C:A 1:5 y Embolsado)



Figura N° 5.6 Ensayo de compresión axial en pilas de albañilería de ladrillos (King Kong 18 huecos, Pandereta Acanalada y Konkreto) y mortero polimérico

5.1.3 Resultados

Tras la realización de los ensayos se pueden obtener las cargas de rotura o falla de los prismas, estos datos aunados a los datos geométricos de los prismas permiten seguir el procedimiento de cálculo mencionado en la NTP 399.605:2013 y recogido en el apartado 3.3.1 del Capítulo III de la presente investigación.

Para facilitar la nomenclatura de los distintos especímenes, pues existen doce (12) posibles combinaciones entre las tres (03) clases de ladrillos y los cuatro (04) tipos de morteros empleados. Se considerará lo presentado en la Tabla N° 5.1:

Tabla N° 5.1 Nomenclatura empleada para las pilas de albañilería (Elaboración propia)

Componente	Rótulo	Descripción
Ladrillos	A	Ladrillo Clase A - King Kong 18 huecos
	B	Ladrillo Clase B - Pandereta Acanalada
	C	Ladrillo Clase C - Konkreto
Morteros	M14	Mortero Convencional C:A 1:4
	M15	Mortero Convencional C:A 1:5
	ME	Mortero Embolsado (1:4)
	MP	Mortero Polimérico
Ensayo	CAP	Compresión Axial en Pilas

Asimismo, en las posteriores tablas, se presentarán los datos geométricos de las pilas, los resultados del ensayo y el tratamiento de datos para obtener la resistencia característica de las pilas de albañilería.

5.1.3.1 Resultados en pilas de albañilería elaboradas con ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla

La Tabla N° 5.2 contiene las dimensiones de las pilas elaboradas con ladrillos King Kong 18 huecos, así como las áreas brutas de las secciones transversales a la superficie de carga; todo ello considerando los cuatro distintos tipos de mortero. Los datos se obtuvieron previos al ensayo de resistencia.

Tabla N° 5.2 Dimensiones de las pilas de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área transversal (cm ²)
A-M14-1-CAP	40.675	22.650	12.050	272.93
A-M14-2-CAP	39.825	22.675	12.100	274.37
A-M14-3-CAP	40.000	22.725	12.125	275.54
A-M15-1-CAP	40.050	22.625	12.125	274.33
A-M15-2-CAP	40.275	22.675	12.125	274.93
A-M15-3-CAP	40.075	22.650	12.100	274.07
A-ME-1-CAP	40.175	22.625	12.000	271.50
A-ME-2-CAP	39.850	22.750	12.200	277.55
A-ME-3-CAP	40.175	23.000	12.125	278.88
A-MP-1-CAP	37.725	22.825	12.000	273.90
A-MP-2-CAP	37.550	22.525	12.225	275.37
A-MP-3-CAP	37.600	22.650	12.050	272.93

La carga máxima de falla obtenida para cada espécimen, se muestra en la Tabla N° 5.3, donde además se obtiene la resistencia a la compresión y el tipo de falla.

Tabla N° 5.3 Esfuerzo máximo en pilas de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Espécimen	Área transversal (cm ²)	Carga (kg)	f _m - Resistencia a la Compresión (kg / cm ²)	Tipo de Falla
A-M14-1-CAP	272.93	21,100	77.31	Tracción Ortogonal
A-M14-2-CAP	274.37	21,950	80.00	Tracción Ortogonal
A-M14-3-CAP	275.54	22,400	81.29	Tracción Ortogonal
A-M15-1-CAP	274.33	18,850	68.71	Tracción Ortogonal
A-M15-2-CAP	274.93	18,200	66.20	Tracción Ortogonal
A-M15-3-CAP	274.07	18,500	67.50	Tracción Ortogonal
A-ME-1-CAP	271.50	17,320	63.79	Mixta
A-ME-2-CAP	277.55	18,200	65.57	Tracción Ortogonal
A-ME-3-CAP	278.88	17,800	63.83	Mixta
A-MP-1-CAP	273.90	7,600	27.75	Mixta
A-MP-2-CAP	275.37	8,500	30.87	Mixta
A-MP-3-CAP	272.93	6,800	24.91	Mixta

En la Tabla N° 5.4 se presentan el tratamiento para obtener la resistencia a la compresión corregida, mediante el factor de corrección obtenido de la esbeltez, la resistencia a la compresión promedio y la resistencia a la compresión característica para las pilas elaboradas con ladrillos King Kong 18 huecos (Clase A) y los cuatro tipos de morteros: convencionales, embolsado y polimérico.

Tabla N° 5.4 Resistencia a la compresión, promedio y característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Espécimen	f_m - RC (kg / cm ²)	Esbeltez	Factor de Corrección	f'_m - RC Corregida (kg / cm ²)	f'_{mp} - RC Promedio (kg / cm ²)	Desv. Estándar	f'_{mc} - RC Característica (kg / cm ²)
A-M14-1-CAP	77.31	3.38	0.925	71.51			
A-M14-2-CAP	80.00	3.29	0.922	73.73	73.40	1.74	71.66
A-M14-3-CAP	81.29	3.30	0.922	74.95			
A-M15-1-CAP	68.71	3.30	0.922	63.36			
A-M15-2-CAP	66.20	3.32	0.923	61.09	62.24	1.14	61.11
A-M15-3-CAP	67.50	3.31	0.922	62.27			
A-ME-1-CAP	63.79	3.35	0.924	58.94			
A-ME-2-CAP	65.57	3.27	0.921	60.37	59.40	0.84	58.56
A-ME-3-CAP	63.83	3.31	0.923	58.88			
A-MP-1-CAP	27.75	3.14	0.916	25.41			
A-MP-2-CAP	30.87	3.07	0.913	28.18	25.46	2.69	22.77
A-MP-3-CAP	24.91	3.12	0.915	22.79			

*RC: Resistencia a la Compresión

El Gráfico N° 5.1 muestra visualmente una aproximación de la evolución de la resistencia de los prismas, desde su elaboración hasta el día de su ensayo.

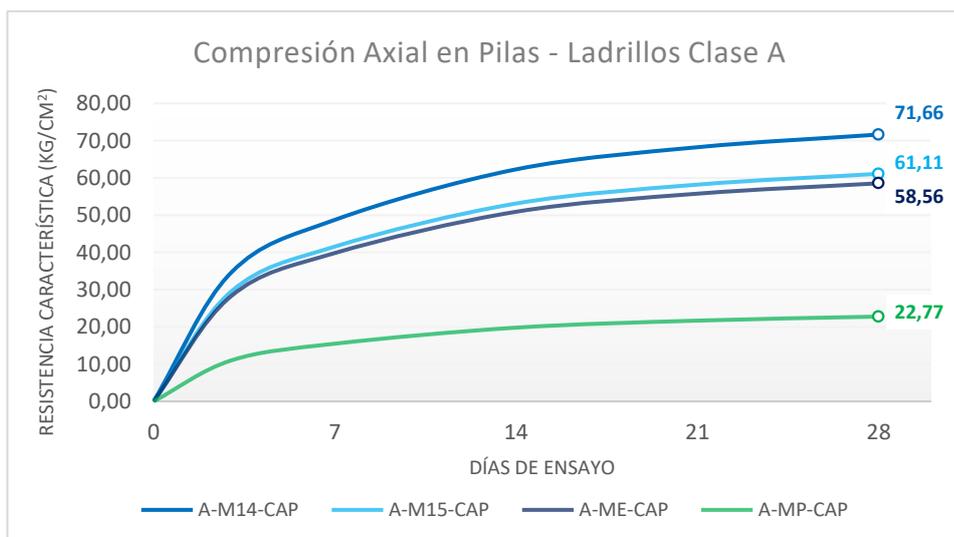


Gráfico N° 5.1 Comparación de la resistencia a la compresión axial característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Se presentan en imágenes los modos de falla en las pilas según el tipo de mortero utilizado, siendo la mayoría fallas con grietas verticales (tracción ortogonal):



Figura N° 5.7 Vista lateral de fallas en las pilas (Ladrillo: Clase A – Mortero: Convencional C:A 1:4)



Figura N° 5.8 Vista lateral de fallas en las pilas (Ladrillo: Clase A – Mortero: Convencional C:A 1:5)



Figura N° 5.9 Vista lateral de fallas en las pilas (Ladrillo: Clase A – Mortero: Embolsado)

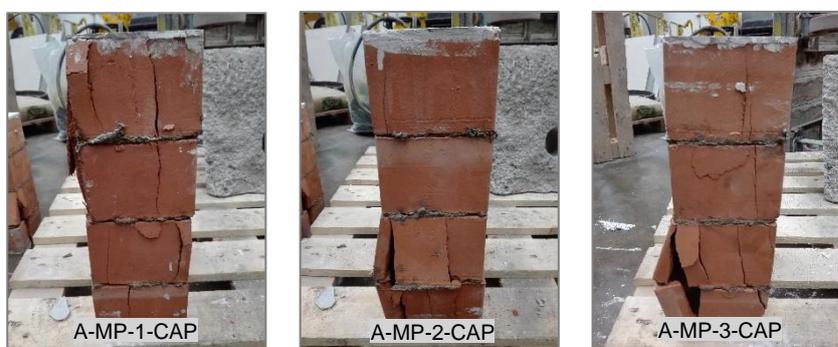


Figura N° 5.10 Vista lateral de fallas en las pilas (Ladrillo: Clase A – Mortero: Polimérico)

Asimismo, en la Tabla N° 5.5, se presenta un cuadro comparativo de las resistencias características alcanzadas empleando los cuatro distintos morteros y el ladrillo Clase A – King Kong 18 huecos, ello expresado en porcentajes; cabe resaltar que los porcentajes se calculan respecto al mayor valor.

Tabla N° 5.5 Comparación de Resistencia a la compresión característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Pilas	f_{mc} - Resist. Comp. Característica (kg / cm ²)	Porcentaje (%)
Mortero Convencional C:A 1:4	71.66	100%
Mortero Convencional C:A 1:5	61.11	85%
Mortero Embolsado	58.56	82%
Mortero Polimérico	22.77	32%

Como se aprecia con los resultados, el mortero que mejor se comportan con el ladrillo King Kong 18 huecos (Clase A) es el mortero convencional C:A de dosificación 1:4, el cual además supera los valores propuestos por la NTE E.070 en caso no se realicen ensayos (65 kg/cm²). Tras esta combinación, el mortero convencional C:A 1:5 y el mortero embolsado prácticamente poseen resultados similares y cercanos a lo especificado por la norma, mientras que el mortero polimérico queda alejado de lo permitido.

5.1.3.2 Resultados en pilas de albañilería elaboradas con ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla

En la Tabla N° 5.6 se presentan las dimensiones de las pilas elaboradas con ladrillos Pandereta Acanalada, así como las áreas brutas de las secciones transversales a la superficie de carga; ello considerando los cuatro distintos tipos de mortero estudiados en la presente investigación. Asimismo, las dimensiones fueron obtenidas previas al ensayo de resistencia.

Tabla N° 5.6 Dimensiones de las pilas de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área transversal (cm ²)
B-M14-1-CAP	42.400	22.825	11.025	251.65
B-M14-2-CAP	41.850	22.850	10.975	250.78
B-M14-3-CAP	42.025	22.850	11.175	255.35
B-M15-1-CAP	42.625	22.775	11.125	253.37
B-M15-2-CAP	41.800	22.900	11.025	252.47
B-M15-3-CAP	41.675	22.775	11.075	252.23
B-ME-1-CAP	42.050	22.925	11.275	258.48
B-ME-2-CAP	43.125	23.025	10.925	251.55
B-ME-3-CAP	42.400	22.825	11.175	255.07
B-MP-1-CAP	38.200	22.625	11.000	248.88
B-MP-2-CAP	38.450	22.725	10.950	248.84
B-MP-3-CAP	38.375	22.875	10.825	247.62

Las cargas máximas de falla de las pilas de albañilería ensayadas, se muestran en la Tabla N° 5.7, donde además se obtiene la resistencia a la compresión.

Tabla N° 5.7 Esfuerzo máximo en pilas de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Espécimen	Área transversal (cm ²)	Carga (kg)	f_m - Resistencia a la Compresión (kg / cm ²)	Tipo de Falla
B-M14-1-CAP	251.65	8,700	34.57	Aplastamiento
B-M14-2-CAP	250.78	8,930	35.61	Aplastamiento
B-M14-3-CAP	255.35	8,100	31.72	Aplastamiento
B-M15-1-CAP	253.37	5,300	20.92	Aplastamiento
B-M15-2-CAP	252.47	5,600	22.18	Aplastamiento
B-M15-3-CAP	252.23	6,300	24.98	Aplastamiento
B-ME-1-CAP	258.48	5,400	20.89	Aplastamiento
B-ME-2-CAP	251.55	4,800	19.08	Aplastamiento
B-ME-3-CAP	255.07	6,200	24.31	Aplastamiento
B-MP-1-CAP	248.88	3,000	12.05	Aplastamiento
B-MP-2-CAP	248.84	2,300	9.24	Aplastamiento
B-MP-3-CAP	247.62	2,200	8.88	Aplastamiento

La Tabla N° 5.8 recoge el tratamiento necesario para obtener la resistencia a la compresión corregida, mostrando el factor de corrección obtenido de la esbeltez, la resistencia a la compresión promedio y la resistencia a la compresión característica para las pilas elaboradas con ladrillos Pandereta Acanalada (Clase B) y los cuatro tipos de morteros: convencional C:A 1:4, convencional C:A 1:5, embolsado y polimérico.

Tabla N° 5.8 Resistencia a la compresión, promedio y característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Espécimen	$f_m - RC$ (kg / cm ²)	Esbeltéz	Factor de Corrección	$f'_m - RC$ Corregida (kg / cm ²)	$f'_{mp} - RC$ Promedio (kg / cm ²)	Desviación Estándar	$f'_{mc} - RC$ Característica (kg / cm ²)
B-M14-1-CAP	34.57	3.85	0.944	32.63			
B-M14-2-CAP	35.61	3.81	0.943	33.56	32.01	1.94	30.07
B-M14-3-CAP	31.72	3.76	0.940	29.83			
B-M15-1-CAP	20.92	3.83	0.943	19.73			
B-M15-2-CAP	22.18	3.79	0.942	20.89	21.37	1.93	19.44
B-M15-3-CAP	24.98	3.76	0.941	23.49			
B-ME-1-CAP	20.89	3.73	0.939	19.62			
B-ME-2-CAP	19.08	3.95	0.948	18.09	20.20	2.45	17.75
B-ME-3-CAP	24.31	3.79	0.942	22.89			
B-MP-1-CAP	12.05	3.47	0.929	11.20			
B-MP-2-CAP	9.24	3.51	0.930	8.60	9.36	1.60	7.76
B-MP-3-CAP	8.88	3.55	0.932	8.28			

*RC: Resistencia a la Compresión

En el Gráfico N° 5.2, se muestra una aproximación de la evolución de la resistencia de los prismas, desde su elaboración hasta el día de su ensayo, cuyo dato es real.

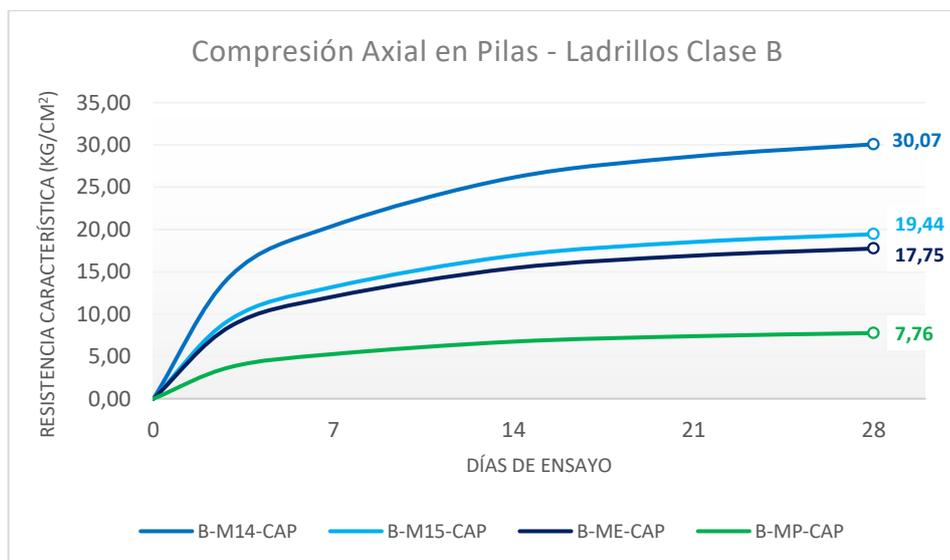


Gráfico N° 5.2 Comparación de la resistencia a la compresión axial característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

En las figuras que se presentan a continuación, se puede apreciar los modos de falla de las pilas de ladrillo Pandereta Acanalada y los distintos tipos de morteros empleados, que en su mayoría son **fallas por trituración (aplastamiento)**, ello por ser unidades huecas lo que genera fallas frágiles y destructivas.



Figura N° 5.11 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase B – Mortero: Convencional C:A 1:4)



Figura N° 5.12 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase B – Mortero: Convencional C:A 1:5)



Figura N° 5.13 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase B – Mortero: Embolsado)



Figura N° 5.14 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase B – Mortero: Polimérico)

La Tabla N° 5.9, presenta la comparación de las resistencias características alcanzadas empleando los cuatro distintos morteros y el ladrillo Clase B – Pandereta Acanalada, ello expresado en porcentajes; cabe resaltar que los porcentajes se calculan respecto al mayor valor.

Tabla N° 5.9 Comparación de Resistencia a la compresión característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Pilas	f_{mc} - Resist. Comp. Característica (kg / cm ²)	Porcentaje (%)
Mortero Convencional C:A 1:4	30.07	100%
Mortero Convencional C:A 1:5	19.44	65%
Mortero Embolsado	17.75	59%
Mortero Polimérico	7.76	26%

Al igual que en el caso del ladrillo King Kong 18 huecos, el mortero que posee mejor comportamiento en conjunto al ladrillo Pandereta Acanalada (Clase B) es el mortero convencional C:A de dosificación 1:4, seguidos del mortero convencional C:A 1:5 y el mortero embolsado, habiendo una diferencia más apreciable entre ambos en comparación a los resultados del ladrillo Clase A. Finalmente, el conjunto de mortero polimérico y ladrillo Pandereta Acanalada también queda rezagado en comparación al resto. Cabe indicar que estos resultados no se comparan con los exigidos por la NTE E.070, dado que el ladrillo Pandereta Acanalada es no estructural, como se demostró en el capítulo anterior en los ensayos de las unidades de albañilería.

5.1.3.3 Resultados en pilas de albañilería elaboradas con ladrillos Clase C: Koncreto de concreto

Las dimensiones de las pilas elaboradas con ladrillos de concreto denominados ladrillos Koncreto y las secciones transversales a la superficie de carga para cada uno de los cuatro distintos tipos de mortero se presentan en la tabla N° 5.10. Cabe resaltar que estos datos se obtuvieron previos al ensayo de resistencia.

Tabla N° 5.10 Dimensiones de las pilas de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área transversal (cm ²)
C-M14-1-CAP	39.325	21.925	12.900	282.83
C-M14-2-CAP	39.675	21.875	12.900	282.19
C-M14-3-CAP	39.575	21.875	12.875	281.64
C-M15-1-CAP	40.000	21.875	12.800	280.00
C-M15-2-CAP	40.000	21.925	12.850	281.74
C-M15-3-CAP	39.775	21.950	12.875	282.61
C-ME-1-CAP	40.300	21.900	12.925	283.06
C-ME-2-CAP	40.100	21.875	12.925	282.73
C-ME-3-CAP	40.250	21.875	12.875	281.64
C-MP-1-CAP	37.275	21.875	12.975	283.83
C-MP-2-CAP	37.450	21.900	12.950	283.61
C-MP-3-CAP	37.550	21.875	12.925	282.73

En la Tabla N° 5.11 se muestra la carga máxima de falla obtenida para cada espécimen, donde también se puede apreciar el valor de la resistencia a la compresión.

Tabla N° 5.11 Esfuerzo máximo en pilas de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Espécimen	Área transversal (cm ²)	Carga (kg)	f_m - Resistencia a la Compresión (kg / cm ²)	Tipo de Falla
C-M14-1-CAP	282.83	50,200	177.49	Tracción Ortogonal
C-M14-2-CAP	282.19	46,500	164.78	Tracción Ortogonal
C-M14-3-CAP	281.64	48,600	172.56	Tracción Ortogonal
C-M15-1-CAP	280.00	44,400	158.57	Tracción Ortogonal
C-M15-2-CAP	281.74	43,200	153.33	Tracción Ortogonal
C-M15-3-CAP	282.61	46,500	164.54	Tracción Ortogonal
C-ME-1-CAP	283.06	40,100	141.67	Tracción Ortogonal
C-ME-2-CAP	282.73	42,200	149.26	Tracción Ortogonal
C-ME-3-CAP	281.64	41,500	147.35	Tracción Ortogonal
C-MP-1-CAP	283.83	21,600	76.10	Tracción Ortogonal
C-MP-2-CAP	283.61	20,600	72.64	Tracción Ortogonal
C-MP-3-CAP	282.73	19,550	69.15	Mixta

El tratamiento para obtener la resistencia a la compresión corregida, mediante el factor de corrección obtenido de la esbeltez, la resistencia a la compresión promedio y la resistencia a la compresión característica para las pilas elaboradas con ladrillos Koncreto (Clase C) y los cuatro tipos de morteros, se muestran en la Tabla N° 5.12.

Tabla N° 5.12 Resistencia a la compresión, promedio y característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Espécimen	f_m - RC (kg / cm ²)	Esbeltez	Factor de Corrección	f'_m - RC Corregida (kg / cm ²)	f'_{mp} - RC Promedio (kg / cm ²)	Desviación Estándar	f'_{mc} - RC Característica (kg / cm ²)
C-M14-1-CAP	177.49	3.05	0.912	161.86			
C-M14-2-CAP	164.78	3.08	0.913	150.45	156.62	5.76	150.86
C-M14-3-CAP	172.56	3.07	0.913	157.54			
C-M15-1-CAP	158.57	3.13	0.915	145.09			
C-M15-2-CAP	153.33	3.11	0.915	140.23	145.21	5.05	140.17
C-M15-3-CAP	164.54	3.09	0.914	150.32			
C-ME-1-CAP	141.67	3.12	0.915	129.59			
C-ME-2-CAP	149.26	3.10	0.914	136.44	133.62	3.58	130.04
C-ME-3-CAP	147.35	3.13	0.915	134.83			
C-MP-1-CAP	76.10	2.87	0.882	67.12			
C-MP-2-CAP	72.64	2.89	0.886	64.37	64.33	2.82	61.50
C-MP-3-CAP	69.15	2.91	0.889	61.48			

*RC: Resistencia a la Compresión

En el Gráfico N° 5.3, se presenta una aproximación de la evolución de la resistencia de los prismas, desde su elaboración hasta el día de su ensayo, el cual se realizó a los 28 días.

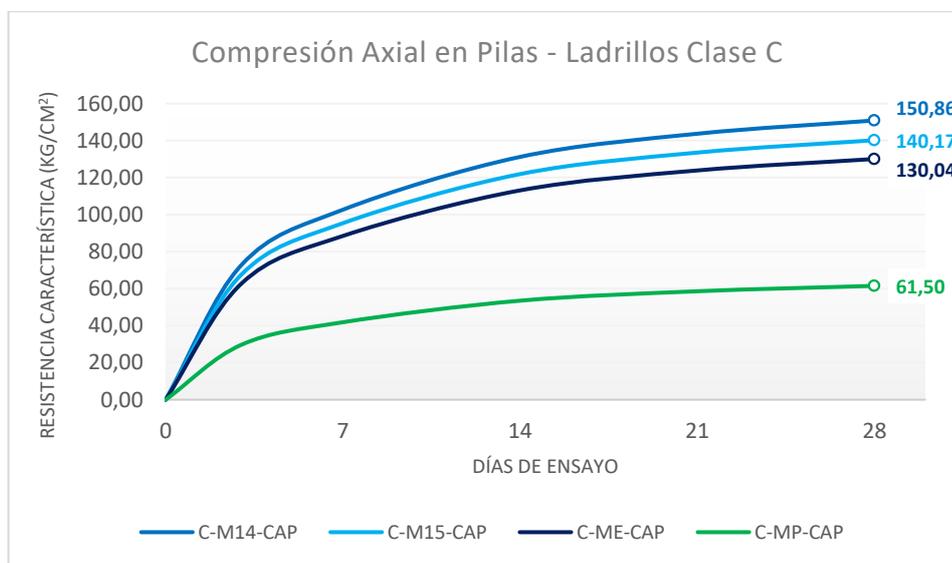


Gráfico N° 5.3 Comparación de la resistencia a la compresión axial característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

A continuación, se presentan imágenes de los modos de falla de las pilas de ladrillo Koncreto y los cuatro distintos tipos de morteros empleados, dichas fallas en su mayoría fueron **fallas con grietas verticales (tracción ortogonal)**, debido a la extensión lateral causadas por la carga aplicada.



Figura N° 5.15 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase C – Mortero: Convencional C:A 1:4)



Figura N° 5.16 Vista lateral de fallas en pilas (Ladrillo: Clase C – Mortero: Convencional C:A 1:5)



Figura N° 5.17 Vista lateral de las fallas en las pilas (Ladrillo: Clase C – Mortero: Embolsado)



Figura N° 5.18 Vista lateral de las fallas en las pilas (Ladrillo: Clase C – Mortero: Polimérico)

Por último, en la Tabla N° 5.13, se presenta una comparación, en porcentajes, de las resistencias características alcanzadas empleando los cuatro distintos morteros y el ladrillo Clase C – Koncreto. Cabe resaltar que los porcentajes que se muestran para cada mortero se calculan respecto al mayor valor.

Tabla N° 5.13 Comparación de Resistencia a la compresión característica de pilas de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Pilas	f_{mc} - Resist. Comp. Característica (kg / cm ²)	Porcentaje (%)
Mortero Convencional C:A 1:4	150.86	100%
Mortero Convencional C:A 1:5	140.17	93%
Mortero Embolsado	130.04	86%
Mortero Polimérico	61.50	41%

Al igual que para los dos tipos de ladrillos anteriormente estudiados, el mortero convencional C:A de dosificación 1:4 es el mortero que tiene mejor comportamiento en conjunto al ladrillo de concreto denominado Koncreto (Clase C). El orden de comportamiento, también se mantiene, siguiendo el mortero convencional C:A 1:5, el mortero embolsado y finalmente el mortero polimérico.

Asimismo, los ensayos con los tres primeros morteros logran superar los valores para la resistencia de pilas de ladrillos de arcilla (valor máximo = 85 kg/cm²), ladrillos sílico-calcáreos (valor máximo = 110 kg/cm²) y bloques portantes (valor máximo = 120 kg/cm²), que se detallan en la NTE E.070 en caso no realicen ensayos de laboratorio, lo que nos indica que tienen un buen comportamiento. Los valores alcanzados por el mortero polimérico son la única excepción, pero logran alcanzar los valores de una pila de ladrillo King Kong industrial con mortero convencional C:A 1:4, más no los de un ladrillo sílico-calcáreo o un bloque de concreto para muros portantes.

5.2 COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE ALBAÑILERÍA

En el caso de los muretes, la norma que regula el procedimiento para la construcción, el ensayo y los cálculos necesarios para determinar la resistencia a la compresión diagonal (esfuerzo cortante), la deformación angular y el módulo de corte de los muretes de albañilería es la NTP 399.621:2004, como se mencionó y describió en el Capítulo III de la presente investigación. Contemplando que el procedimiento del ensayo fue desarrollado en el capítulo al que se hace referencia anteriormente, a continuación, se tratarán con mayor detalle los temas de la elaboración de los muretes considerando cada uno de los tipos de morteros y ladrillos empleados, así como los resultados obtenidos tras el ensayo.

Al igual que ocurrió con las pilas de albañilería, la principal diferencia entre uso de morteros de cementos o morteros poliméricos para muretes de albañilería, se presenta en la etapa de construcción, cuyos procedimientos serán detallados en el desarrollo de este apartado. Por otro lado, la etapa de ensayo y procesamiento de resultados es similar para todos los casos.

A continuación, se detallará lo mencionado anteriormente, considerando las variaciones entre las combinaciones de mortero y ladrillo empleadas para los muretes.

5.2.1 Elaboración de muretes de albañilería

Aun cuando la información presente en la NTP 399.621:2004 no especifica a detalle el procedimiento de construcción de muretes en un apartado especial, éste se puede interpretar de los requerimientos que se exigen para los especímenes a ensayar, así como del ensayo en sí. Asimismo, la NTE E.070 menciona algunas recomendaciones para elaborar los muretes.

Caso similar a los procedimientos de elaboración de las pilas de albañilería ocurre con los muretes, pues prácticamente el total de normas contempla para su redacción y análisis datos procedentes de ensayos en muretes elaborados con morteros de cemento, independientemente de su presentación (hecha in situ o industrializada). Es por ello que los procedimientos para la elaboración de muretes empleando morteros convencionales y morteros embolsados serán descritos como un procedimiento único empleando morteros de cemento, ello porque

ambos son muy similares, diferenciándose solamente en el procedimiento para la elaboración del mortero, cuyos procedimientos fueron descritos en el Capítulo IV.

Por otro lado, para el caso del uso del mortero polimérico para la construcción de muretes, que además de presentar diferencias en cuanto a la elaboración del mortero, también presenta un procedimiento de construcción distinto, ello porque la aplicación de este mortero tiene una secuencia especial la cual también será detallada. A continuación, se presentan ambos procedimientos.

5.2.1.1 Muretes de albañilería con morteros de cemento

Considerando que en el capítulo anterior se detallaron los procedimientos para la elaboración de los morteros convencionales y el mortero embolsado, los cuales representan la principal diferencia para la construcción de muretes empleando ambos tipos de morteros; por lo que estos detalles serán omitidos del siguiente procedimiento único para la construcción de muretes empleando morteros de cementos.

- **Consideraciones generales**

Los muretes de albañilería serán especímenes cuadrados de 60 cm x 60 cm de dimensión como mínimo. Estarán compuestas por al menos dos unidades enteras de albañilería en cada una de las seis (06) hiladas que componen a los muretes construidos con morteros de cemento, estos ladrillos estarán asentados en forma de soga considerando juntas horizontales de mortero de 1.5 cm de dimensión y juntas verticales de 1.5 a 2 cm de espesor. Por último, se construirán tres (03) muretes por cada una de las nueve (09) combinaciones posibles de ladrillo-mortero de cemento.

- **Procedimiento**

1. Se seleccionan los ladrillos que no presenten grietas ni desperfectos notorios y en caso posean salientes, éstas deben de ser removidas.
2. En el caso de los ladrillos de arcilla, King Kong 18 huecos y Pandereta Acanalada, los especímenes elegidos deben de sumergirse en agua por alrededor de 2.5 minutos, ello con la intención de que al interactuar con el mortero no absorban el agua del mismo disminuyendo así sus

propiedades. Por otro lado, en el caso de los ladrillos de concreto, éstos no deben de humedecerse, dado el agua dificulta la adhesión mortero-concreto.

3. Los ladrillos que se encontrarán en contacto con las escuadras de carga de la máquina de ensayo, deberán de rellenarse con un mortero de dosificación cemento-arena 1:3, ello con la intención que no se produzca una falla local durante la ejecución del ensayo.
4. En un recipiente o superficie limpia, se elabora la mezcla del mortero según la dosificación necesaria (Ver 4.2.3.1 Elaboración de mortero, Capítulo IV). Asimismo, es necesario que se elaboren tres cubos de 50 mm x 50 mm por cada tanda de mortero que se emplee para la construcción de los muretes, éstos cubos serán ensayados el mismo día que el murete y según el procedimiento especificado en la NTP 334.051:2013.
5. Sobre una superficie limpia y nivelada, se coloca el primer ladrillo (relleno con mortero 1:3) y luego se prosigue con los demás de la primera hilada, sobre ello se aplica una capa de mortero para formar las juntas verticales de 1.5 cm de espesor y la junta horizontal de dimensión entre 1.5 y 2 cm. Tras ello, se coloca la segunda hilada, verificando la horizontalidad con un nivel de mano o un escantillón y la verticalidad con la plomada. Se repite el procedimiento, intercalando juntas de mortero y ladrillos, hasta completar las seis (06) hiladas que componen los muretes que emplean morteros de cemento. Cabe señalar que el último ladrillo también es un ladrillo relleno con el mortero 1:3, el cual se encuentra en la esquina al primer ladrillo, pues ambos forman parte de la diagonal que recibirá la carga durante el ensayo (Figura N° 5.19).
6. Tras construir los muretes, éstos se cubrirán con polietileno para evitar la pérdida de agua por acción de factores externos. El polietileno se mantiene hasta 3 días antes del ensayo (Figura N° 5.20).
7. Los muretes son transportados al laboratorio, dónde se anotan las dimensiones de ancho, longitud y altura de cada espécimen (cuatro mediciones de cada dimensión) con la finalidad de obtener dimensiones promedio, para posteriormente continuar con el procedimiento de ensayo (Ver apartado 3.3.2 del Capítulo III).



Figura N° 5.19 Asentado de la primera hilada y nivelamiento (izquierda); Colocación de mortero de cemento y asentado de ladrillos (derecha)



Figura N° 5.20 Murete de albañilería concluido (izquierda); Protección de muretes utilizando polietileno (derecha)

5.2.1.2 Muretes de albañilería con mortero polimérico

Dado que el procedimiento para la elaboración de muretes empleando morteros poliméricos no se encuentra considerado en ninguna norma y considerando que dicho procedimiento varía en relación al detallado en los párrafos anteriores en lo que respecta a la preparación del mortero y la aplicación del mismo sobre las unidades de albañilería, se realizará una adaptación del procedimiento de preparación y aplicación del mortero polimérico en la construcción de muros recomendado por el proveedor del producto, ello dado que los muretes deben de representar de la mejor manera posible a la construcción de un muro.

- **Consideraciones generales**

Los especímenes serán muretes cuadrados de albañilería de 63 cm x 63 cm de dimensión. Estarán compuestas por no menos de dos unidades

enteras de albañilería en cada una de las siete (07) hiladas que componen a los muretes construidos con morteros poliméricos, dichos ladrillos estarán asentados en forma de soga considerando solamente juntas horizontales de mortero polimérico de entre 1 y 3 mm de espesor, cabe mencionar que las juntas verticales no son necesarias según las recomendaciones del proveedor. Asimismo, se construirán tres (03) muretes por cada una de las tres (03) combinaciones posibles de ladrillo y mortero polimérico.

- **Procedimiento**

1. Se elegirán unidades que no presenten grietas ni desperfectos notorios y en caso posean salientes, éstas deben de ser removidas. Asimismo, todas las unidades deben de estar limpias de polvo, grasa, arena, aceites u otro material perjudicial, priorizando las superficies que estarán en contacto directo con el mortero (cara superior e inferior del ladrillo), ello con la intención de garantizar una óptima interacción entre el mortero polimérico y el ladrillo.
2. No es recomendable que las unidades de albañilería sean humedecidas previamente, ello porque retarda el tiempo de secado del mortero tras su aplicación.
3. Los ladrillos que estarán en contacto con las escuadras de carga de la máquina de ensayo, deben de rellenarse por completo con un mortero de dosificación cemento-arena 1:3, ello con la intención que no se produzca una falla local al aplicar la carga.
4. En un recipiente limpio y empleando una batidora, se elaborará el mortero polimérico según las proporciones de agua recomendadas por el proveedor, asimismo la cantidad de mortero está directamente relacionada a la cantidad de metros cuadrados de ladrillos que se asentarán (Ver 4.2.3.1 Elaboración de mortero, del Capítulo IV). Tras concluir la preparación del mortero, éste debe de depositarse en envases plásticos (bolsas herméticas con punta) para facilitar su aplicación, la que se dará cortando con una tijera uno de los extremos en punta de la bolsa.
5. Sobre una superficie limpia y nivelada, se coloca el primer ladrillo (relleno con mortero 1:3) y conjuntamente se colocan el resto de

unidades de la primera hilada, ello verificando la nivelación y alineación de la misma; sobre los ladrillos se aplican dos hiladas del mortero polimérico sobre las superficies de asiento, ello en forma de forma continua y longitudinal al ladrillo, en caso que los ladrillos presenten problemas geométricos en su superficie se recomienda aplicar una tercera hilada. El espesor de las hiladas será de entre 5 a 8 mm, pues éste disminuirá al colocarse los ladrillos de la siguiente hilada, asimismo este espesor está relacionado al tamaño del corte de la bolsa hermética, por lo que es necesario un control exhaustivo de dicha dimensión para no desperdiciar el producto.

Seguidamente, se coloca la segunda hilada, verificando la horizontalidad con un nivel de mano o un escantillón y la verticalidad con la plomada. Se repite el procedimiento, intercalando una hilada de ladrillos y la aplicación del mortero polimérico como junta horizontal, hasta completar las siete (07) hiladas necesarias para completar los muretes. Cabe señalar que el último ladrillo también es un ladrillo relleno con el mortero 1:3, el cual se encuentra en la esquina al primer ladrillo, pues ambos forman parte de la diagonal que recibirá la carga durante el ensayo (Figuras N° 5.21, N° 5.22, N° 5.23 y N° 5.24).

6. Tras construir los muretes, éstos deben de cubrirse con polietileno con la finalidad de proteger a los especímenes de factores externos que puedan dañarlos. El polietileno debe permanecer hasta 3 días antes del ensayo.
7. Los muretes son transportados al laboratorio, dónde se anotarán las dimensiones de ancho, longitud y altura de cada espécimen (cuatro mediciones de cada dimensión) con la finalidad de obtener un valor promedio por cada dimensión.
8. Finalmente, continuar con el procedimiento de ensayo, el cual se encuentra detallado en el apartado 3.3.2 Compresión Diagonal de muretes de albañilería, del Capítulo III.



Figura N° 5.21 Construcción de muretes de ladrillos King Kong 18 huecos y mortero polimérico



Figura N° 5.22 Construcción de muretes de ladrillos Pandereta Acanalada y mortero polimérico



Figura N° 5.23 Construcción de muretes de ladrillos Konkreto y mortero polimérico



Figura N° 5.24 Muretes construidos con ladrillos Konkreto y mortero polimérico

5.2.2 Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería

El procedimiento para ensayar muretes de albañilería se encuentra especificado en la NTP 399.621 y a su vez se detalla en el Capítulo III. Dicho procedimiento es similar para cualquier murete de albañilería, por lo que tanto los muretes elaborados con morteros de cemento y los construidos con mortero polimérico, tienen las mismas consideraciones para ensayarse. Cabe mencionar que para la presente investigación los muretes fueron ensayados a los 28 días de su elaboración. En las Figuras N° 5.25 y N° 5.26 se muestran imágenes de los ensayos realizados.



Figura N° 5.25 Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería de ladrillos (King Kong 18 huecos, Pandereta Acanalada y Konkreto) y morteros de cemento (Convencional C:A 1:4, Convencional C:A 1:5 y Embolsado)

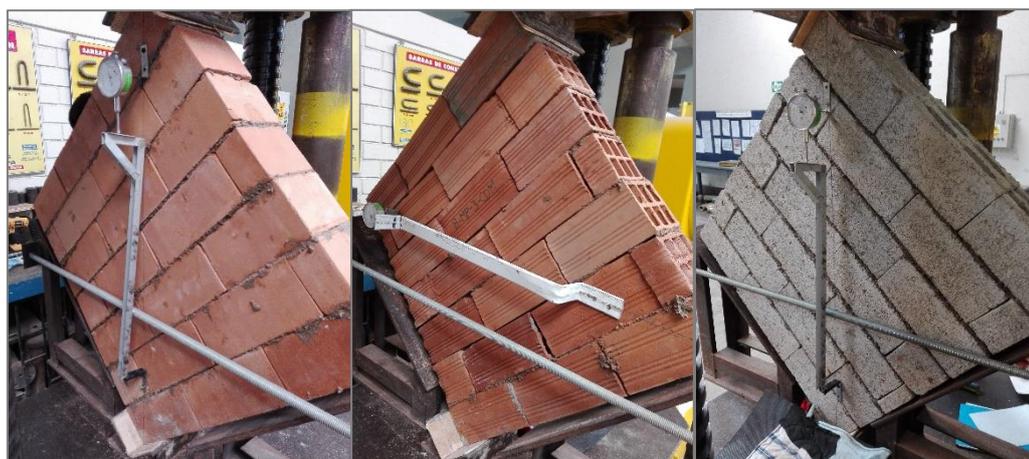


Figura N° 5.26 Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería de ladrillos (King Kong 18 huecos, Pandereta Acanalada y Konkreto) y mortero polimérico

5.2.3 Resultados

De los resultados realizados se pudo obtener las cargas de rotura o falla de los muretes para cada espécimen. Cumpliendo con el procedimiento especificado en la NTP 399.621:2004 y recogido en el apartado 3.3.2 del Capítulo III de la presente investigación para el tratamiento de estos datos, así como de las dimensiones de los muretes, se puede obtener el esfuerzo cortante, la deformación angular y el módulo de corte de la albañilería.

Con la intención de favorecer a un correcto reconocimiento de las doce (12) posibles combinaciones de muretes, considerando las tres (03) clases de ladrillos y los cuatro (04) tipos de morteros empleados, se plantea la nomenclatura mostrada en la Tabla N° 5.14:

Tabla N° 5.14 Nomenclatura empleada para los muretes de albañilería (Elaboración propia)

Componente	Rótulo	Descripción
Ladrillos	A	Ladrillo Clase A - King Kong 18 huecos
	B	Ladrillo Clase B - Pandereta Acanalada
	C	Ladrillo Clase C - Koncreto
Morteros	M14	Mortero Convencional C:A 1:4
	M15	Mortero Convencional C:A 1:5
	ME	Mortero Embolsado (1:4)
	MP	Mortero Polimérico
Ensayo	CDM	Compresión Diagonal en Muretes

Por otro lado, en las tablas que se presentarán a continuación se muestran los datos geométricos de los muretes, los resultados del ensayo, el tratamiento de datos para obtener la resistencia a la compresión diagonal característica de los muretes de albañilería, así como las deformaciones horizontales, verticales y angulares de cada espécimen y por último el módulo de corte de los materiales; todo ello, considerando las distintas clases de ladrillos y morteros empleados.

5.2.3.1 Resultados en muretes de albañilería elaborados con ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla

Las dimensiones de los muretes que se elaboraron con ladrillos King Kong 18 huecos, así como las áreas brutas de las secciones transversales a la superficie de carga; se consideran en la Tabla N° 5.15. Cabe resaltar, que estos datos fueron tomados previos al ensayo de resistencia a la compresión diagonal.

Tabla N° 5.15 Dimensiones de los muretes de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Área Bruta (cm ²)
A-M14-1-CDM	59.95	59.90	12.03	720.60
A-M14-2-CDM	60.20	60.08	12.03	723.15
A-M14-3-CDM	59.95	60.03	12.03	721.40
A-M15-1-CDM	59.90	59.95	12.13	726.59
A-M15-2-CDM	60.28	60.13	12.05	725.41
A-M15-3-CDM	60.03	60.05	12.08	724.95
A-ME-1-CDM	60.00	60.25	12.05	724.51
A-ME-2-CDM	60.33	60.03	12.10	728.12
A-ME-3-CDM	60.35	60.03	12.05	725.26
A-MP-1-CDM	65.98	63.28	12.20	788.43
A-MP-2-CDM	66.23	63.30	12.13	785.25
A-MP-3-CDM	66.30	63.08	12.15	785.95

Tras ello, se realizaron las pruebas de carga en cada murete, obteniendo la carga máxima de falla, la cual se muestra en la Tabla N° 5.16, donde además se obtiene la resistencia a la compresión diagonal también conocida como esfuerzo cortante y el tipo de falla de cada espécimen.

Tabla N° 5.16 Esfuerzo máximo en muretes de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Espécimen	Área Bruta (cm ²)	Carga kg	v'_m - Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Tipo de Falla
A-M14-1-CDM	720.60	9,540	9.36	Escalonada
A-M14-2-CDM	723.15	11,360	11.11	Tracción Diagonal
A-M14-3-CDM	721.40	10,555	10.35	Mixta
A-M15-1-CDM	726.59	7,500	7.30	Mixta
A-M15-2-CDM	725.41	6,000	5.85	Mixta
A-M15-3-CDM	724.95	8,600	8.39	Mixta
A-ME-1-CDM	724.51	10,400	10.15	Mixta
A-ME-2-CDM	728.12	11,620	11.28	Tracción Diagonal
A-ME-3-CDM	725.26	10,800	10.53	Mixta
A-MP-1-CDM	788.43	2,450	2.20	Escalonada
A-MP-2-CDM	785.25	2,070	1.86	Escalonada
A-MP-3-CDM	785.95	2,300	2.07	Escalonada

En la Tabla N° 5.17 se muestra el tratamiento para obtener la resistencia a la compresión diagonal característica, la cual proviene de la diferencia entre la resistencia a la compresión diagonal promedio y la desviación estándar, todo ello para los muretes elaborados con ladrillos King Kong 18 huecos (Clase A) y los cuatro tipos de morteros: convencionales, embolsado y polimérico.

Tabla N° 5.17 Resistencia a la compresión, promedio y característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Espécimen	v'_m - EC (kg/cm ²)	v'_{mp} - EC Promedio (kg/cm ²)	Desv. Estándar	v'_{mc} - EC Característico (kg/cm ²)
A-M14-1-CDM	9.36			
A-M14-2-CDM	11.11	10.27	0.88	9.40
A-M14-3-CDM	10.35			
A-M15-1-CDM	7.30			
A-M15-2-CDM	5.85	7.18	1.27	5.90
A-M15-3-CDM	8.39			
A-ME-1-CDM	10.15			
A-ME-2-CDM	11.28	10.65	0.58	10.08
A-ME-3-CDM	10.53			
A-MP-1-CDM	2.20			
A-MP-2-CDM	1.86	2.04	0.17	1.88
A-MP-3-CDM	2.07			

*EC: Esfuerzo Cortante o Resistencia a la Compresión Diagonal

De los resultados obtenidos se pudo extraer el Gráfico N° 5.4, el cual muestra una aproximación de la evolución de la resistencia de los muretes, desde su elaboración hasta el día de su ensayo, basado en los factores de corrección por días planteados en la NTE E.070.

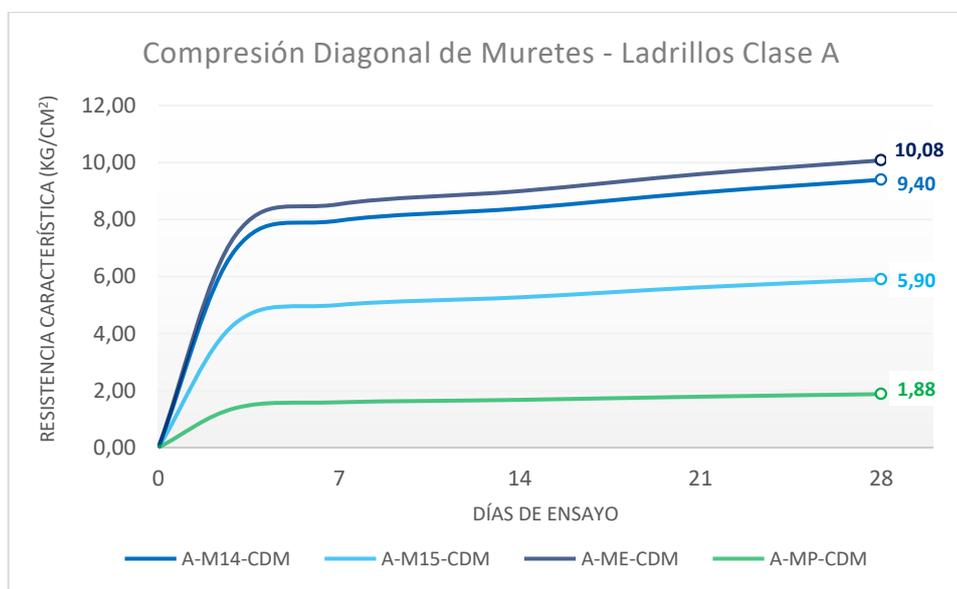


Gráfico N° 5.4 Comparación de la resistencia a la compresión diagonal característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Se presentan en imágenes los modos de falla en los muretes de ladrillos Clase A ensayados, siendo la mayoría **fallas mixtas (tracción diagonal - escalonada)**:



Figura N° 5.27 Fallas en muretes de ladrillo Clase A y mortero convencional C:A 1:4



Figura N° 5.28 Fallas en muretes de ladrillo Clase A y mortero convencional C:A 1:5



Figura N° 5.29 Fallas en muretes de ladrillo Clase A y mortero embolsado



Figura N° 5.30 Fallas en muretes de ladrillo Clase A y mortero polimérico

Como se especificó en el procedimiento para el ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes del Capítulo III, al realizarse esta prueba es posible determinar la deformación horizontal y vertical a la que se ve sometido el murete, esto con ayuda de instrumentos de medición, y tras ello es posible determinar el módulo de corte de la albañilería, mediante las fórmulas especificadas en dicho apartado.

Es así que en la presente investigación se logró instalar, en algunos muretes, dos diales que medían la deformación en los dos ejes antes mencionados, con la intención de poder obtener el valor del módulo de corte. A continuación, se presenta en las Tablas N° 5.18 y N° 5.19 la información sobre las cargas y deformaciones verticales y horizontales en los muretes.

Tabla N° 5.18 Cargas y deformaciones verticales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Especímen	Carga Máxima (kg)	Long. Deform. (mm)	15% de P _{máx}		50% de P _{máx}	
			P ₁₅ (kg)	DV ₁₅ (mm)	P ₅₀ (kg)	DV ₅₀ (mm)
A-M14-CDM (A-M14-2-CDM)	11,360	550	1,704	0.004	5,680	0.130
A-M15-CDM (A-M15-3-CDM)	8,600	550	1,290	0.003	4,300	0.130
A-ME-CDM (A-ME-2-CDM)	11,620	550	1,743	0.020	5,810	0.140
A-MP-CDM (A-MP-2-CDM)	9,540	550	1,431	0.005	4,770	0.090

Tabla N° 5.19 Cargas y deformaciones horizontales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Especímen	Carga Máxima (kg)	Long. Deform. (mm)	15% de P _{máx}		50% de P _{máx}	
			P ₁₅ (kg)	Dh ₁₅ (mm)	P ₅₀ (kg)	Dh ₅₀ (mm)
A-M14-CDM (A-M14-2-CDM)	11,360	550	1,704	0.001	5,680	0.005
A-M15-CDM (A-M15-3-CDM)	8,600	550	1,290	0.000	4,300	0.004
A-ME-CDM (A-ME-2-CDM)	11,620	550	1,743	0.001	5,810	0.005
A-MP-CDM (A-MP-2-CDM)	9,540	550	1,431	0.003	4,770	0.080

De la información antes presentada se puede obtener el módulo de corte de los especímenes de la relación entre las variaciones de esfuerzos y deformaciones. Asimismo, la NTE E.070 plantea que el valor del módulo de corte (G_m) se puede calcular empleando el módulo de elasticidad (E_m), de esta forma $G_m = 0.4 E_m$, donde E_m a su vez está relacionado a la resistencia axial de pilas, con la siguiente expresión: $E = 500 f'_m$. Ambos valores se presentan en la Tabla N° 5.20:

Tabla N° 5.20 Módulo de corte en muretes de ladrillos Clase A (Elaboración propia)

Especímen	Tipo de Falla	$\Delta v'_m$ - Variación de Esfuerzos (kg/cm ²)	$\Delta \gamma$ - Deform. Angular (mm/mm)	G_m - Módulo de Corte (kg/cm ²)	G_m - E.070 (kg/cm ²)
A-M14-CDM (A-M14-2-CDM)	Tracción Diagonal	3.89	0.000236	16,448.27	15,907.03
A-M15-CDM (A-M15-3-CDM)	Mixta	3.28	0.000238	13,759.60	13,494.21
A-ME-CDM (A-ME-2-CDM)	Tracción Diagonal	3.03	0.000225	13,447.99	12,879.69
A-MP-CDM (A-MP-2-CDM)	Escalonada	0.48	0.000295	1,626.44	5,568.65

Complementariamente, se graficaron los esfuerzos y las deformaciones, de cuya pendiente también se puede obtener el módulo de corte (Gráfico N° 5.5).

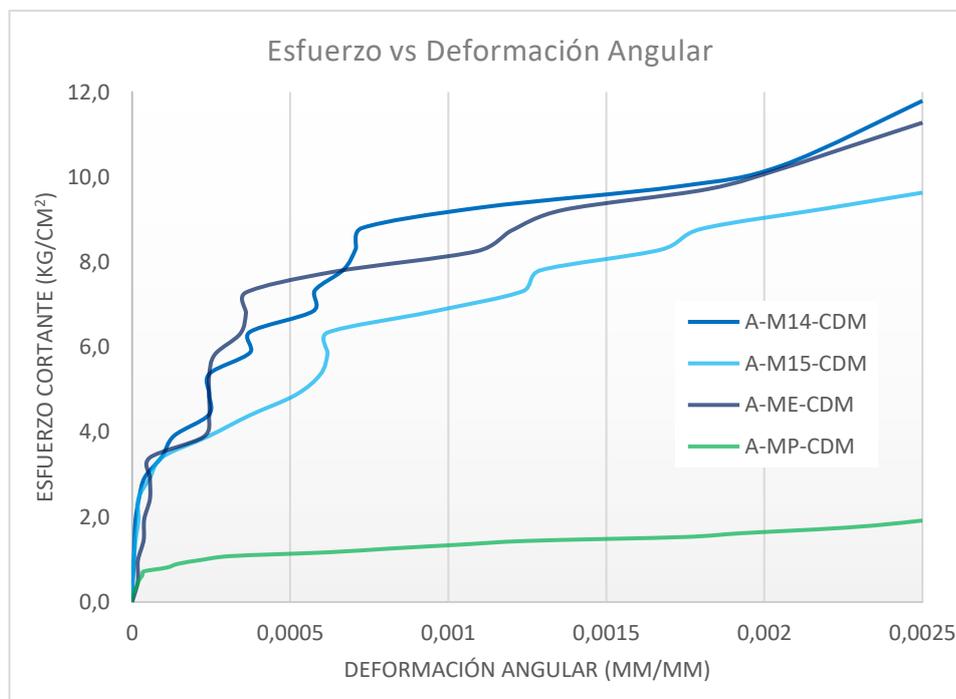


Gráfico N° 5.5 Esfuerzo cortante vs Deformación angular en muretes de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Finalmente, en la Tabla N° 5.21, se presenta un cuadro comparativo de los esfuerzos cortantes característicos alcanzados empleando los cuatro distintos morteros y el ladrillo Clase A – King Kong 18 huecos, ello expresado en porcentajes; cabe resaltar que los porcentajes se calculan respecto al mayor valor.

Tabla N° 5.21 Comparación de los esfuerzos cortantes característicos de muretes de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Muretes	v'_{mc} - Esfuerzo Cortante Característico (kg/cm ²)	Porcentaje (%)
Mortero Convencional C:A 1:4	9.40	93% (100%)
Mortero Convencional C:A 1:5	5.90	59% (63%)
Mortero Embolsado	10.08	100% (107%)
Mortero Polimérico	1.88	19% (20%)

Los resultados que se aprecian en la tabla anterior reflejan que el mortero que mejor se comportan con el ladrillo King Kong 18 huecos (Clase A) es el mortero embolsado, seguidos muy de cerca por el mortero convencional C:A 1:4, cabe mencionar que ambos valores superan la resistencia propuesta por la NTE E.070 que posee un valor de 8.1 km/cm². Mientras tanto, el mortero convencional C:A 1:5 alcanza poco más de la mitad de resistencia del mortero embolsado, pero más que el valor que indica la norma para el ladrillo artesanal (5.1 km/cm²). Por último, el mortero embolsado tan solo alcanza un 19% de la mayor resistencia y no alcanza los valores estructurales.

5.2.3.2 Resultados en muretes de albañilería elaborados con ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla

En la Tabla 5.22, se muestran las dimensiones, obtenidas previas al ensayo de resistencia a la compresión diagonal, de los muretes que se elaboraron con ladrillos Pandereta Acanalada, así como las áreas brutas de las secciones transversales a la superficie de carga.

Tabla N° 5.22 Dimensiones de los muretes de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Área Bruta (cm ²)
B-M14-1-CDM	61.25	60.33	11.15	677.78
B-M14-2-CDM	60.95	60.23	10.88	658.89
B-M14-3-CDM	60.98	59.93	11.15	674.02
B-M15-1-CDM	61.70	61.33	10.88	668.95
B-M15-2-CDM	62.10	60.75	10.95	672.60
B-M15-3-CDM	62.75	61.13	10.93	676.67
B-ME-1-CDM	61.63	61.45	11.00	676.91
B-ME-2-CDM	61.95	61.18	11.00	677.19
B-ME-3-CDM	62.00	61.30	11.00	678.15
B-MP-1-CDM	63.68	63.63	11.03	701.74
B-MP-2-CDM	63.68	63.78	11.03	702.57
B-MP-3-CDM	63.50	63.85	11.00	700.43

El resultado de las pruebas de carga en los muretes es la carga máxima de falla, las cuales se muestran en la Tabla N° 5.23, donde además se obtiene la resistencia a la compresión diagonal también conocida como esfuerzo cortante y el tipo de falla de cada espécimen.

Tabla N° 5.23 Esfuerzo máximo en muretes de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Espécimen	Área Bruta (cm ²)	Carga kg	v'_m - Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Tipo de Falla
B-M14-1-CDM	677.78	9,000	9.39	Mixta
B-M14-2-CDM	658.89	8,800	9.44	Mixta
B-M14-3-CDM	674.02	10,250	10.75	Tracción Diagonal
B-M15-1-CDM	668.95	7,180	7.59	Mixta
B-M15-2-CDM	672.60	6,800	7.15	Mixta
B-M15-3-CDM	676.67	9,650	10.08	Mixta
B-ME-1-CDM	676.91	10,000	10.45	Tracción Diagonal
B-ME-2-CDM	677.19	9,000	9.40	Mixta
B-ME-3-CDM	678.15	11,000	11.47	Tracción Diagonal
B-MP-1-CDM	701.74	3,040	3.06	Escalonada
B-MP-2-CDM	702.57	2,775	2.79	Escalonada
B-MP-3-CDM	700.43	2,630	2.66	Escalonada

El tratamiento para obtener la resistencia a la compresión diagonal característica, la cual proviene de la diferencia entre la resistencia a la compresión diagonal promedio y la desviación estándar, se muestra en la Tabla N° 5.24, todo ello para los muretes elaborados con ladrillos Pandereta Acanalada (Clase B) y los cuatro tipos de morteros de la investigación.

Tabla N° 5.24 Resistencia a la compresión, promedio y característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Espécimen	$V'_m - EC$ (kg/cm ²)	$V'_{mp} - EC$ Promedio (kg/cm ²)	Desv. Estándar	$V'_{mc} - EC$ Característico (kg/cm ²)
B-M14-1-CDM	9.39			
B-M14-2-CDM	9.44	9.86	0.77	9.09
B-M14-3-CDM	10.75			
B-M15-1-CDM	7.59			
B-M15-2-CDM	7.15	8.27	1.58	6.69
B-M15-3-CDM	10.08			
B-ME-1-CDM	10.45			
B-ME-2-CDM	9.40	10.44	1.04	9.40
B-ME-3-CDM	11.47			
B-MP-1-CDM	3.06			
B-MP-2-CDM	2.79	2.84	0.21	2.63
B-MP-3-CDM	2.66			

*EC: Esfuerzo Cortante o Resistencia a la Compresión Diagonal

De estos resultados se pudo obtener el Gráfico N° 5.6, que muestra una aproximación de la evolución de la resistencia de los muretes, durante los 28 días previos a su ensayo, ello basado en los factores de corrección por días, planteados para la NTE E.070 por San Bartolomé.

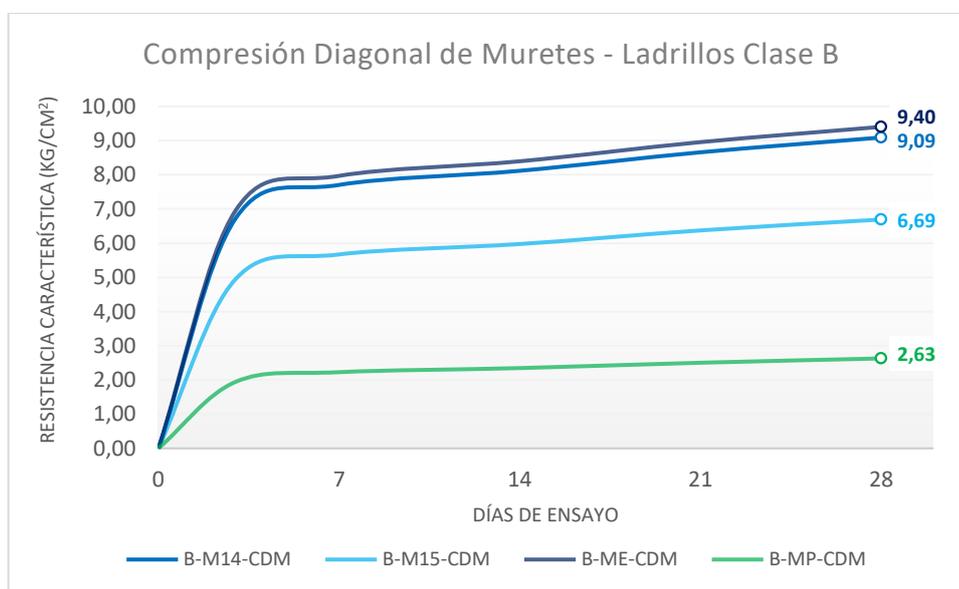


Gráfico N° 5.6 Comparación de la resistencia a la compresión diagonal característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

A continuación, se muestran los modos de falla en los muretes de ladrillos Clase B, siendo la mayoría **fallas mixtas (tracción diagonal - escalonada)**:



Figura N° 5.31 Fallas en muretes de ladrillo Clase B y mortero convencional C:A 1:4



Figura N° 5.32 Fallas en muretes de ladrillo Clase B y mortero convencional C:A 1:5



Figura N° 5.33 Fallas en muretes de ladrillo Clase B y mortero embolsado



Figura N° 5.34 Fallas en muretes de ladrillo Clase B y mortero polimérico

Como se especificó anteriormente en el procedimiento para el ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes del Capítulo III, durante la ejecución de esta prueba y con ayuda de instrumentos de medición se puede determinar la deformación horizontal y vertical a la que se ve sometido el murete, y tras ello es posible determinar el módulo de corte de la albañilería, mediante las fórmulas especificadas en dicho apartado.

Con esta intención se logró instalar, en algunos muretes, deformímetros análogos que medían la deformación en los dos ejes antes mencionados, para luego poder obtener el valor del módulo de corte. En las Tablas N° 5.25 y N° 5.26 se muestra la información sobre las cargas y deformaciones verticales y horizontales en los muretes.

Tabla N° 5.25 Cargas y deformaciones verticales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Especímen	Carga Máxima (kg)	Long. Deform. (mm)	15% de P _{máx}		50% de P _{máx}	
			P ₁₅ (kg)	DV ₁₅ (mm)	P ₅₀ (kg)	DV ₅₀ (mm)
B-M14-CDM (B-M14-1-CDM)	9,000	550	1,350	0.006	4,500	0.030
B-M15-CDM (B-M15-3-CDM)	9,650	550	1,448	0.003	4,825	0.020
B-ME-CDM (B-ME-3-CDM)	11,000	550	1,650	0.002	5,500	0.020
B-MP-CDM (B-MP-2-CDM)	2,775	550	416	0.007	1,388	0.160

Tabla N° 5.26 Cargas y deformaciones horizontales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Especímen	Carga Máxima (kg)	Long. Deform. (mm)	15% de P _{máx}		50% de P _{máx}	
			P ₁₅ (kg)	Dh ₁₅ (mm)	P ₅₀ (kg)	Dh ₅₀ (mm)
B-M14-CDM (B-M14-1-CDM)	9,000	550	1,350	0.001	4,500	0.006
B-M15-CDM (B-M15-3-CDM)	9,650	550	1,448	0.001	4,825	0.010
B-ME-CDM (B-ME-3-CDM)	11,000	550	1,650	0.001	5,500	0.008
B-MP-CDM (B-MP-2-CDM)	2,775	550	416	0.003	1,388	0.220

Con la información de ambas tablas se puede calcular el módulo de corte de los muretes como la relación entre la variación de esfuerzos y la de deformaciones. Del mismo modo, la NTE E.070 plantea que el valor del módulo de corte (G_m) se puede calcular empleando el módulo de elasticidad (E_m), de esta forma $G_m = 0.4 E_m$, donde E_m a su vez está relacionado a la resistencia axial de pilas, con la siguiente expresión: $E = 500 f'_m$. Dichos cálculos se presentan en la Tabla N° 5.27:

Tabla N° 5.27 Módulo de corte en muretes de ladrillos Clase B (Elaboración propia)

Espécimen	Tipo de Falla	$\Delta v'_m$ - Variación de Esfuerzos (kg/cm ²)	$\Delta \gamma$ - Deform. Angular (mm/mm)	G - Módulo de Corte (kg/cm ²)	G - E.070 (kg/cm ²)
B-M14-CDM (B-M14-1-CDM)	Mixta	3.29	0.00005	62,326.26	6,793.52
B-M15-CDM (B-M15-3-CDM)	Mixta	3.53	0.00005	74,661.13	4,538.36
B-ME-CDM (B-ME-3-CDM)	Tracción Diagonal	4.01	0.00005	88,316.66	4,285.36
B-MP-CDM (B-MP-2-CDM)	Escalonada	0.95	0.00067	1,408.86	2,012.11

Asimismo, de los datos que alimentaron a las tablas se pudo graficar los esfuerzos y las deformaciones, de cuya pendiente se obtuvo el valor de G (Gráfico N° 5.7).

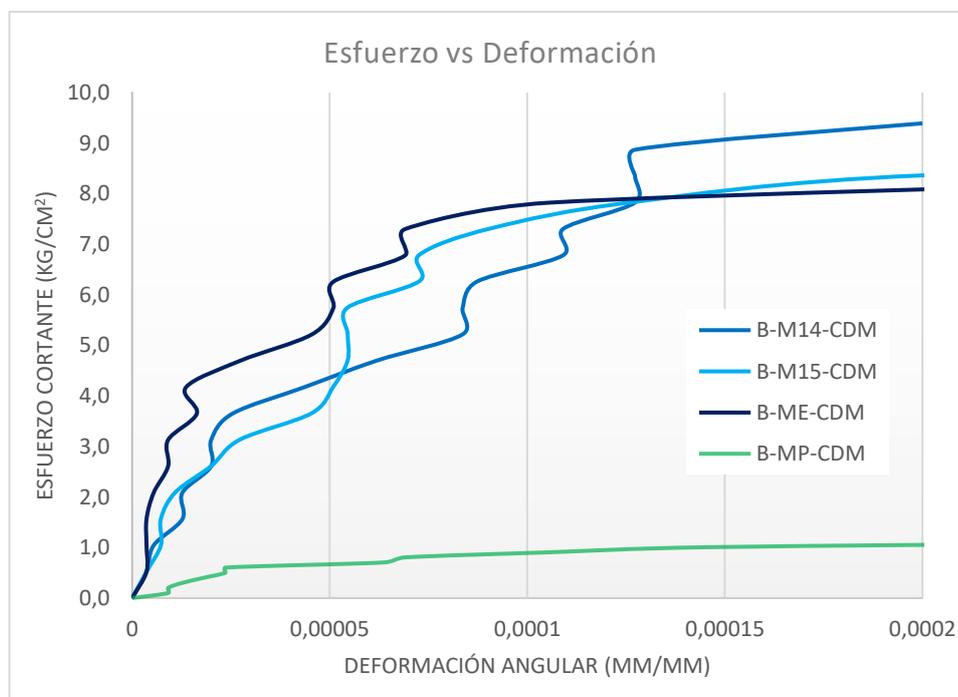


Gráfico N° 5.7 Esfuerzo cortante vs Deformación angular en muretes de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Por último, en la Tabla N° 5.28, se muestra la comparación de los esfuerzos cortantes característicos alcanzados empleando los cuatro distintos morteros y el Pandereta Acanalada, ello respecto al mayor valor de resultados y expresado en porcentajes.

Tabla N° 5.28 Comparación de los esfuerzos cortantes característicos de muretes de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Muretes	v'_{mc} - Esfuerzo Cortante Característico (kg/cm ²)	Porcentaje (%)
Mortero Convencional C:A 1:4	9.09	97% (100%)
Mortero Convencional C:A 1:5	6.69	71% (74%)
Mortero Embolsado	9.40	100% (103%)
Mortero Polimérico	2.63	29% (29%)

Los resultados obtenidos para este ladrillo, son similares a los obtenidos para el ladrillo King Kong 18 huecos e indican que los morteros que mejor se comportan con el ladrillo Pandereta Acanalada (Clase B) son el mortero embolsado y el mortero convencional C:A 1:4, superando ambos sorprendentemente la resistencia propuesta por la NTE E.070 para ladrillos estructurales, la cual posee un valor de 8.1 km/cm². Asimismo, el mortero convencional C:A 1:5 alcanza mejora su rendimiento respecto al ladrillo anterior, superando también el valor que indica la norma para el ladrillo artesanal (5.1 km/cm²). Mientras que el mortero embolsado se mantiene con resultados que no alcanzan los valores estructurales.

5.2.3.3 Resultados en muretes de albañilería elaborados con ladrillos Clase C: Konkreto de concreto

En la Tabla N° 5.29 se presenta información geométrica de los muretes elaborados con ladrillos Konkreto, es decir, las dimensiones y las áreas brutas de las secciones transversales a la superficie de carga; siendo estos datos obtenidos antes de la prueba de carga exigida por la norma.

Tabla N° 5.29 Dimensiones de los muretes de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Área Bruta (cm ²)
C-M14-1-CDM	61.88	62.78	12.88	802.43
C-M14-2-CDM	61.55	62.90	12.88	801.15
C-M14-3-CDM	61.83	62.95	12.93	806.36
C-M15-1-CDM	61.53	62.88	12.90	802.38
C-M15-2-CDM	61.63	62.98	12.85	800.56
C-M15-3-CDM	61.88	62.98	12.90	805.28
C-ME-1-CDM	61.78	62.85	12.90	803.83
C-ME-2-CDM	61.53	62.98	12.88	801.47
C-ME-3-CDM	61.63	62.93	12.90	803.35
C-MP-1-CDM	63.23	63.05	12.90	814.47
C-MP-2-CDM	63.35	62.88	12.85	811.00
C-MP-3-CDM	63.20	62.93	12.90	813.51

La información registrada en la tabla anterior aunada a la carga máxima de falla, obtenida tras las pruebas de carga, permiten obtener la resistencia a la compresión diagonal también conocida como esfuerzo cortante, la cual se muestra en la Tabla N° 5.30, así como también, el tipo de falla de los especímenes.

Tabla N° 5.30 Esfuerzo máximo en muretes de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Espécimen	Área Bruta (cm ²)	Carga kg	v'_m - Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Tipo de Falla
C-M14-1-CDM	802.43	11,440	10.08	Mixta
C-M14-2-CDM	801.15	11,260	9.94	Mixta
C-M14-3-CDM	806.36	12,300	10.79	Mixta
C-M15-1-CDM	802.38	8,700	7.67	Escalonada
C-M15-2-CDM	800.56	7,950	7.02	Escalonada
C-M15-3-CDM	805.28	9,100	7.99	Escalonada
C-ME-1-CDM	803.83	10,820	9.52	Escalonada
C-ME-2-CDM	801.47	9,560	8.43	Escalonada
C-ME-3-CDM	803.35	11,500	10.12	Escalonada
C-MP-1-CDM	814.47	1,850	1.61	Escalonada
C-MP-2-CDM	811.00	1,950	1.70	Escalonada
C-MP-3-CDM	813.51	1,820	1.58	Escalonada

La Tabla N° 5.31 contiene además del esfuerzo cortante, el tratamiento para obtener esfuerzo cortante característico, que se obtiene de la diferencia entre el esfuerzo cortante promedio y la desviación estándar, considerando los cuatro tipos de morteros (convencionales, embolsado y polimérico) que interactúan con los ladrillos Koncreto (Clase C).

Tabla N° 5.31 Resistencia a la compresión diagonal, promedio y característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Espécimen	$V'_m - EC$ (kg/cm ²)	$V'_{mp} - EC$ Promedio (kg/cm ²)	Desv. Estándar	$V'_{mc} - EC$ Característico (kg/cm ²)
C-M14-1-CDM	10.08			
C-M14-2-CDM	9.94	10.27	0.45	9.81
C-M14-3-CDM	10.79			
C-M15-1-CDM	7.67			
C-M15-2-CDM	7.02	7.56	0.49	7.07
C-M15-3-CDM	7.99			
C-ME-1-CDM	9.52			
C-ME-2-CDM	8.43	9.36	0.86	8.50
C-ME-3-CDM	10.12			
C-MP-1-CDM	1.61			
C-MP-2-CDM	1.70	1.63	0.06	1.57
C-MP-3-CDM	1.58			

*EC: Esfuerzo Cortante o Resistencia a la Compresión Diagonal

Con estos resultados se pudo obtener el Gráfico N° 5.8, la cual recoge una aproximación de la evolución de la resistencia de los muretes a lo largo de los 28 días que van desde su elaboración hasta el día del ensayo, en base a los factores de corrección por días planteados por San Bartolomé para la NTE E.070.

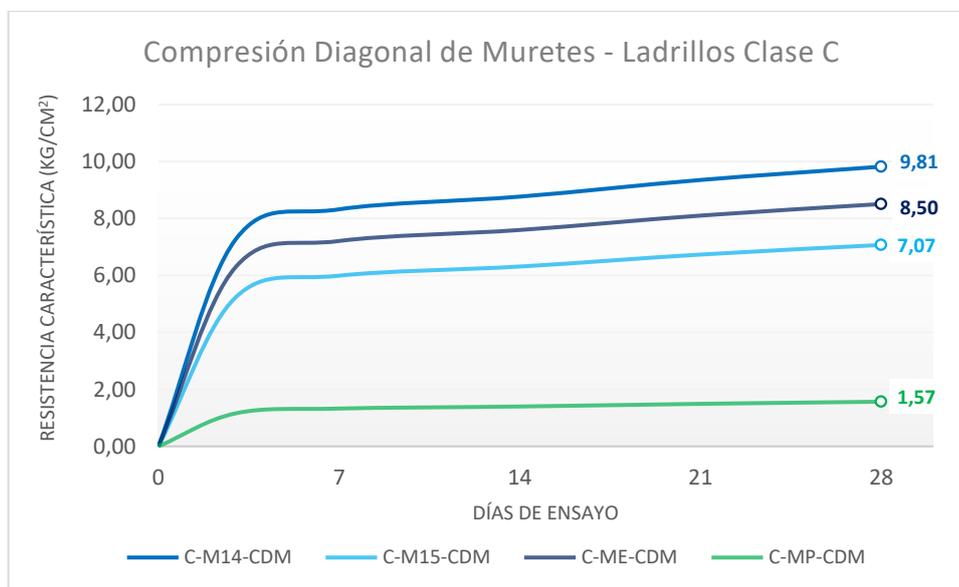


Gráfico N° 5.8 Comparación de la resistencia a la compresión diagonal característica de muretes de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

En las imágenes se puede apreciar los tipos de falla en los muretes de ladrillos Clase C, los cuales en su mayoría son **fallas escalonadas**.



Figura N° 5.35 Fallas en muretes de ladrillo Clase C y mortero convencional C:A 1:4



Figura N° 5.36 Fallas en muretes de ladrillo Clase C y mortero convencional C:A 1:5



Figura N° 5.37 Fallas en muretes de ladrillo Clase C y mortero embolsado



Figura N° 5.38 Fallas en muretes de ladrillo Clase C y mortero polimérico

Aunque no es obligatorio, es posible determinar la deformación horizontal y vertical a la que se ven sometidos los muretes, ello con ayuda de instrumentos de medición, este procedimiento está especificado en el apartado del Capítulo III para el ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes. Con dichas deformaciones y conjuntamente a los esfuerzos se podrá obtener el módulo de corte de la albañilería, cuyo procedimiento se mostrará a continuación.

Dado que en la presente investigación se pudo instalar, en varios muretes, equipos que medían la deformación en el eje vertical y horizontal (diales), se puede contar con dicha información al igual que las cargas correspondientes a los momentos en los que fueron registradas las deformaciones, es así que en las Tablas N° 5.32 y N° 5.33 se presenta esta información.

Tabla N° 5.32 Cargas y deformaciones verticales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Especímen	Carga Máxima (kg)	Long. Deform. (mm)	15% de P _{máx}		50% de P _{máx}	
			P ₁₅ (kg)	D _{V15} (mm)	P ₅₀ (kg)	D _{V50} (mm)
C-M14-CDM (C-M14-2-CDM)	11,260	550	1,689	0.050	5,630	0.100
C-M15-CDM (C-M15-2-CDM)	7,950	550	1,193	0.002	3,975	0.010
C-ME-CDM (C-ME-1-CDM)	10,820	550	1,623	0.005	5,410	0.030
C-MP-CDM (C-MP-2-CDM)	1,950	550	293	0.010	975	0.380

Tabla N° 5.33 Cargas y deformaciones horizontales a 15% y 20% de la carga máxima en los muretes de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Especímen	Carga Máxima (kg)	Long. Deform. (mm)	15% de P _{máx}		50% de P _{máx}	
			P ₁₅ (kg)	D _{H15} (mm)	P ₅₀ (kg)	D _{H50} (mm)
C-M14-CDM (C-M14-2-CDM)	11,260	550	1,689	0.005	5,630	0.010
C-M15-CDM (C-M15-2-CDM)	7,950	550	1,193	0.001	3,975	0.008
C-ME-CDM (C-ME-1-CDM)	10,820	550	1,623	0.002	5,410	0.010
C-MP-CDM (C-MP-2-CDM)	1,950	550	293	0.002	975	0.010

Con la información de ambas tablas se puede obtener el módulo de corte de los especímenes de la relación de las variaciones de esfuerzos y deformaciones. Paralelamente, la NTE E.070 plantea que el valor del módulo de corte (G_m) también se puede calcular empleando el módulo de elasticidad (E_m), mediante la expresión $G_m = 0.4E_m$, donde E_m a su vez depende de la resistencia axial de pilas de la siguiente forma: $E = 500 f'_m$. Dichos valores se presentan en la Tabla N° 5.34:

Tabla N° 5.34 Módulo de corte en muretes de ladrillos Clase C (Elaboración propia)

Especímen	Tipo de Falla	$\Delta v'_m$ - Variación de Esfuerzos (kg/cm ²)	$\Delta \gamma$ - Deform. Angular (mm/mm)	G - Módulo de Corte (kg/cm ²)	G - E.070 (kg/cm ²)
C-M14-CDM (C-M14-2-CDM)	Mixta	2.27	0.00010	22,736.24	34,322.31
C-M15-CDM (C-M15-2-CDM)	Escalonada	1.53	0.00003	56,109.77	31,763.08
C-ME-CDM (C-ME-1-CDM)	Escalonada	2.56	0.00006	42,693.35	29,218.33
C-MP-CDM (C-MP-2-CDM)	Escalonada	0.40	0.00069	585.52	14,525.65

Otra forma de obtener el módulo de corte, es mediante la pendiente de la gráfica de esfuerzo-deformación, la cual se muestra a continuación (Gráfico N° 5.9).

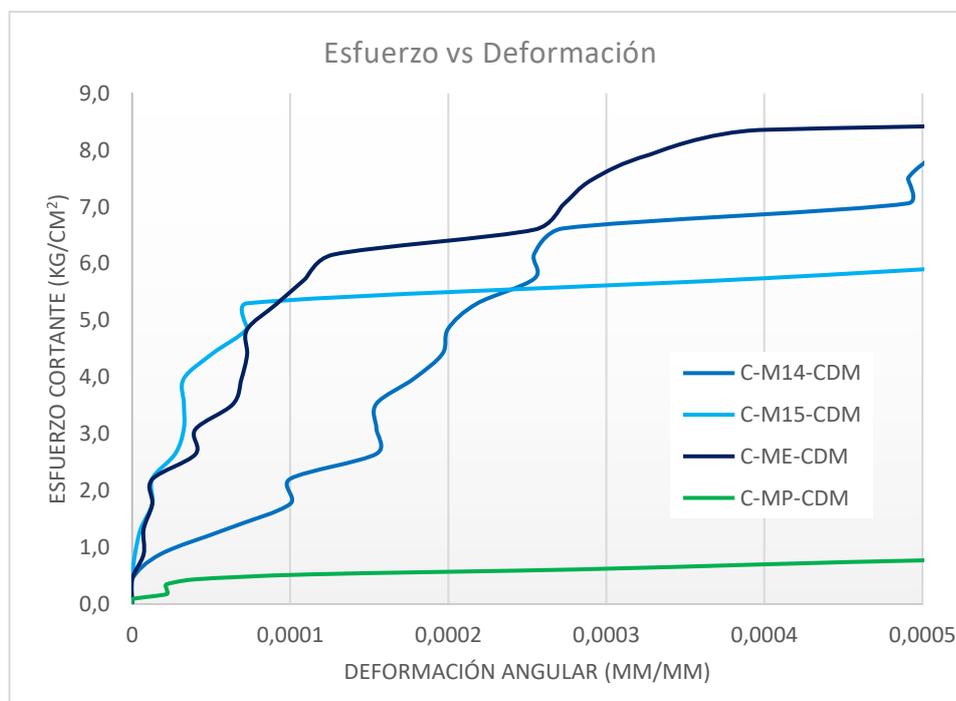


Gráfico N° 5.9 Esfuerzo cortante vs Deformación angular en muretes de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Para finalizar, en la Tabla N° 5.35, se muestra la comparación de los esfuerzos cortantes característicos alcanzados empleando los cuatro distintos morteros y el ladrillo Clase C – Koncreto, expresado en porcentajes.

Tabla N° 5.35 Comparación de los esfuerzos cortantes característicos de muretes de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Muretes	v_{mc} - Esfuerzo Cortante Característico (kg/cm ²)	Porcentaje (%)
Mortero Convencional C:A 1:4	9.81	100%
Mortero Convencional C:A 1:5	7.07	72%
Mortero Embolsado	8.50	87%
Mortero Polimérico	1.57	16%

A diferencia de los dos casos anteriores, estos resultados reflejan que el mortero que mejor se comportan con el ladrillo Koncreto (Clase C) es el mortero convencional C:A 1:4, lo cual también ocurría con las pilas; asimismo, este mortero es el único que logra alcanzar los valores sugeridos por la NTE para ladrillos de arcilla, sílice-cal y bloques de concreto. Tras esta relación, se encuentran los morteros embolsado y mortero convencional C:A 1:5, con valores no muy lejanos. Por último y como una constante, el mortero polimérico no refleja un comportamiento estructural por los bajos resultados obtenidos en las pruebas.

5.3 ADHERENCIA EN PILAS DE ALBAÑILERÍA

El test de adherencia practicado en pilas de dos unidades, se realizó como una prueba complementaria a los dos ensayos oficiales anteriormente detallados, como se explicó en el Capítulo III, ello porque en el laboratorio no se contaba con el aparato tipo palanca solicitado en la NTP 334.129 para determinar la resistencia a la adherencia por flexión. Ante ello, se adaptaron los procedimientos planteados en normas de diferentes países, así como bibliografía diversa para poder calcular la resistencia de adherencia, llegando a obtener el procedimiento para el denominado “Test de adherencia por tracción directa para pilas de albañilería”,

desarrollado en el apartado 3.3.3 del Capítulo III, aprovechando además los aparatos y equipos disponibles en el laboratorio.

En los párrafos que continúan, se describirá el procedimiento de construcción de las pilas de dos ladrillos, así como los resultados obtenidos tras el ensayo en los especímenes. Cabe mencionar que al ser éste un ensayo complementario, solamente se consideró un espécimen por cada combinación existente de mortero y ladrillo, es decir se realizaron doce (12) pruebas de adherencia.

5.3.1 Elaboración de pilas de albañilería

Al no contar con una norma específica que regule este ensayo, la construcción de las pilas se hizo siguiendo las recomendaciones del procedimiento de construcción de pilas para el ensayo de compresión axial de las mismas, omitiendo algunos pasos que no son necesarios para una pila de mucho menor dimensión.

Es así que el proceso que se presenta en esta oportunidad es muy similar al mencionado en la parte inicial del presente capítulo. A continuación, se detallan los procedimientos de construcción diferenciándolos por el uso de morteros, pues la elaboración y aplicación de los mismos varía notablemente.

5.3.1.1 Pilas de albañilería con morteros de cemento

La forma de construir pilas de dos unidades con morteros de cemento, sean éstos los convencionales o embolsados, es parecida a la descrita anteriormente para pilas de mayor cantidad de ladrillos con la diferencia de que este proceso es mucho más simple y rápido. Asimismo, la elaboración de los morteros fue ya descrita a detalle anteriormente, por lo que se omitirá en el siguiente sumario.

- **Consideraciones generales**

Las pilas de albañilería estarán compuestas por únicamente dos (02) ladrillos, los cuales estarán asentados en forma de pila, uno sobre otro, adheridos por una junta de mortero de 1.5 cm de dimensión. Asimismo, se construyó una (01) pila por cada una de las nueve (09) combinaciones posibles de ladrillo-mortero de cemento.

- **Procedimiento**

1. Se trabajarán con ladrillos limpios de materiales adheridos, cuidando sobre todo las superficies de asiento, los cuales serán sumergidos en agua por alrededor de 2.5 minutos, en caso sean unidades de arcilla (King Kong 18 huecos y Pandereta Acanalada), con la intención de evitar la absorción de la humedad del mortero; mientras que, en el caso de los ladrillos de concreto, éstos no deben de saturarse, pues ello dificulta la adhesión mortero-concreto.
2. La elaboración del mortero se realizará según la dosificación necesaria (Ver 4.2.3.1 Elaboración de mortero, Capítulo IV).
3. Sobre una superficie nivelada, se coloca el primer ladrillo y sobre él, se aplica el mortero con un espesor de 1.5 cm. Tras ello, se coloca el segundo ladrillo, verificando la horizontalidad con un nivel de mano o un escantillón y la verticalidad con la plomada (Figura N° 5.39).
4. Tras la construcción de las pilas, éstas deben de cubrirse con polietileno hasta 3 días antes del ensayo.
5. Previo al ensayo, se anotan las dimensiones de ancho, longitud y altura de cada espécimen para posteriormente ejecutar el ensayo.



Figura N° 5.39 Construcción y aplomado de pilas de dos de ladrillos

5.3.1.2 Pilas de albañilería con mortero polimérico

Al igual que el caso anterior, las pilas de dos ladrillos se construyen de forma similar a las de mayor cantidad de unidades, cuyo procedimiento se explicó en la parte inicial. Por otro lado, la única diferencia existente entre este procedimiento y el de la construcción de pilas de dos ladrillos con morteros de cemento es la fabricación y aplicación de los morteros. A continuación, se detalla lo mencionado.

- **Consideraciones generales**

Las pilas de albañilería estarán compuestas por únicamente dos (02) ladrillos, los cuales estarán asentados en forma de pila, uno sobre otro, adheridos por una junta de mortero polimérico de entre 1 y 3 mm de dimensión. Asimismo, se construyó una (01) pila por cada una de las nueve (09) combinaciones posibles de ladrillo-mortero de cemento.

- **Procedimiento**

1. Serán elegidos aquellos los ladrillos que no presenten sustancias perjudiciales ni materiales adheridos, priorizando la verificación en las superficies de asiento (cara superior e inferior del ladrillo).
2. No se recomienda que las unidades de albañilería sean humedecidas, ello porque retarda el tiempo de secado del mortero polimérico.
3. En un recipiente limpio y con ayuda de una batidora, se elabora el mortero polimérico según las proporciones de agua recomendadas por el proveedor y la cantidad de metros cuadrados de ladrillos a asentarse (Ver 4.2.3.1 Elaboración de mortero del Capítulo IV). Tras ello, depositarlo en envases plásticos (bolsas herméticas con punta) para facilitar su aplicación.
4. Sobre una superficie plana y nivelada, se coloca el primer ladrillo y sobre él, se aplican dos hiladas del mortero polimérico sobre la superficie de asiento cuyo espesor será de entre 5 a 8 mm, en caso el ladrillo presente problemas geométricos en su superficie se recomienda aplicar una tercera hilada. Seguidamente, se coloca el segundo ladrillo, verificando la horizontalidad con un nivel de mano o un escantillón y la verticalidad con la plomada (Figura N° 5.40).
5. Tras construir las pilas, éstas se cubrirán con polietileno hasta 3 días previos al ensayo, como medida de protección ante agentes externos.
6. Previo al ensayo, se anotan las dimensiones de ancho, longitud y altura de cada espécimen para posteriormente ejecutar el ensayo.
7. Transcurrido el tiempo mencionado, los prismas son transportados al laboratorio, dónde se anotan las dimensiones de ancho, longitud y altura de cada espécimen.



Figura N° 5.40 Aplicación de mortero polimérico en pilas de concreto (izquierda); Pilas de dos ladrillos Clase A con mortero polimérico (derecha)

5.3.2 Ensayo de pilas de albañilería

Las pilas de albañilería de dos ladrillos se ensayan según el procedimiento especificado en el apartado 3.3.3 del Capítulo III: “Test de adherencia por tracción directa para pilas de albañilería”. Cabe mencionar que este procedimiento es similar para pilas con cualquier combinación de mortero-ladrillo existente en la presente investigación y que, además, la edad de ensayo de los especímenes fue de 28 días después de su elaboración. Asimismo, el equipo de ensayo fue la máquina hidráulica de tracción Zwick/Roell Z2000H, que permite calcular las deformaciones y cargas a lo largo del tiempo de ejecución del ensayo. En las Figuras N° 5.41, N° 5.42 y N° 5.43 se muestran imágenes de los ensayos.

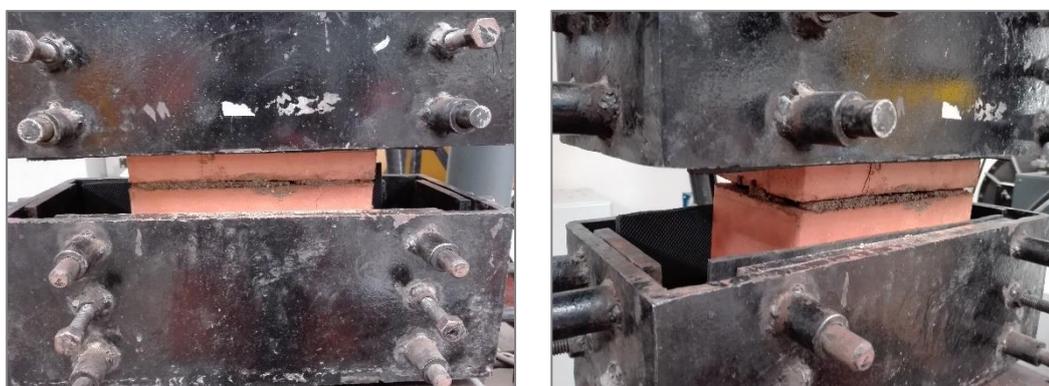


Figura N° 5.41 Ensayo de adherencia en pilas de albañilería de ladrillos King Kong 18 huecos y mortero polimérico (derecha); Falla en la adherencia del mortero polimérico, el ladrillo no se despega de la capa de mortero (derecha)



Figura N° 5.42 Ensayo de adherencia en pilas de albañilería de ladrillos Pandereta Acanalada y mortero de cemento (derecha); Falla en la adherencia del mortero de cemento, el ladrillo se despega totalmente de la capa de mortero (derecha)



Figura N° 5.43 Ensayo de adherencia en pilas de albañilería de ladrillos Konkreto y mortero de cemento (derecha); Falla en la adherencia del mortero de cemento, el ladrillo se despega totalmente de la capa de mortero (derecha)

5.3.2.1 Resultados

Tras la realización de los ensayos y ayudados por las funcionalidades de la máquina de ensayo, se pueden obtener las cargas máximas de falla de los prismas, así como las deformaciones en el tiempo, dichos datos aunados a los datos geométricos de los prismas permiten el cálculo de la resistencia de adherencia por tracción directa de las muestras ensayadas.

Con la intención de facilitar la nomenclatura de los distintos especímenes, pues existen doce (12) posibles combinaciones entre las tres (03) clases de ladrillos y los cuatro (04) tipos de morteros empleados, se propone lo siguiente:

Tabla N° 5.36 Nomenclatura empleada para las pilas de albañilería (Elaboración propia)

Componente	Rótulo	Descripción
Ladrillos	A	Ladrillo Clase A - King Kong 18 huecos
	B	Ladrillo Clase B - Pandereta Acanalada
	C	Ladrillo Clase C - Koncreto
Morteros	M14	Mortero Convencional C:A 1:4
	M15	Mortero Convencional C:A 1:5
	ME	Mortero Embolsado (1:4)
	MP	Mortero Polimérico
Ensayo	ADH	Adherencia por Tracción Directa

A continuación, como parte de la visualización de los resultados, se presentarán los datos geométricos de las pilas, las cargas obtenidas del ensayo, el cálculo de la resistencia de adherencia de las pilas de albañilería y los Gráficos esfuerzo-deformación de los especímenes.

5.3.2.2 Resultados en pilas de albañilería elaboradas con ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla

En la Tabla N° 5.37 se muestran las dimensiones de las pilas elaboradas con ladrillos King Kong 18 huecos, así como las áreas brutas de las secciones transversales a la superficie de carga, las cargas máximas alcanzadas en el ensayo y la resistencia de adherencia por cada tipo de mortero empleado en la investigación.

Tabla N° 5.37 Resistencia de adherencia en pilas de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área Bruta (cm ²)	Carga (kg)	Resist. Adherencia por Tracción (kg/cm ²)
A-M14-ADH	39.83	22.68	12.10	274.37	579	2.11
A-M15-ADH	40.05	22.63	12.13	274.33	153	0.56
A-ME-ADH	40.18	23.00	12.13	278.88	402	1.44
A-MP-ADH	37.73	22.83	12.00	273.90	360	1.32

Por otro lado, debido a que la máquina de ensayo y los softwares con los que funciona van registrando las deformaciones a medida que se aplican la carga, es posible obtener dicha información y generar la gráfica de esfuerzos y deformaciones, la cual se presenta en el Gráfico N°5.10.

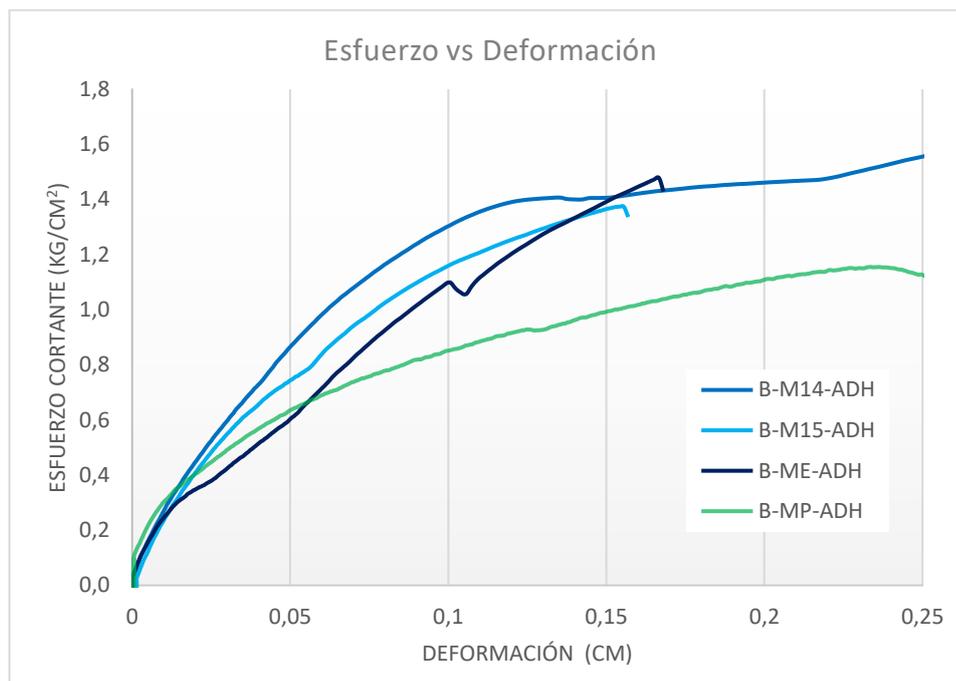


Gráfico N° 5.10 Esfuerzos vs Deformaciones en pilas de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Por último, se presenta un cuadro comparativo, en porcentajes, de las resistencias de adherencia alcanzadas empleando los cuatro distintos morteros y el ladrillo Clase A – King Kong 18 huecos; dichos cálculos son respecto al mayor valor.

Tabla N° 5.38 Comparación de la resistencia de adherencia por tracción en pilas de albañilería de ladrillo Clase A (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Pilas	Resist. Adherencia por Tracción (kg/cm ²)	Porcentaje (%)
Convencional C:A 1:4	2.11	100%
Convencional C:A 1:5	0.56	26%
Embolsado	1.44	68%
Polimérico	1.32	62%

Se aprecia en los resultados, que el mortero convencional C:A de dosificación 1:4 es el que mejor se comportan con el ladrillo King Kong 18 huecos (Clase A) seguidos por el mortero embolsado y el mortero polimérico, que prácticamente poseen resultados similares, cabe destacar que en las especificaciones de este último esta es una de sus propiedades destacables; mientras que, por otro lado, el mortero convencional C:A 1:5, alcanza la cuarta parte del mejor rendimiento.

5.3.2.3 Resultados en pilas de albañilería elaboradas con ladrillos Clase B: *Pandereta Acanalada de arcilla*

En la Tabla N° 5.39 se pueden observar las dimensiones de las pilas elaboradas con ladrillos Pandereta Acanalada, así como las áreas brutas de las secciones transversales de cada prisma, las cargas máximas alcanzadas en el ensayo y la resistencia de adherencia por tracción directa por cada uno de los cuatro tipos de morteros empleados en la investigación.

Tabla N° 5.39 Resistencia de adherencia en pilas de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área Bruta (cm ²)	Carga (kg)	Resist. Adherencia por Tracción (kg/cm ²)
B-M14-ADH	41.68	22.78	11.08	252.23	436	1.73
B-M15-ADH	41.85	22.85	10.98	250.78	345	1.37
B-ME-ADH	42.40	22.83	11.18	255.07	377	1.48
B-MP-ADH	38.20	22.63	11.00	248.88	415	1.67

Debido a que la máquina de ensayo y los softwares con los que funciona permiten registrar las deformaciones a medida que se aplican la carga, es posible procesar dicha información y generar el Gráfico de esfuerzos y deformaciones, la cual se muestra en el Gráfico N° 5.11.

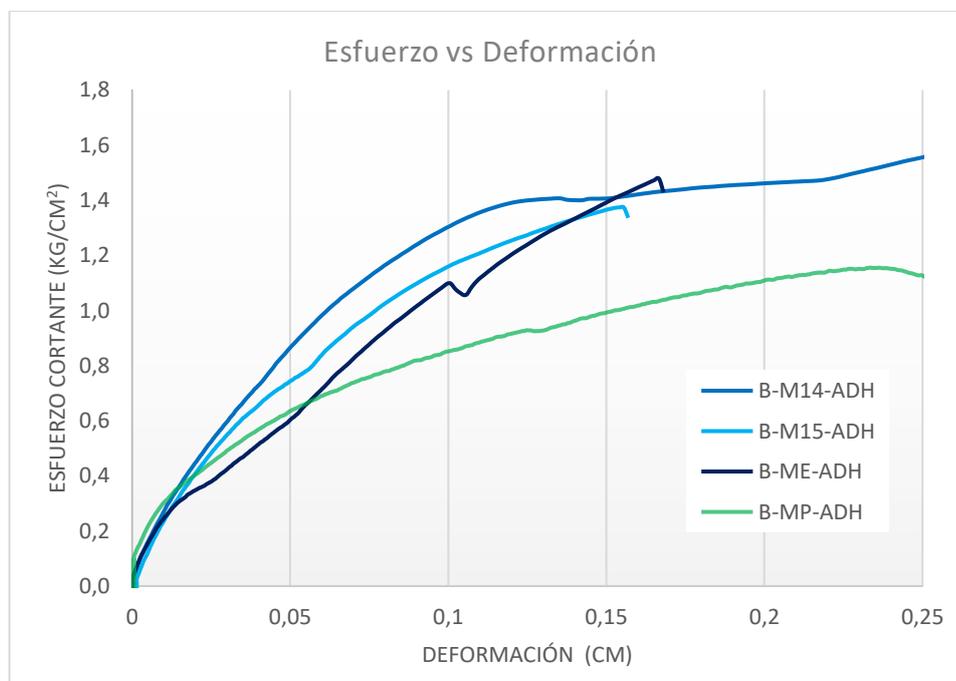


Gráfico N° 5.11 Esfuerzos vs Deformaciones en pilas de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Para finalizar, se presenta un cuadro comparativo de las resistencias de adherencia alcanzadas empleando los distintos morteros y el ladrillo Clase B – Pandereta Acanalada, ello expresado en porcentajes respecto al mayor valor.

Tabla N° 5.40 Comparación de la resistencia de adherencia por tracción en pilas de albañilería de ladrillo Clase B (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Pilas	Resist. Adherencia por Tracción (kg/cm ²)	Porcentaje (%)
Convencional C:A 1:4	1.73	100%
Convencional C:A 1:5	1.37	79%
Embolsado	1.48	85%
Polimérico	1.67	96%

Al igual que el caso anterior, el mortero convencional de dosificación 1:4 es el que mejor se comportan con el ladrillo King Kong 18 huecos (Clase A) pero destaca el comportamiento del mortero polimérico dado que casi iguala al de mayor resistencia. Luego, los morteros embolsado y convencional C:A 1:5, tienen buenos rendimientos, los cuales no distan mucho de los dos primeros.

5.3.2.4 Resultados en ladrillos Clase C: Konkreto de concreto

Las dimensiones de las pilas elaboradas con ladrillos de concreto, así como las áreas brutas de las secciones transversales de las pilas, las cargas máximas alcanzadas en el ensayo y la resistencia de adherencia por cada tipo de mortero empleado en la investigación, se muestran en la Tabla N° 5.41.

Tabla N° 5.41 Resistencia de adherencia en pilas de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Espécimen	Altura (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área Bruta (cm ²)	Carga (kg)	Resist. Adherencia por Tracción (kg/cm ²)
C-M14-ADH	39.68	21.88	12.90	282.19	210	0.75
C-M15-ADH	40.00	21.93	12.85	281.74	107	0.38
C-ME-ADH	40.10	21.88	12.93	282.73	136	0.48
C-MP-ADH	37.45	21.90	12.95	283.61	682	2.41

Asimismo, por el aporte que hace la máquina de ensayo y los softwares con los que funciona, al registrar las deformaciones a medida que se aplican la carga, es posible obtener generar la gráfica de esfuerzos y deformaciones, la cual se presenta en el Gráfico N° 5.12.

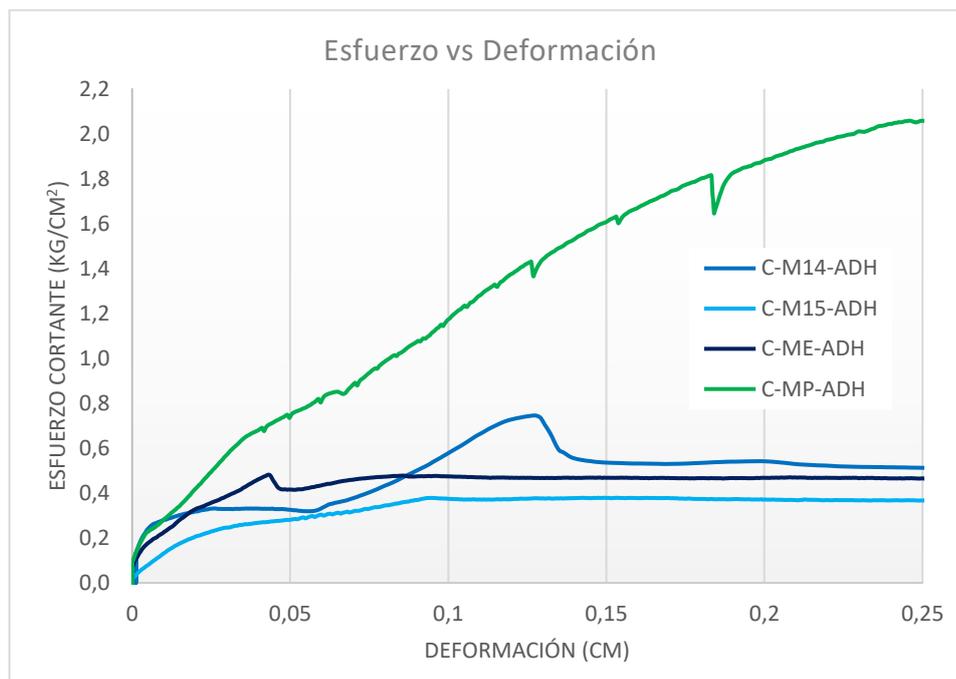


Gráfico N° 5.12 Esfuerzos vs Deformaciones en pilas de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Para culminar, en la Tabla N° 5.42, se presenta un cuadro comparativo de las resistencias de adherencia alcanzadas empleando los distintos morteros y el ladrillo Clase C – Koncreto; dichos cálculos son respecto al mayor valor.

Tabla N° 5.42 Comparación de la resistencia de adherencia por tracción en pilas de albañilería de ladrillo Clase C (Elaboración propia)

Mortero utilizado en Pilas	Resist. Adherencia por Tracción (kg/cm ²)	Porcentaje (%)
Convencional C:A 1:4	0.75	31% (100%)
Convencional C:A 1:5	0.38	16% (51%)
Embolsado	0.48	20% (65%)
Polimérico	2.41	100% (323%)

A diferencia de los dos casos pasados, el mortero polimérico es el que mejor comportamiento presenta en conjunto al ladrillo Koncreto (Clase C), cumpliendo con las expectativas que fueron especificadas por el proveedor. Con valores menores a la tercera parte de la resistencia de adherencia se encuentra el mortero convencional C:A 1:4 y el mortero embolsado, dejando al mortero convencional C:A 1:5 con el que menor rendimiento presenta.

CAPÍTULO VI: PRODUCTIVIDAD Y COSTOS DE LA ALBAÑILERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN PERUANA

En este capítulo se desarrolla la evaluación de los tiempos productivos, contributorios y no contributorios, la cantidad de recursos utilizados y los factores que influyen en la productividad, así como un desglose del análisis de costos unitarios que se registraron durante la construcción de los muretes de albañilería de cada posible combinación de unidad de albañilería y mortero, complementada con información registrada por investigaciones del sector construcción a lo largo de todo el país, con la intención de validar los resultados obtenidos.

6.1 LEAN CONSTRUCTION Y LA PRODUCTIVIDAD EN LA ALBAÑILERÍA

En el Perú, se han realizado varias investigaciones con la finalidad de medir, detectar los errores o pérdidas, solucionar y mejorar los procesos de la industria de la construcción con la intención de aumentar los márgenes de utilidad de las empresas, pero es a partir del nuevo milenio que algunas grandes compañías e investigadores del sector promovieron una nueva corriente para realizar dichas acciones, dicho enfoque fue el de “Lean Construction”, que para efectos del español se traduce como “Construcción sin pérdidas”, nombrado así en 1990 por investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Basados en los principios de esta filosofía y empleando sus herramientas, investigadores de diversas universidades peruanas lograron realizar muestreos de tipos de trabajo en la construcción, los cuales pueden ser productivo (TP), contributorio (TC) y no contributorio (TNC), en distintos proyectos de construcción, así como en las partidas que comprenden a los mismos, obteniendo resultados no tan alentadores sobre la productividad pero que permiten analizar propuestas de mejora. Asimismo, es notable destacar que investigadores como Pablo Orihuela, así como otros, enfocan muchos de estos estudios al análisis de partidas de albañilería, entre la que destaca la construcción de muros con distintos tipos de ladrillo, ello porque la incidencia de dicha partida es considerable en los proyectos, los resultados de dichas investigaciones, así como algunas definiciones necesarias para comprender el tema, se mostrarán en los apartados siguientes.

6.1.1 Productividad, rendimiento y velocidad de producción

No existe un consenso para definir los términos productividad, rendimiento y velocidad de producción, lo que genera ciertas confusiones y discrepancias en el ámbito profesional y académico. Dado ello, para la presente investigación se emplearán las definiciones más utilizadas por la literatura y los profesionales latinoamericanos, las cuales se muestran a continuación:

- **Productividad:** Representa la relación entre la producción obtenida en una determinada actividad y los recursos empleados para obtenerla.

$$Productividad = \frac{Cantidad\ de\ Producción}{Cantidad\ de\ Recursos}$$

Por ejemplo, para realizar la construcción de un muro de 2 m de largo y 2 metros de alto (Producción = 4 m²) se necesitan de 180 ladrillos y 1.5 bolsas de cemento. La productividad de los ladrillos sería de 0.022 m²/und, mientras que la del cemento sería de 2.67 m²/bls.

- **Rendimiento:** Representa la relación entre la cantidad de recursos empleados y la producción obtenida para una actividad determinada. Esto representaría lo inverso de la productividad.

$$Rendimiento = \frac{Cantidad\ de\ Recursos}{Cantidad\ de\ Producción}$$

Para el ejemplo antes mencionado, el rendimiento de los ladrillos sería de 45 und/m², mientras que el del cemento sería de 0.375 bls/m².

- **Velocidad de producción:** También denominada “capacidad de producción”. Es la cantidad de trabajo de una unidad de producción específica en un determinado plazo de tiempo.

$$Velocidad = \frac{Cantidad\ de\ Producción}{Tiempo}$$

Este término suele confundirse con el rendimiento, por ejemplo, al realizar un análisis de precios unitarios para una partida se opta por colocar la cantidad de producción que se alcanza en un día (variación de tiempo), lo cual representa la velocidad de producción, mas no el rendimiento. Por ejemplo, la velocidad de producción en la albañilería de ladrillo King Kong 18 huecos es aproximadamente 7.0 m²/día.

6.1.2 Lean Production y Lean Construction

La filosofía de gestión denominada Lean Construction, al igual que otras aplicaciones de gestión “Lean” en diversas industrias, es una adaptación del enfoque **Lean Production**, sistema que fue planteado entre 1946 y 1975 por Taiichi Ohno, Sakichi Toyoda y Kiichiro Toyoda para el “Sistema de Producción de Toyota (SPT)” empleado para la manufactura de automóviles; basado en la eliminación del inventario y otras pérdidas durante el sistema de producción, ello mediante de la producción en pequeños lotes (Just in Time – JIT), la disminución de tiempos de reparación de los equipos, la semiautomatización de la maquinaria con supervisión humana (Jidoka), la cooperación con los proveedores y los clientes, y algunas otras técnicas (Koskela, 1992).

Fue Lauri Koskela, en 1992, quien empezó con la implementación de la filosofía aplicada por Toyota en el rubro de la construcción y posteriormente investigadores, entre los que destaca Glenn Ballard, fueron quienes aportaron herramientas que ayudaron al desarrollo de este nuevo sistema de producción en la construcción. Es así que, en 1997, Glenn Ballard y Greg Howell crean el Lean Construction Institute (LCI), conceptualizando oficialmente la filosofía “**Lean Construction**”, cuya definición, según dicha entidad, hace referencia a un nuevo sistema de gestión de la producción en la industria de la construcción que se orienta a disminuir o eliminar las actividades o recursos que generen pérdidas al proyecto y optimizar aquellos que agreguen valor para el cliente.

A diferencia del pensamiento tradicional y con el objetivo de cumplir lo establecido en su definición (principios), la filosofía Lean Construction plantea que la producción está compuesta por una transformación de materiales, un flujo de recursos y la generación de valor; donde el objetivo es optimizar las transformaciones mediante la reducción o eliminación de los flujos de materiales que circulan en el proyecto con la finalidad de obtener mayor valor en el producto final (Ballard, 1994). Para ello, propone utilizar como principal herramienta a un sistema de producción que aumenta la eficiencia de las actividades mejorando el proceso de planificación y control, dicho sistema es denominado como *Last Planner System (LPS)* o *Sistema del Último Planificador*, el cual permite controlar la variabilidad en la planificación, etapa en la cual se definen los criterios y estrategias para alcanzar los objetivos del proyecto mientras que con el control se

asegurará que los eventos se realicen en la secuencia prevista (Porras, Sánchez y Galvis, 2014). Asimismo, la estructura de este sistema se desarrolla en tres niveles de planificación, los cuales se complementan con diversas herramientas según el nivel:

- **Planificación maestra:** Representa lo que se “debe” hacer. Comprende todas las actividades que conforman el proyecto a nivel general, estableciendo hitos para cada una.
- **Planificación intermedia:** Representa lo que se “puede” hacer. Consiste en el desglose de la planificación maestra en intervalos de tiempo más reducidos. La herramienta principal es el *Look Ahead Planning*, que considera una planificación de entre 3 a 6 semanas, realizando para ello un *Análisis de Restricciones* de las actividades.
- **Planificación semanal:** Representa lo que “se hará”. Es la planificación detallada de las actividades que se desarrollarán durante la semana realizada por el encargado de supervisar la ejecución de los trabajos (Último Planificador). En esta etapa se mide el cumplimiento de lo programado mediante el *Porcentaje de Programa Cumplido (PPC)* y se realizan reuniones semanales para la retroalimentación y planificación de la siguiente semana.

Finalmente, Lean Construction no está definido solamente por el LPS y las distintas otras herramientas que posee, algunas de las cuales se desarrollaran posteriormente; sino que va más allá, comprende también la interacción de las personas, la cultura que se pueda crear y los conocimientos que se puedan compartir entre los partícipes del proyecto.

6.1.3 Herramientas para medir la productividad

Dentro del proceso de implementación de la filosofía Lean Construction, existe un paso importante, pues en él se realiza un estudio de la ocupación del tiempo de los trabajadores, con la intención de estimar cual es la cantidad de tiempo que realmente se emplea para producir o generar valor y, por otro lado, tomar medidas de corrección respecto al tiempo que se desperdicia. Para ello, es necesario considerar los tres tipos de trabajo que se pueden suscitar en la ejecución de una actividad. Ghio (2001) considera lo siguiente:

- **Trabajo productivo (TP):** Comprende al trabajo o actividades que aporta de forma directa a la producción, es decir que genera valor directamente.
- **Trabajo contributorio (TC):** Comprende al trabajo que sirve de apoyo y que debe realizarse para que se pueda ejecutar el trabajo productivo. Son actividades que no aportan valor pero que son aparentemente necesarias, por lo que son consideradas como pérdidas.
- **Trabajo no contributorio (TNC):** Corresponde a cualquier trabajo o actividad realizada pero que no generan valor, es decir son pérdidas directas. Asimismo, son actividades innecesarias que conllevan costos, por lo que deben de reducirse o eliminarse.

La medición y posterior análisis de dichos trabajos se logra mediante dos herramientas, una a nivel general, denominada nivel general de actividades (NGA) y la otra a un nivel más específico, la cual se denomina carta de balance. A continuación, se describen dichas herramientas:

6.1.3.1 Nivel general de actividades (NGA)

Herramienta que desarrolla un muestreo del trabajo realizado en un proyecto a un nivel general. Esta herramienta mide la distribución de los tiempos productivos (TP), contributorios (TC) y no contributorios (TNC) que se presentan en las distintas actividades que se ejecuten por el personal del proyecto. Al ser esta una herramienta estadística, se necesita que al menos se consideren 364 mediciones para obtener resultados representativos.

6.1.3.2 Carta de balance

Herramienta similar al nivel general de actividades, pero aplicada a un nivel mucho más específico, pues se analiza a una actividad o partida a detalle. Al igual que la herramienta mencionada anteriormente, la carta de balance mide la distribución de los tiempos que emplea el personal a ejecutar la partida analizada y permite analizar la composición de la cuadrilla, implementar cambios o mejorar la productividad.

6.1.4 Resultados obtenidos en la albañilería

Como se mencionó inicialmente, la implementación de Lean Construction y sus herramientas en el Perú tiene menos de dos décadas, por lo que la cantidad de investigaciones sobre la productividad en la construcción no es grande y mucho menos aún los estudios aplicados a la albañilería. En la presente investigación se intentó recopilar la mayor cantidad de resultados aplicados a la albañilería en las distintas investigaciones realizadas por profesionales a lo largo del país y compararlos con los resultados obtenidos en la construcción de los muretes.

6.1.4.1 Resultados sobre productividad, rendimientos y velocidad de producción

En el Perú, uno de los ingenieros que realizó más investigaciones sobre la aplicación de la filosofía Lean Construction tanto a nivel académico como a nivel profesional es Pablo Orihuela y promoviendo el intercambio de conocimientos, que es uno de los principios del desarrollo de la cultura lean, hace de acceso público la mayoría de sus investigaciones; es así que, en el 2006, conjuntamente a los ingenieros Inga y Pacheco, realizaron un estudio denominado “Factores de afectan a la productividad de la mano de obra en los muros de albañilería”, llegando a determinar que los factores más influyentes pueden ser de carácter inherente a la albañilería, humano y de equipos. A continuación, se detallan los resultados:

- **Factores inherentes al muro de albañilería**
 - a) El tipo de unidad, afecta por las dimensiones y peso disponibles.
 - b) La altura del paño, influye en la comodidad del operario y en el uso de equipos adicionales como andamios.
 - c) La distribución en planta, que incrementa la complejidad del asentamiento en caso sean con distribuciones irregulares o especiales.
 - d) El tipo de amarre, pudiendo ser de sogá, de cabeza o de canto, influyendo en la cantidad de ladrillos empleados.
 - e) La presencia de vanos, influyendo en la continuidad del asentado.
 - f) Las interrupciones, como columnetas o instalaciones, que también alteran la continuidad del muro.
 - g) La ubicación, que influye en los cuidados de seguridad adicional.

- **Factores de carácter humano**
 - a) La destreza o habilidad del operario.
 - b) La motivación con la que trabaja el personal.
 - c) La capacitación o conocimientos que posea el personal.

- **Factores de herramientas y equipos**
 - a) La productividad de las herramientas y equipos.
 - b) La tecnología presente en las herramientas y equipos que faciliten y aceleren el trabajo.

En el Gráfico N° 6.1 se muestran las mediciones realizadas a los operarios, considerando distintas longitudes de muros, pudiéndose notar que el factor humano también es determinante a la hora de determinar la velocidad de producción, pues existen diferencias notables entre un operario y otro, como es el caso de los operarios 1 (rojo) y el operario 6 (celeste), entre los cuales existe una diferencia de años de experiencia, conocimientos adquiridos y compromiso con la empresa en la que trabajan.

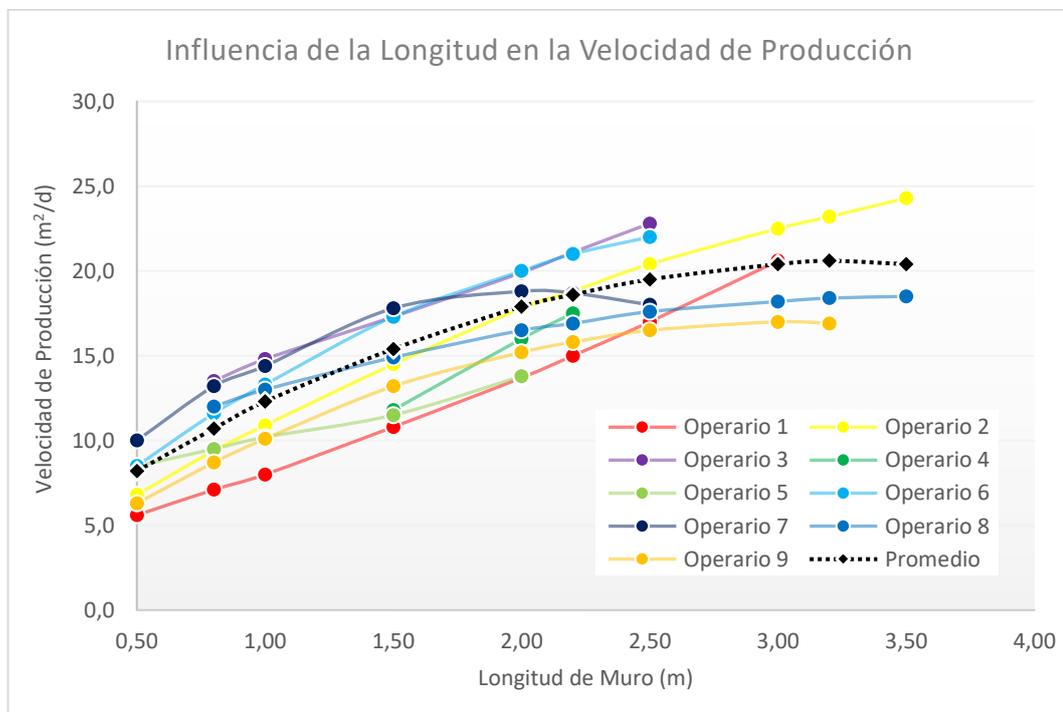


Gráfico N° 6.1 Variación de la velocidad de producción respecto a la longitud de muro
(Fuente: Orihuela, Inga y Pacheco; 2006)

Por otro lado, la altura de los muros también puede llegar a ser un factor determinante, pues como se observa en el Gráfico N° 6.2 los operarios que trabajan en muros con alturas de entre 0.80m y 1.20m pueden alcanzar mayores velocidades y ello es debido a que el trabajo a esa altura es más cómoda y ergonómica, a diferencia de los que trabajan a bajas y grandes alturas.

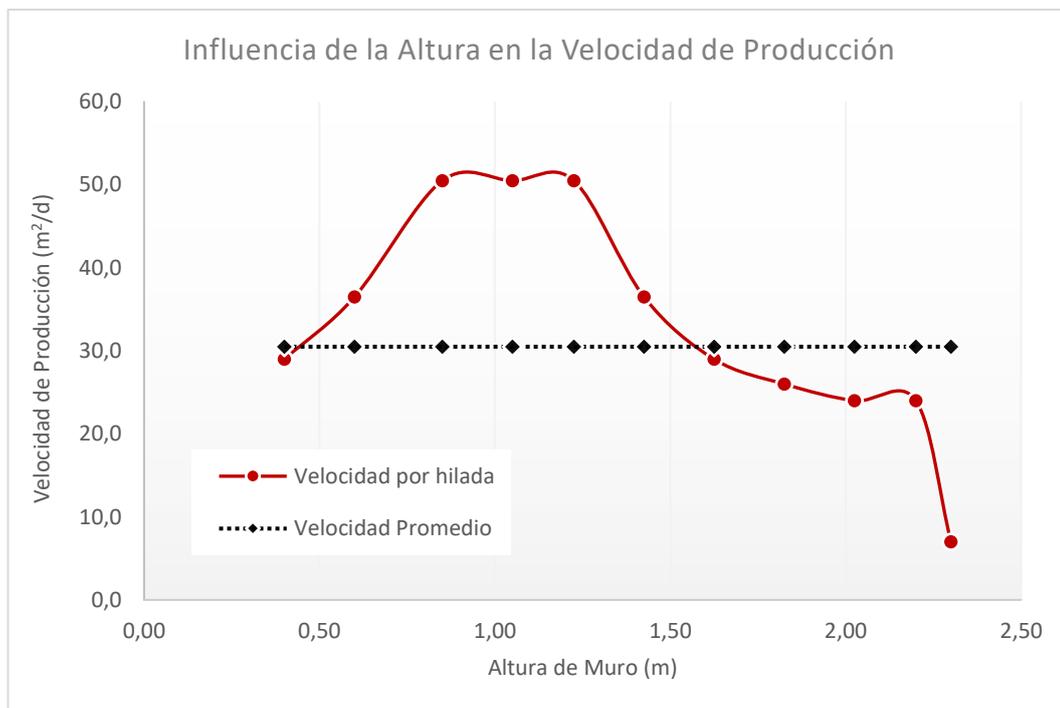


Gráfico N° 6.2 Variación de la velocidad de producción respecto a la altura de muro
(Fuente: Orihuela, Inga y Pacheco; 2006)

Dada la cantidad de mediciones que presenta la investigación, los valores obtenidos para la velocidad de producción en la albañilería pueden servir como una referencia válida para compararlos con los valores resultantes de la presente tesis, al igual que los valores oficiales distribuidos por entidades como Capeco o el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), caso contrario por fuentes serias y con experiencia en el rubro como la revista Costos.

En los párrafos siguientes, se muestra el análisis realizado para obtener la velocidad de producción para cada una de las doce (12) posibles combinaciones de ladrillo y mortero existente en esta tesis, así como la comparación de dichos resultados con las fuentes mencionadas anteriormente y finalmente los valores obtenidos para la productividad y los rendimientos.

Resultados en ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla

Para calcular la velocidad de producción se midieron los tiempos empleados para construir los tres muretes de ladrillo King Kong 18 huecos de cada uno de los morteros empleados en la investigación, los cuales conjuntamente a los metrados elaborados nos brindan las velocidades de producción para cada caso.

Tabla N° 6.1 Cálculo de la velocidad de producción en muros de ladrillos Clase A
(Elaboración propia)

Mortero	Cantidad		Tiempo			Velocidad de Producción		
	m ²	piezas	min	hora	día	m ² /h	m ² /d	pza/d
Convencional C:A 1:4	1.26	54	108	1.80	0.23	0.70	5.60	240
Convencional C:A 1:5	1.26	54	110	1.83	0.23	0.69	5.50	236
Embolsado	1.26	54	95	1.58	0.20	0.80	6.37	273
Polimérico	1.29	63	72	1.20	0.15	1.08	8.60	420

Dado que la unidad más empleada para medir la velocidad de producción de la albañilería, erróneamente confundida con el rendimiento, es el metro cuadrado por día (m²/día), de la tabla antes mostrada se puede obtener el Gráfico N° 6.3 donde se puede observar que la combinación con el mortero polimérico es la que mejor velocidad presenta, seguido por el mortero embolsado, que es otro material industrializado.

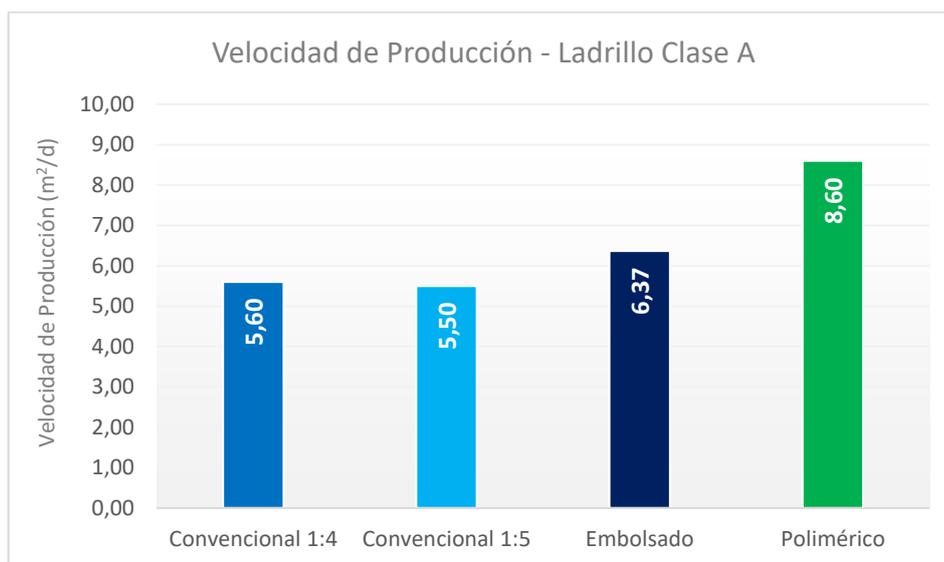


Gráfico N° 6.3 Variación de la velocidad de producción empleando distintos morteros y ladrillos Clase A – King Kong 18 huecos

Las Tablas N° 6.2 y N° 6.3, contienen una comparación de los resultados obtenidos en esta investigación y los presentados por instituciones reconocidas en el sector como Capeco, el MVCS y la revista Costos, así como por diversos investigadores a nivel nacional como Vargas (2017), Matta (2018) y Ticlla (2015) en Lima, Ccorahua (2016) en Cusco, y Rojas (2014) en Cajamarca. De ello se puede observar que los valores obtenidos en esta tesis son mayores o iguales a los registrados en las investigaciones más no logran alcanzar los valores planteados por las instituciones oficiales, por una pequeña variación.

Tabla N° 6.2 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase A y fuentes oficiales en el ámbito peruano (Elaboración propia)

Tipo de Mortero	Velocidad de Producción (m ² /d)			
	Fuente Propia Valor real	Fuentes Oficiales		
		Capeco	R.M. N°175	Rev. Costos
Convencional C:A 1:4	5.60	6.92	7.20	9.46
Convencional C:A 1:5	5.50	6.92	7.20	9.46
Embolsado	6.37	-	-	-
Polimérico	8.60	-	-	19.00

Tabla N° 6.3 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase A e investigaciones varias en el ámbito peruano (Elaboración propia)

Tipo de Mortero	Velocidad de Producción (m ² /d)					
	Fuente Propia Valor real	Investigaciones Varias				
		Vargas	Matta	Ticlla	Ccorahua	Rojas
Convencional C:A 1:4	5.60	2.96	3.04	4.21	4.58	8.58
Convencional C:A 1:5	5.50	2.96	3.04	4.21	13.28	8.58
Embolsado	6.37	-	-	-	-	-
Polimérico	8.60	5.92	4.72	-	-	-

Finalmente, con los conceptos definidos inicialmente para la productividad y el rendimiento, en la Tabla N° 6.4 se muestran los valores obtenidos para cada combinación de mortero y ladrillo King Kong 18 huecos, siendo el de mejor desempeño el de mortero polimérico.

Tabla N° 6.4 Rendimiento y productividad en muros de ladrillos Clase A (Elaboración propia)

Tipo de Mortero	Mano de Obra	
	Rendimiento	Productividad
	hh/m ²	m ² /hh
Convencional C:A 1:4	1.4	0.7
Convencional C:A 1:5	1.5	0.7
Embolsado	1.3	0.8
Polimérico	0.9	1.1

Resultados en ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla

Con la intención de calcular la velocidad de producción se tomaron nota de los tiempos empleados para construir los tres muretes de ladrillo Pandereta Acanalada de cada una de las combinaciones con morteros utilizados en la investigación, los cuales conjuntamente a los metrados elaborados nos brindan las velocidades de producción para cada caso, ello se muestra en la Tabla N° 6.5.

Tabla N° 6.5 Cálculo de la velocidad de producción en muros de ladrillos Clase B
(Elaboración propia)

Mortero	Cantidad		Tiempo			Velocidad de Producción		
	m ²	piezas	min	hora	día	m ² /h	m ² /d	pza/d
Convencional C:A 1:4	1.26	54	97	1.62	0.20	0.78	6.24	267
Convencional C:A 1:5	1.26	54	99	1.65	0.21	0.76	6.11	262
Embolsado	1.26	54	75	1.25	0.16	1.01	8.06	346
Polimérico	1.29	63	63	1.05	0.13	1.23	9.83	480

Dado que el metro cuadrado por día (m²/día) es la unidad más empleada para medir la velocidad de producción de la albañilería, de la tabla antes mostrada se puede obtener el Gráfico N° 6.3 donde se pueden observar las velocidades en dicha unidad y, asimismo, es de notar que como en el caso anterior, la combinación con el mortero polimérico es la que mejor velocidad presenta, seguida por el mortero embolsado, que es otro material industrializado.

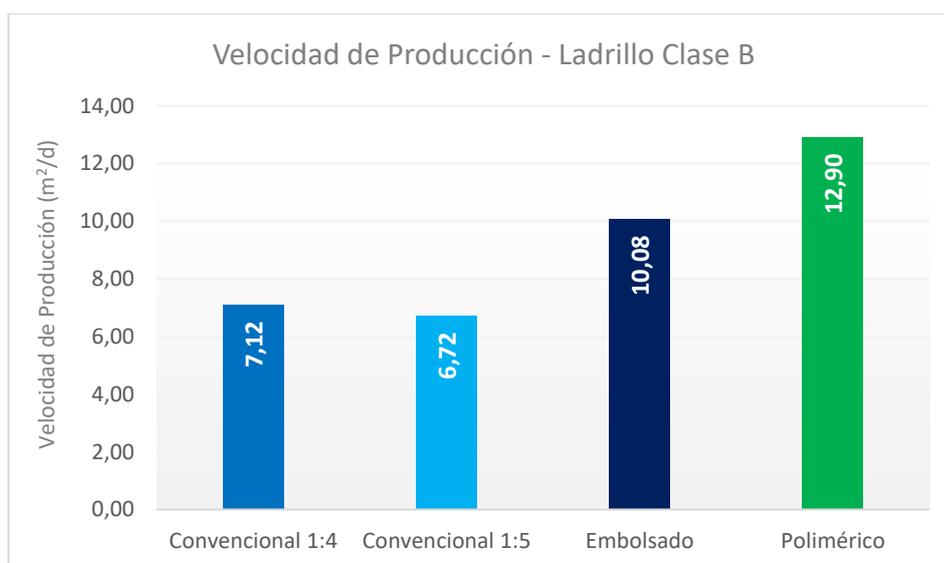


Gráfico N° 6.4 Variación de la velocidad de producción empleando distintos morteros y ladrillos Clase B – Pandereta Acanalada

En las Tablas N° 6.6 y N° 6.7, se muestra una comparación de los resultados obtenidos en esta investigación y los presentados por instituciones reconocidas en el sector como Capeco, el MVCS y la revista Costos, así como por diversos investigadores a nivel nacional como, por ejemplo, a nivel de Lima destacan Orihuela, Inga y Pacheco (2006) con el estudio anteriormente mostrado, y Vargas (2017), mientras que Rojas (2014) destaca en Cajamarca. De ello se puede observar que los valores obtenidos en esta tesis son muy similares a los exigidos por y a los mostrados por Orihuela y compañía.

Tabla N° 6.6 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase B y fuentes oficiales en el ámbito peruano (Elaboración propia)

Tipo de Mortero	Velocidad de Producción (m ² /d)			
	Fuente Propia Valor real	Fuentes Oficiales		
		Capeco	R.M. N°175	Rev. Costos
Convencional C:A 1:4	7.12	7.14	7.20	9.46
Convencional C:A 1:5	6.72	7.14	7.20	9.46
Embolsado	10.08	-	-	-
Polimérico	12.90	-	-	19.00

Tabla N° 6.7 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase B e investigaciones varias en el ámbito peruano (Elaboración propia)

Tipo de Mortero	Velocidad de Producción (m ² /d)			
	Fuente Propia Valor real	Investigaciones Varias		
		Orihuela	Vargas	Rojas
Convencional C:A 1:4	7.12	8.50	3.20	12.84
Convencional C:A 1:5	6.72	8.50	3.20	12.84
Embolsado	10.08	-	-	-
Polimérico	12.90	-	7.68	-

Para finalizar, se calculó la productividad y el rendimiento para cada combinación de mortero y ladrillo Pandereta Acanalada, como se muestra en la Tabla N° 6.8, siendo la pareja conformada junto al mortero polimérico, la que mejor desempeño presenta, como en el caso anterior.

Tabla N° 6.8 Rendimiento y productividad en muros de ladrillos Clase B (Elaboración propia)

Tipo de Mortero	Mano de Obra	
	Rendimiento hh/m ²	Productividad m ² /hh
Convencional C:A 1:4	1.1	0.9
Convencional C:A 1:5	1.2	0.8
Embolsado	0.8	1.3
Polimérico	0.6	1.6

Resultados en ladrillos Clase C: Konkreto de concreto

Al igual que en los dos últimos casos, se midieron los tiempos empleados para construir los tres muretes de ladrillo Konkreto de cada uno de los morteros empleados en la investigación, así como medida de los metrados elaborados, para poder calcular las velocidades de producción para cada caso (Tabla N° 6.9).

Tabla N° 6.9 Cálculo de la velocidad de producción en muros de ladrillos Clase C
(Elaboración propia)

Mortero	Cantidad		Tiempo			Velocidad de Producción		
	m ²	piezas	min	hora	día	m ² /h	m ² /d	pza/d
Convencional C:A 1:4	1.26	54	97	1.62	0.20	0.78	6.24	267
Convencional C:A 1:5	1.26	54	99	1.65	0.21	0.76	6.11	262
Embolsado	1.26	54	75	1.25	0.16	1.01	8.06	346
Polimérico	1.29	63	63	1.05	0.13	1.23	9.83	480

En el Gráfico N° 6.5 se puede observar que al igual que los dos casos anteriores, la combinación con el mortero polimérico es la que mejor velocidad presenta.

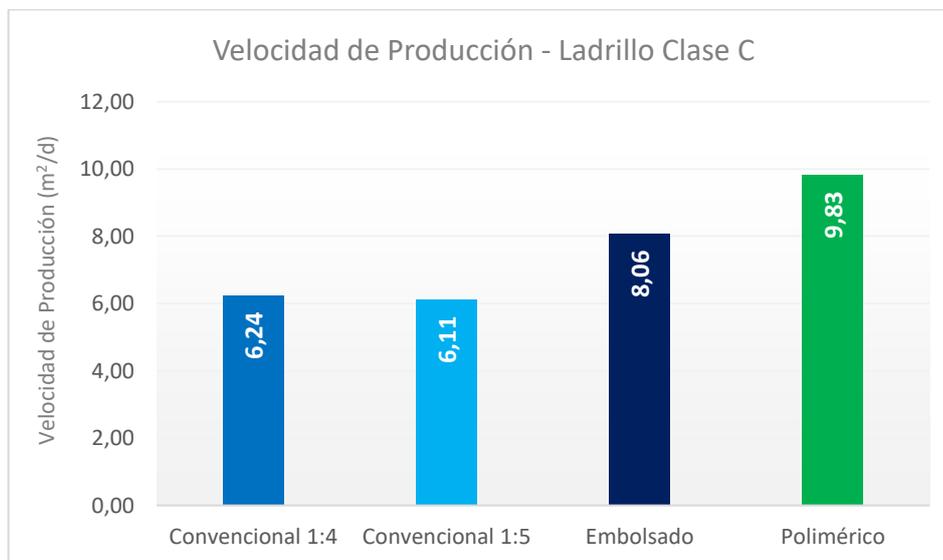


Gráfico N° 6.5 Variación de la velocidad de producción empleando distintos morteros y ladrillos Clase C – Konkreto

Asimismo, en la Tabla N° 6.10, se presenta la comparación de los resultados obtenidos con los presentados por los entes más reconocidos del medio como Capeco, el MVCS y la revista Costos, y así como por los resultados obtenidos por la ingeniera Rojas (2014) en Cajamarca, notando que los resultados logrados no alcanzan a los otros valores planteados.

Tabla N° 6.10 Comparación de resultados en muros de ladrillos Clase C con los de fuentes oficiales e investigaciones en el ámbito peruano (Elaboración propia)

Tipo de Mortero	Velocidad de Producción (m ² /d)				
	Fuente Propia Valor real	Fuentes Oficiales			Tesis
		Capeco	R.M. N°175	Rev. Costos	Rojas
Convencional C:A 1:4	6.24	8.00	6.28	10.00	10.76
Convencional C:A 1:5	6.11	8.00	6.28	10.00	10.76
Embolsado	8.06	-	-	-	-
Polimérico	9.83	-	-	27.00	-

Para finalizar el análisis de estos datos, en la Tabla N° 6.11 se muestran los valores para la productividad y el rendimiento, obtenidos para cada combinación de mortero y ladrillo de concreto.

Tabla N° 6.11 Rendimiento y productividad en muros de ladrillos Clase C (Elaboración propia)

Tipo de Mortero	Mano de Obra	
	Rendimiento	Productividad
	hh/m ²	m ² /hh
Convencional C:A 1:4	1.3	0.8
Convencional C:A 1:5	1.3	0.8
Embolsado	1.0	1.0
Polimérico	0.8	1.2

6.1.4.2 Resultados sobre la distribución de tiempos

En el caso de las investigaciones y recolección de data sobre la distribución del tiempo en las distintas actividades de la construcción peruana, se marca un hito importante, a inicios de este milenio, cuando Virgilio Ghio publica su libro “Productividad en obras de construcción”, pues en él recoge y analiza por primera el estado verdadero del empleo de los tiempos en cincuenta (50) proyectos de edificación masiva, obteniendo como resultado alarmante que en tan sólo un 28% del total de tiempo se produce realmente; como respuesta ante esto, Ghio plantea que se debería emplear la filosofía Lean Construction, involucrando sus principios, conocimiento y herramientas, para mejorar la productividad en las edificaciones.

A partir de ese entonces, son muy pocas las investigaciones que lograron realizar el análisis de tal cantidad de proyectos, una de ellas fue la realizada por Morales y Galeas en el 2006, la cual mostró que la realidad en la construcción no había variado tanto, pues el nivel de trabajo productivo tan sólo alcanzó un 30% del total

empleado. Investigaciones posteriores y más recientes no marcan un panorama tan general como las dos mencionadas anteriormente, sino que solamente se centran en analizar un proyecto y algunas de sus partidas más incidentes.

Todas las investigaciones coinciden en que la única forma de obtener, procesar y analizar esos datos es mediante la aplicación de un muestreo de trabajo mediante la herramienta nivel general de actividades (NGA) o las cartas de balance; y es por ello que en la presente investigación también se emplea dichas herramientas para calcular la distribución de los trabajos productivos, contributorios y no contributorios que se presentó a la hora de elaborar los muretes de albañilería.

Consideraciones Generales

Se realizó el estudio de la distribución de tiempo durante la construcción de los muretes, dado que se estaba evaluando actividades específicas, que harían a su vez de partidas, se empleó la herramienta *carta de balance*. Se realizaron dos jornadas de mediciones por lo que se emplearon dos cartas de balance, cuyas características se describen a continuación:

- **Carta de balance N° 01:** Se utilizó en la construcción de un murete con mortero de cemento, específicamente uno compuesto de ladrillo Pandereta y mortero convencional C:A 1:4, ello porque el proceso de construcción entre todas las combinaciones que emplean el mortero de cemento es muy similar.
- **Carta de balance N° 02:** Se realizó mientras se construía un murete empleando mortero polimérico, el cual estaba compuesto por ladrillos Konkreto y el mortero ya mencionado. Se empleó una carta de balance distinta dado que el procedimiento de construcción y la composición de la cuadrilla eran diferentes a las analizadas en la primera carta de balance.

Del mismo modo, previamente a la toma de datos, es necesario definir la clasificación de las actividades según el tipo de tiempo al cual están relacionadas, ello para poder diferenciar cada medición que se realice mientras se ejecute la construcción de los muretes; con esta intención, las actividades planteadas dentro de los tres tipos de tiempo (productivo, contributorio y no contributorio) fueron las que se muestran en las Tablas N° 6.12, N° 6.13 y N° 6.14.

Tabla N° 6.12 Actividades consideradas como productivas - TP (Elaboración propia)

Tiempo Productivo (TP)	
Actividad	Código
Aplicación de mortero	AM
Asentado de ladrillos	AL

Tabla N° 6.13 Actividades consideradas como contributorias - TC (Elaboración propia)

Tiempo Contributorio (TC)	
Actividad	Código
Movimiento de ladrillos	ML
Preparación de mortero	PM
Transporte de insumos	TI
Limpieza	LP
Mediciones	MD
Inspección	IP

Tabla N° 6.14 Actividades consideradas como no contributorias - TNC (Elaboración propia)

Tiempo No Contributorio (TNC)	
Actividad	Código
Esperas	ES
Trabajo rehecho	TR
Tiempo ocioso	TO
Viajes innecesarios	VI
Otras actividades	OT

Planteado ello, se realizaron las mediciones de tiempos para ambos casos, obteniendo los siguientes resultados:

Resultados de la Carta de balance N°01: Muretes con morteros de cemento

En la Tabla N° 6.15 se mencionan las consideraciones que se tuvieron al realizar la toma de datos correspondientes al primer caso estudiado.

Tabla N° 6.15 Consideraciones de trabajo para la Carta de balance N° 01 (Elaboración propia)

Carta de Balance N° 01	
Datos	Descripción
Partida	Muro de ladrillo pandereta acanalada; mortero C:A 1:4
Cuadrilla	1 Operario (M. Porras) + 1 Peón (C. Verástegui)
Trabajo	Intensivo
Fecha	18 Dic 2017
Hora de Inicio	12:10:00 p. m.
Hora Final	12:52:00 p. m.
Frecuencia	Una medición cada medio minuto (30 seg)

Los resultados se muestran en la Tabla N° 6.16, cabe mencionar que se midieron las actividades de todo el personal que conformaban la cuadrilla, así mismo para el registro se emplearon los códigos de las actividades anteriormente clasificadas y se incluyó de forma se incluyó el tiempo de tiempo al que pertenecen.

Tabla N° 6.16 Carta de balance para murete con mortero de cemento (Elaboración propia)

N°	Operario		Peón	
	Actividad	Tipo	Actividad	Tipo
1	LP	TC	PM	TC
2	MD	TC	PM	TC
3	MD	TC	PM	TC
4	TI	TC	PM	TC
5	TI	TC	PM	TC
6	ML	TC	TI	TC
7	ML	TC	TI	TC
8	AM	TP	VI	TNC
9	AM	TP	VI	TNC
10	AL	TP	VI	TNC
11	AL	TP	LP	TC
12	AL	TP	LP	TC
13	IP	TC	VI	TNC
14	AM	TP	VI	TNC
15	AL	TP	TO	TNC
16	AL	TP	TO	TNC
17	AM	TP	TO	TNC
18	AL	TP	TI	TC
19	AL	TP	TI	TC
20	IP	TC	TI	TC
21	AM	TP	TI	TC
22	AM	TP	TI	TC
23	ML	TC	TI	TC
24	ML	TC	VI	TNC
25	AL	TP	VI	TNC
26	AL	TP	VI	TNC
27	AL	TP	TI	TC
28	AM	TP	ML	TC
29	AL	TP	LP	TC
30	AM	TP	LP	TC
31	IP	TC	ES	TNC
32	AM	TP	ES	TNC
33	ML	TC	TI	TC
34	AL	TP	TI	TC
35	AL	TP	PM	TC
36	AL	TP	PM	TC
37	AM	TP	PM	TC
38	AL	TP	ML	TC
39	AL	TP	ML	TC
40	AL	TP	TI	TC
41	TR	TNC	TI	TC
42	AL	TP	ML	TC
43	AL	TP	PM	TC
44	AL	TP	ML	TC
45	AL	TP	LP	TC
46	AL	TP	TO	TNC
47	AM	TP	TO	TNC
48	ML	TC	VI	TNC
49	ML	TC	TI	TC
50	AL	TP	TI	TC
51	AL	TP	TI	TC
52	AL	TP	TI	TC
53	AM	TP	LP	TC
54	AL	TP	LP	TC
55	AM	TP	OT	TNC
56	AL	TP	OT	TNC
57	AL	TP	OT	TNC
58	ML	TC	OT	TNC
59	AL	TP	OT	TNC
60	ES	TNC	OT	TNC
61	AM	TP	OT	TNC
62	AL	TP	OT	TNC
63	AL	TP	OT	TNC
64	ML	TC	OT	TNC
65	ML	TC	OT	TNC
66	TR	TNC	TI	TC
67	ES	TNC	TI	TC
68	ML	TC	PM	TC
69	AL	TP	PM	TC
70	ML	TC	PM	TC
71	AL	TP	PM	TC
72	AL	TP	TI	TC
73	AM	TP	ML	TC
74	AL	TP	VI	TNC
75	TR	TNC	VI	TNC
76	TR	TNC	IP	TC
77	ML	TC	IP	TC
78	AL	TP	IP	TC
79	AL	TP	LP	TC
80	AM	TP	LP	TC
81	IP	TC	LP	TC
82	IP	TC	LP	TC
83	LP	TC	LP	TC
84	LP	TC	LP	TC

Al realizar el análisis por cada persona que compone la cuadrilla, se ha de notar que el operario realiza más actividades productivas durante su labor, mientras que el peón tiene una función más contributiva; pero si consideramos ambas mediciones, simulando un nivel general de actividades, los resultados de tiempo contributivo disminuyen considerablemente, ello por el nulo aporte de este tipo por parte del peón. Lo mencionado se puede apreciar en la Tabla N° 6.17 y el Gráfico N° 6.6.

Tabla N° 6.17 Distribución del tiempo según la carta de balance N° 01 (Elaboración propia)

Tipo de Tiempo	Porcentaje		
	Operario	Peón	General
Productivo (TP)	63.1%	0.0%	31.5%
Contributorio (TC)	29.8%	65.5%	47.6%
No Contributorio (TNC)	7.1%	34.5%	20.8%

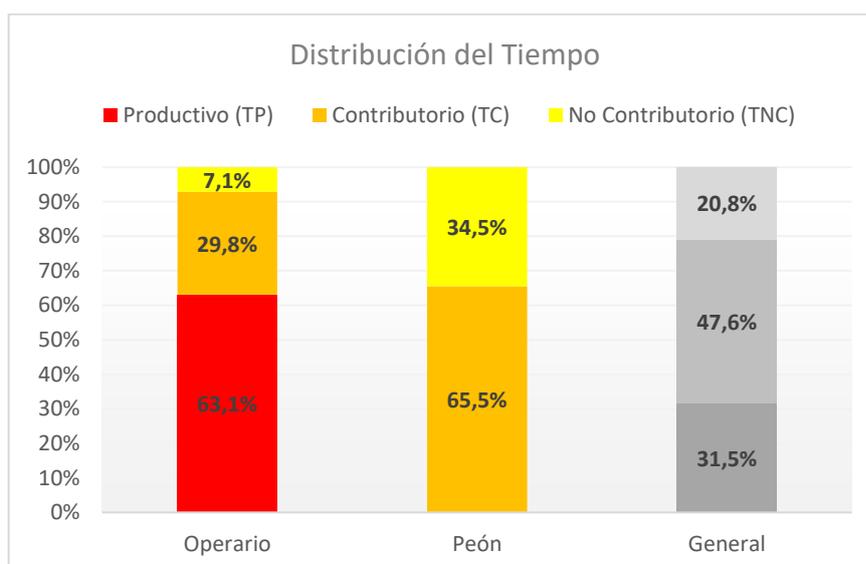


Gráfico N° 6.6 Distribución del tiempo según la carta de balance N° 01

Asimismo, al realizar un análisis más detallado de las actividades que comprenden cada tipo de tiempo, se puede determinar cuál de ellas es la tienen mayor incidencia dentro del proceso de construcción de los muretes y del mismo modo, se deben de analizar las posibles causas, así como plantear medidas de mejora que se deban de tomar para mejorar la productividad del proceso.

En la Tabla N° 6.18 y el Gráfico N° 6.7, se muestra la distribución de las actividades correspondientes al tiempo productivo tanto para el operario como

para el peón, siendo el asentado de ladrillos la actividad que mayor incidencia tiene respecto al tipo de tiempo y al total de actividades presentadas durante la ejecución de esta partida, cabe mencionar que el peón no registró actividades productivas.

Tabla N° 6.18 Actividades de tiempo productivo presentes en la CB N° 01 (Elaboración propia)

Actividad	Código	Tiempo Productivo (TP)					
		Operario		Peón		General	
		%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad
Aplicación de mortero	AM	30%	16	0%	0	30%	16
Asentado de ladrillos	AL	70%	37	0%	0	70%	37

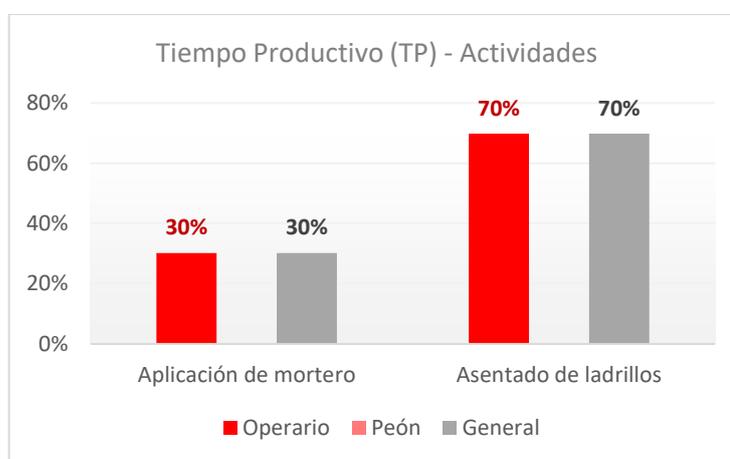


Gráfico N° 6.7 Actividades de tiempo productivo presentadas en la CB N° 01

El caso de las actividades correspondientes al tiempo contributorio, que son las que mayor cantidad de mediciones poseen, se muestran en la Tabla N° 6.19 y el Gráfico N° 6.8, siendo la actividad de transporte de insumos la que mayor cantidad de mediciones presenta (28% del TC).

Tabla N° 6.19 Actividades de tiempo contributorio presentes en la CB N° 01 (Elaboración propia)

Actividad	Código	Tiempo Contributorio (TC)					
		Operario		Peón		General	
		%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad
Movimiento de ladrillos	ML	52%	13	11%	6	24%	19
Preparación de mortero	PM	0%	0	24%	13	16%	13
Transporte de insumos	TI	8%	2	36%	20	28%	22
Limpieza	LP	12%	3	24%	13	20%	16
Mediciones	MD	8%	2	0%	0	3%	2
Inspección	IP	20%	5	5%	3	10%	8

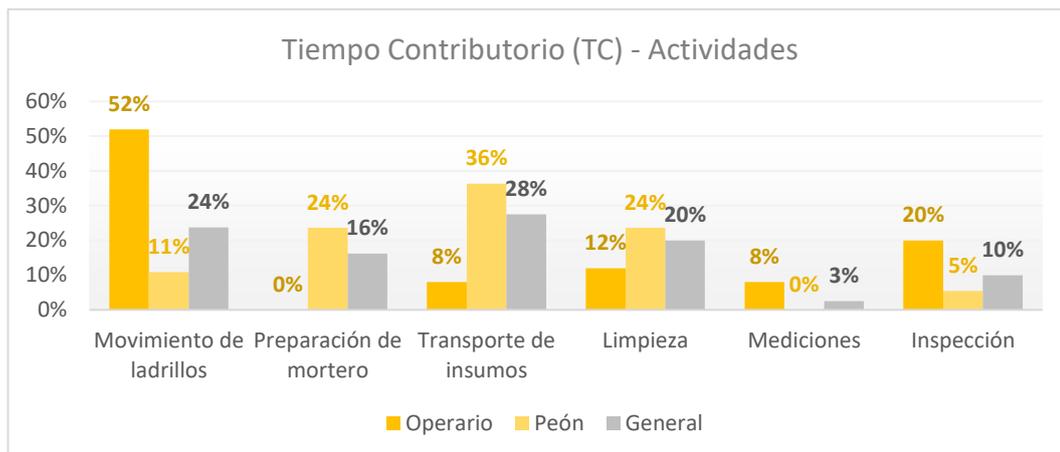


Gráfico N° 6.8 Actividades de tiempo contributorio presentadas en la CB N° 01

Finalmente, la distribución de las actividades que no agregan valor se presenta en la Tabla N° 6.20 y el Gráfico N° 6.9, siendo los viajes innecesarios y otras actividades realizadas por el peón las que deben de controlarse con mayor énfasis.

Tabla N° 6.20 Actividades de tiempo no contributorio presentes en la CB N° 01
(Elaboración propia)

Actividad	Código	Tiempo No Contributorio (TNC)					
		Operario		Peón		General	
		%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad
Esperas	ES	33%	2	7%	2	11%	4
Trabajo rehecho	TR	67%	4	0%	0	11%	4
Tiempo ocioso	TO	0%	0	17%	5	14%	5
Viajes innecesarios	VI	0%	0	38%	11	31%	11
Otras actividades	OT	0%	0	38%	11	31%	11

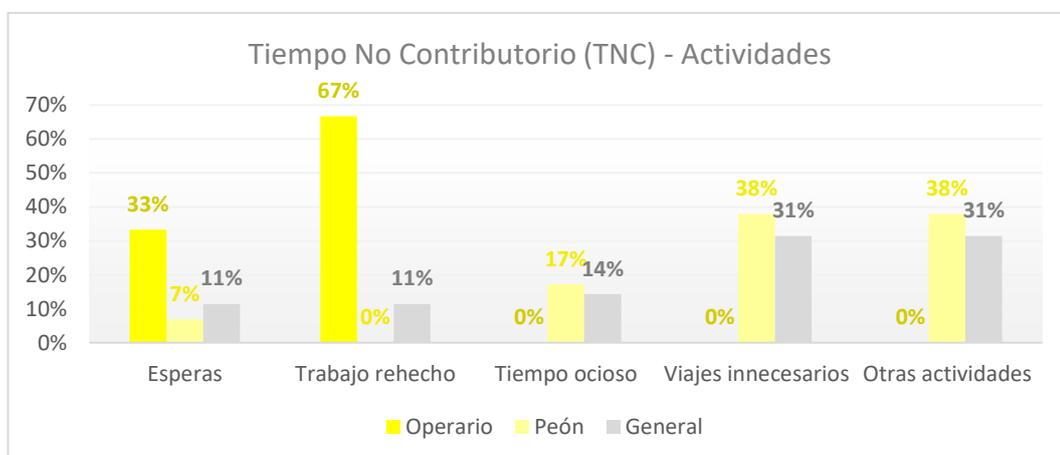


Gráfico N° 6.9 Actividades de tiempo no contributorio presentadas en la CB N° 01

Resultados de la Carta de balance N°02: Muretes con mortero polimérico

En la Tabla N° 6.21 se mencionan las consideraciones que se tuvieron al realizar la toma de datos correspondientes al segundo caso estudiado.

Tabla N° 6.21 Consideraciones de trabajo para la Carta de balance N° 02 (Elaboración propia)

Carta de Balance N° 02	
Datos	Descripción
Partida	Muro de ladrillo Koncreto; mortero polimérico
Cuadrilla	1 Operario (M. Porras)
Trabajo	Intensivo
Fecha	21 Dic 2017
Hora de Inicio	01:10:00 p. m.
Hora Final	01:32:00 p. m.
Frecuencia	Una medición cada medio minuto (30 seg)

Los resultados de las mediciones a las actividades realizadas por el operario se muestran en la carta de balance N° 02 (Tabla N° 6.22).

Tabla N° 6.22 Carta de balance para murete con mortero polimérico (Elaboración propia)

N°	Operario		N°	Operario	
	Actividad	Tipo		Actividad	Tipo
1	LP	TC	23	AL	TP
2	TI	TC	24	TR	TNC
3	TI	TC	25	TR	TNC
4	MD	TC	26	AL	TP
5	ML	TC	27	AL	TP
6	AL	TP	28	IP	TC
7	AL	TP	29	AM	TP
8	AM	TP	30	AM	TP
9	AM	TP	31	AL	TP
10	ML	TC	32	AL	TP
11	AL	TP	33	AL	TP
12	AL	TP	34	IP	TC
13	IP	TC	35	AM	TP
14	AM	TP	36	AL	TP
15	AM	TP	37	AL	TP
16	ML	TC	38	AL	TP
17	AL	TP	39	AM	TP
18	AL	TP	40	AM	TP
19	AL	TP	41	ML	TC
20	AM	TP	42	AL	TP
21	AM	TP	43	AL	TP
22	AL	TP	44	IP	TC

Como resultado del análisis inicial de la carta de balance N° 02, se obtuvo que existe una alta productividad al construir muros empleando el mortero polimérico, logrando obtenerse hasta un 68% de actividades productivas, como se muestra en la Tabla N° 6.23 y el Gráfico N° 6.10.

Tabla N° 6.23 Distribución del tiempo según la carta de balance N° 02 (Elaboración propia)

Tipo de Tiempo	Porcentaje	
	Operario	General
Productivo (TP)	68.2%	68.2%
Contributorio (TC)	27.3%	27.3%
No Contributorio (TNC)	4.5%	4.5%

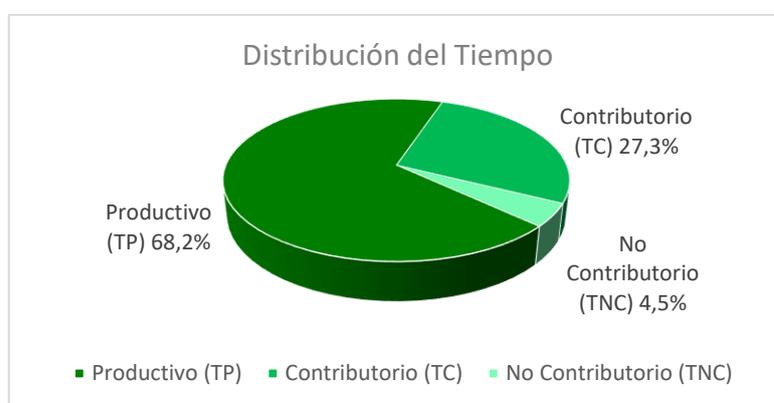


Gráfico N° 6.10 Distribución del tiempo según la carta de balance N° 02

Posteriormente se realizó un análisis más detallado de las actividades que comprenden cada tipo de tiempo y se determinó que los factores que contribuyeron al aumento de la productividad fueron el hecho de que tan sólo una persona sea la encargada de realizar la partida y que la facilidad en la aplicación del mortero es mayor en comparación a los morteros de cemento. Estos resultados se pueden apreciar en las Tablas N° 6.24, N° 6.25 y N° 6.26, donde se rescata que la actividad más incidente es el asentado de ladrillos, tanto para las actividades productivas como para todo el proceso, asimismo casi no se registran actividades no contributivas (la única fue un trabajo rehecho).

Tabla N° 6.24 Actividades de tiempo productivo presentes en la CB N° 02 (Elaboración propia)

Tiempo Productivo (TP)			
Actividad	Código	Operario	
		Mediciones	%
Aplicación de mortero	AM	11	37%
Asentado de ladrillos	AL	19	63%

Tabla N° 6.25 Actividades de tiempo contributorio presentes en la CB N° 02 (Elaboración propia)

Tiempo Contributorio (TC)			
Actividad	Código	Operario	
		Mediciones	%
Movimiento de ladrillos	ML	4	33%
Transporte de insumos	TI	2	17%
Limpieza	LP	1	8%
Mediciones	MD	1	8%
Inspección	IP	4	33%

Tabla N° 6.26 Actividades de tiempo no contributorio presentes en la CB N° 02
(Elaboración propia)

Tiempo No Contributorio (TNC)			
Actividad	Código	Operario	
		Mediciones	%
Trabajo rehecho	TR	2	100%

Del mismo modo, en el Gráfico N° 6.11 se muestra la distribución de dichas actividades de manera visual.

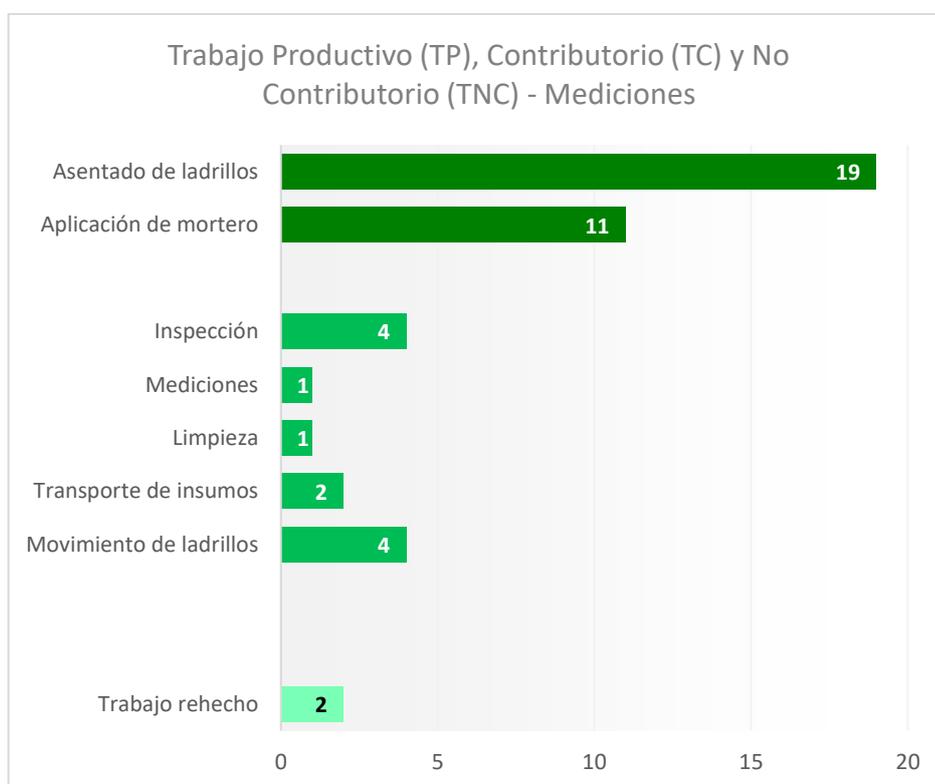


Gráfico N° 6.11 Cantidad de mediciones de actividades productivas, contributorias y no contributorias presentadas en la carta de balance N° 02

Comparación de los resultados obtenidos con otras investigaciones

Como se había mencionado al inicio, en el Perú existen algunas investigaciones importantes que determinaron indicadores del nivel de productividad existentes en los proyectos de edificación y en las partidas de albañilería.

El Gráfico N° 6.12 recoge la información más relevante de acceso público y las compara con los resultados obtenidos en la presente investigación, para ello se consideraron los datos aportados por Ghio (2001) para la productividad peruana y chilena, así como su propuesta de los niveles óptimos que deberían existir en un proyecto; por Morales y Galeas, registrando el comportamiento de la productividad en el año 2006; y también los datos obtenidos de cartas de balance aportados por Ticlla (015) para muros de ladrillos King Kong en Lima y por Ccorahua (2016) para muros con bloques de concreto en Cusco.

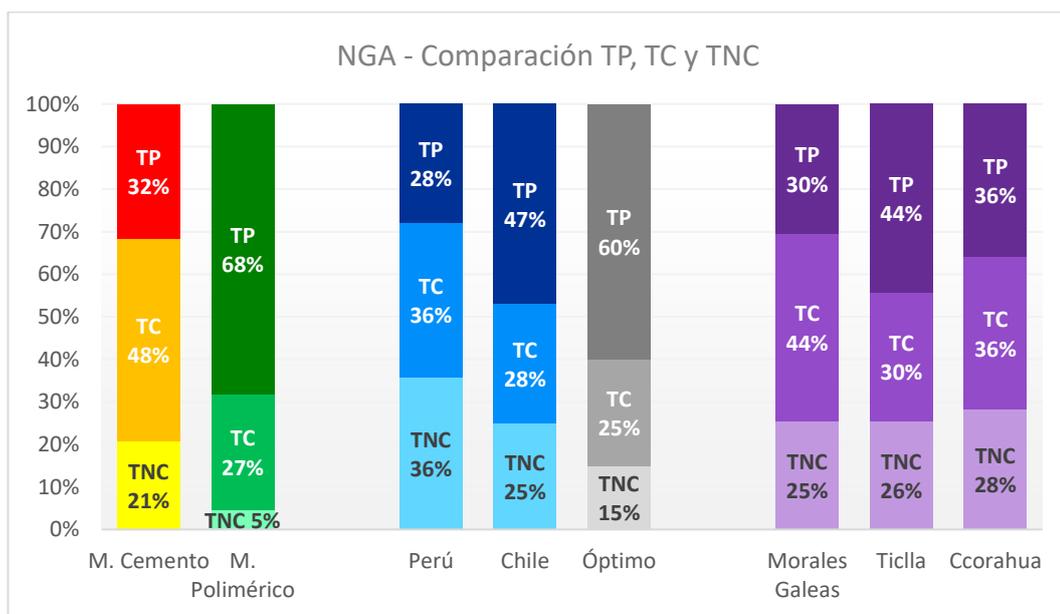


Gráfico N° 6.12 Comparación de la distribución de tiempo en la elaboración de muros con morteros de cemento y mortero polimérico respecto a otras investigaciones peruanas

Se puede apreciar que la productividad presentada en la construcción de muros de albañilería con morteros de cementos se encuentra entre lo esperado y registrado por los demás investigadores, mientras que la productividad obtenida al construir muros con mortero polimérico es incluso superior a la planteada por Ghio como productividad óptima.

6.2 COSTOS UNITARIOS EN LA ALBAÑILERÍA

Un factor inclusive más determinante que la productividad, el rendimiento o la velocidad de producción es el costo; pues es importante tener conocimiento de los beneficios que traen consigo las inversiones en determinados métodos o tecnologías de construcción, es por esta razón que es imprescindible realizar un análisis económico de las opciones empleadas en la presente investigación para la construcción de muros de albañilería.

Dado ello, el análisis de precios unitarios (APU) representa la herramienta más simple y confiable para determinar los costos que se incurren en una determinada partida, por ello se utilizó esta herramienta para calcular los costos desembolsados en las doce posibles combinaciones de ladrillo-mortero, considerando además las velocidades de producción obtenidas en el análisis de productividad previo, que para este efecto se consideran como rendimientos, aunque como se mencionó, este no debería ser el término correcto. Se presentan los resultados según el tipo de unidad de albañilería empleada.

6.2.1 Costos unitarios para muros de albañilería de ladrillos Clase A: King Kong 18 huecos de arcilla

La Tabla N° 6.27 muestra los costos unitarios obtenidos empleando el mortero convencional en proporción cemento-arena 1:4.

Tabla N° 6.27 Costos unitarios de muro de ladrillo KK 18H y mortero C:A.1:4 (Elaborac. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo King Kong 18 huecos; Mortero C:A 1:4; Junta = 1.5 cm					
Rendimiento	5.60	m ² /día		Unidad	m ²	
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.143	23.84	3.41	
Operario	hh	1.00	1.429	18.34	26.19	
Peón	hh	0.50	0.714	13.26	9.47	
Costo de mano de obra						39.07
Materiales						
Ladrillo KK 18 Huecos	und		45.000	0.63	28.35	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.350	22.50	7.88	
Arena Gruesa	m ³		0.048	215.80	10.36	
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03	
Costo de materiales						46.61
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		3.000	39.07	1.17	
Costo de equipos y herramientas						1.17
Costo Directo (S/./m²)						86.85

En la Tabla N° 6.28, se muestran los costos unitarios incurridos para el caso del uso del mortero convencional C:A 1:5.

Tabla N° 6.28 Costos unitarios de muro de ladrillo KK 18H y mortero C:A 1:5 (Elaborac. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo King Kong 18 huecos; Mortero C:A 1:5; Junta = 1.5 cm				Unidad	m ²
Rendimiento	5.50	m ² /día				

Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.145	23.84	3.47	
Operario	hh	1.00	1.455	18.34	26.67	
Peón	hh	0.50	0.727	13.26	9.64	
Costo de mano de obra						39.78
Materiales						
Ladrillo KK 18 Huecos	und		45.000	0.63	28.35	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.300	22.50	6.75	
Arena Gruesa	m ³		0.055	215.80	11.87	
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03	
Costo de materiales						46.99
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		3.000	39.78	1.19	
Costo de equipos y herramientas						1.19
Costo Directo (S/./m²)						87.97

Se muestran también, en la Tabla N° 6.29, los resultados obtenidos al emplear el mortero embolsado de dosificación cemento-arena 1:4.

Tabla N° 6.29 Costos unitarios de muro de ladrillo KK 18H y mortero embolsado (Elaborac. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo King Kong 18 huecos; Mortero Embolsado; Junta = 1.5 cm				Unidad	m ²
Rendimiento	6.36	m ² /día				

Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.126	23.84	3.00	
Operario	hh	1.00	1.258	18.34	23.06	
Peón	hh	0.50	0.629	13.26	8.34	
Costo de mano de obra						34.40
Materiales						
Ladrillo KK 18 Huecos	und		45.000	0.63	28.35	
Mortero Embolsado C:A 1:4	bol		2.000	12.50	25.00	
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03	
Costo de materiales						53.38
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		3.000	34.40	1.03	
Costo de equipos y herramientas						1.03
Costo Directo (S/./m²)						88.81

Finalmente, en la Tabla N° 6.30, se muestran los resultados empleando el mortero polimérico como material ligante.

Tabla N° 6.30 Costos unitarios de muro de ladrillo KK 18H y mortero polimérico (Elaborac. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo King Kong 18 huecos; Mortero Polimérico; Junta = 1.5 cm		Unidad			
Rendimiento	8.60	m ² /día			m ²	
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.093	23.84	2.22	
Operario	hh	1.00	0.930	18.34	17.06	
Peón	hh	0.20	0.186	13.26	2.47	
					Costo de mano de obra	21.74
Materiales						
Ladrillo KK 18 Huecos	und		52.000	0.63	32.76	
Mortero Polimérico	bol		0.075	165.20	12.39	
Pegablock						
Agua	m ³		0.015	2.50	0.04	
					Costo de materiales	45.19
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		10.000	21.74	2.17	
					Costo de equipos y herramientas	2.17
					Costo Directo (S./m²)	69.10

Como se pudo apreciar en las cuatro tablas mostradas anteriormente y el Gráfico N° 6.13, la combinación que menores costos representa es la del mortero polimérico con el ladrillo King Kong 18 huecos de arcilla.

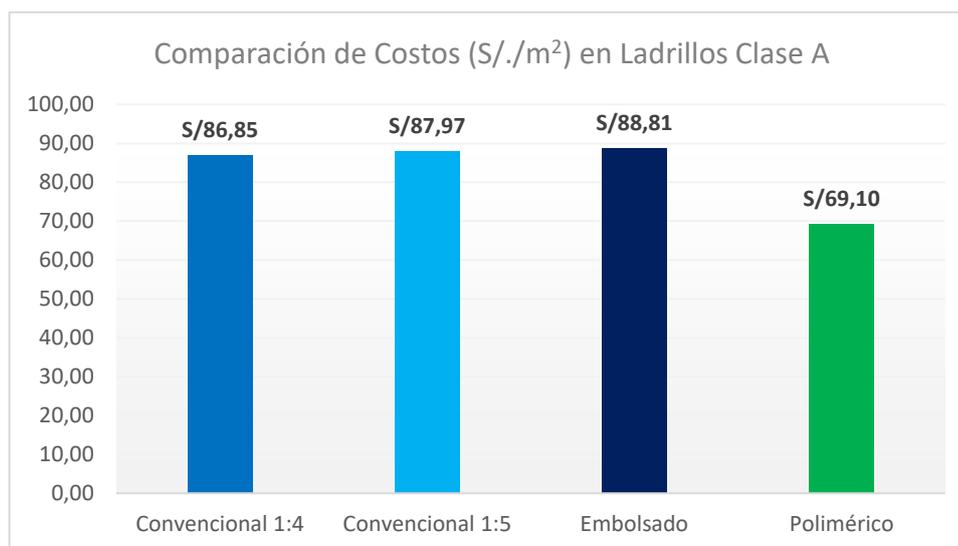


Gráfico N° 6.13 Costos por m² incurridos en la construcción de muros de ladrillo KK 18H empleando varios tipos de mortero.

6.2.2 Costos unitarios para muros de albañilería de ladrillos Clase B: Pandereta Acanalada de arcilla

En las Tablas N° 6.31 y N° 6.32, se muestran los costos unitarios obtenidos haciendo uso del mortero convencional en proporción cemento-arena 1:4 y en proporción 1:5, respectivamente.

Tabla N° 6.31 Costos unitarios de muro de ladrillo pandereta y mortero C:A 1:4 (Elaborac. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo Pandereta Acanalada; Mortero C:A 1:4; Junta = 1.5 cm					
Rendimiento	7.12	m ² /día			Unidad	m ²
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.112	23.84	2.68	
Operario	hh	1.00	1.124	18.34	20.60	
Peón	hh	0.50	0.562	13.26	7.45	
Costo de mano de obra						30.73
Materiales						
Ladrillo Pandereta Acanalada	und		45.000	0.53	23.85	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.350	22.50	7.88	
Arena Gruesa	m ³		0.048	215.80	10.36	
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03	
Costo de materiales						42.11
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		3.000	30.73	0.92	
Costo de equipos y herramientas						0.92
Costo Directo (S/./m²)						73.76

Tabla N° 6.32 Costos unitarios de muro de ladrillo pandereta y mortero C:A 1:5 (Elaborac. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo Pandereta Acanalada; Mortero C:A 1:5; Junta = 1.5 cm					
Rendimiento	6.72	m ² /día			Unidad	m ²
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.119	23.84	2.84	
Operario	hh	1.00	1.190	18.34	21.83	
Peón	hh	0.50	0.595	13.26	7.89	
Costo de mano de obra						32.56
Materiales						
Ladrillo Pandereta Acanalada	und		45.000	0.53	23.85	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.300	22.50	6.75	
Arena Gruesa	m ³		0.055	215.80	11.87	
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03	
Costo de materiales						42.49
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		3.000	32.56	0.98	
Costo de equipos y herramientas						0.98
Costo Directo (S/./m²)						76.03

Se presentan también los costos incurridos con el mortero embolsado.

Tabla N° 6.33 Costos unitarios de muro de ladrillo pandereta y mortero embolsado (Elabor. propia)

Partida	Muro de sogá; Ladrillo Pandereta Acanalada; Mortero Embolsado; Junta = 1.5 cm		Unidad			
Rendimiento	10.10	m ² /día			m ²	
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.079	23.84	1.89	
Operario	hh	1.00	0.792	18.34	14.52	
Peón	hh	0.50	0.396	13.26	5.25	
Costo de mano de obra						21.66
Materiales						
Ladrillo Pandereta Acanalada	und		45.000	0.53	23.85	
Mortero Embolsado C:A 1:4	bol		1.850	12.50	23.13	
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03	
Costo de materiales						47.00
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		3.000	21.66	0.65	
Costo de equipos y herramientas						0.65
Costo Directo (S./m²)						69.31

Y finalmente, la Tabla N° 6.34 contiene los costos en el caso de que se emplee el mortero polimérico para construir los muros.

Tabla N° 6.34 Costos unitarios de muro de ladrillo pandereta y mortero polimérico (Elabor. propia)

Partida	Muro de sogá; Ladrillo Pandereta Acanalada; Mortero Polimérico; Junta = 1.5 cm		Unidad			
Rendimiento	12.90	m ² /día			m ²	
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.062	23.84	1.48	
Operario	hh	1.00	0.620	18.34	11.37	
Peón	hh	0.20	0.124	13.26	1.64	
Costo de mano de obra						14.49
Materiales						
Ladrillo Pandereta Acanalada	und		52.000	0.53	27.56	
Mortero Polimérico Pegablock	bol		0.075	165.20	12.39	
Agua	m ³		0.015	2.50	0.04	
Costo de materiales						39.99
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		10.000	14.49	1.45	
Costo de equipos y herramientas						1.45
Costo Directo (S./m²)						55.93

Del análisis de los cuatro casos desarrollados para los muros de ladrillo pandereta, se puede apreciar que la opción que permite incurrir en la menor cantidad de costos es también la del mortero polimérico, pero es importante mencionar el ahorro en mano de obra generado en caso del mortero embolsado.

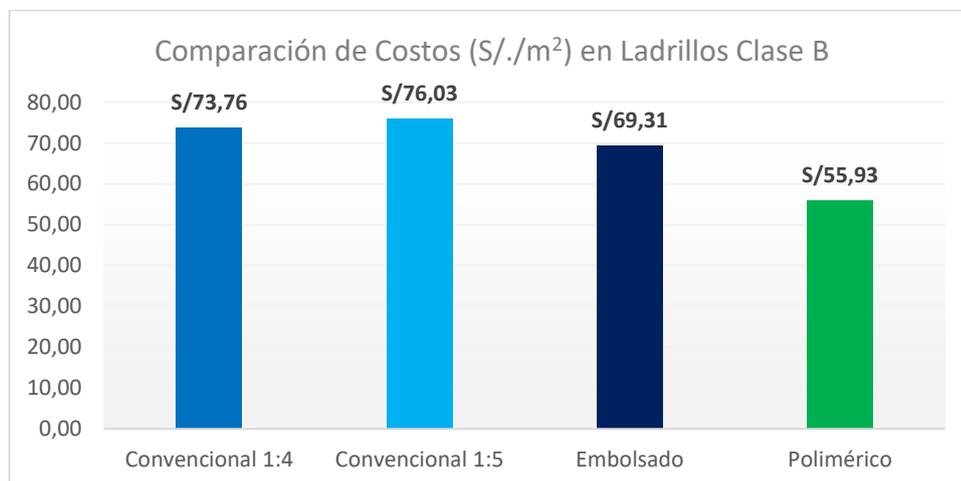


Gráfico N° 6.14 Costos por m² incurridos en la construcción de muros de ladrillos pandereta empleando varios tipos de mortero.

6.2.3 Costos unitarios para muros de albañilería de ladrillos Clase C: Koncreto de concreto

La Tabla N° 6.35, muestra los costos unitarios que se incurren al hacer uso del mortero convencional en proporción cemento-arena 1:4.

Tabla N° 6.35 Costos unitarios de muro de ladrillo de concreto y mortero C:A 1:4 (Elaborac. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo Koncreto de concreto; Mortero C:A 1:4; Junta = 1.5 cm				
Rendimiento	6.24	m ² /día			Unidad m ²
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial Total
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.10	0.128	23.84	3.06
Operario	hh	1.00	1.282	18.34	23.51
Peón	hh	0.50	0.641	13.26	8.50
Costo de mano de obra					35.06
Materiales					
Ladrillo de concreto	und		45.000	0.89	40.05
Cemento Portland Tipo I	bol		0.350	22.50	7.88
Arena Gruesa	m ³		0.048	215.80	10.36
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03
Costo de materiales					58.31
Equipos y Herramientas					
Herramientas Manuales	% MO		3.000	35.06	1.05
Costo de equipos y herramientas					1.05
Costo Directo (S./m²)					94.42

Se tienen también, en la Tabla N° 6.36, los costos cuando se construyen muros con mortero convencional de dosificación C:A 1:5.

Tabla N° 6.36 Costos unitarios de muro de ladrillo de concreto y mortero C:A 1:5 (Elaborac. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo Koncreto de concreto; Mortero C:A 1:5; Junta = 1.5 cm					
Rendimiento	6.11	m ² /día			Unidad m ²	
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.131	23.84	3.12	
Operario	hh	1.00	1.309	18.34	24.01	
Peón	hh	0.50	0.655	13.26	8.68	
					Costo de mano de obra	35.81
Materiales						
Ladrillo de concreto	und		45.000	0.89	40.05	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.300	22.50	6.75	
Arena Gruesa	m ³		0.055	215.80	11.87	
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03	
					Costo de materiales	58.69
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		3.000	35.81	1.07	
					Costo de equipos y herramientas	1.07
					Costo Directo (S/./m²)	95.58

En la Tabla N° 6.37, se detallan los costos en el caso del empleo del mortero embolsado como material ligante.

Tabla N° 6.37 Costos unitarios de muro de ladrillo de concreto y mortero embolsado (Elab. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo Koncreto de concreto; Mortero Embolsado; Junta = 1.5 cm					
Rendimiento	8.06	m ² /día			Unidad m ²	
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.099	23.84	2.37	
Operario	hh	1.00	0.993	18.34	18.20	
Peón	hh	0.50	0.496	13.26	6.58	
					Costo de mano de obra	27.15
Materiales						
Ladrillo de concreto	und		45.000	0.89	40.05	
Mortero Embolsado C:A 1:4	bol		2.150	12.50	26.88	
Agua	m ³		0.010	2.50	0.03	
					Costo de materiales	66.95
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		3.000	27.15	0.81	
					Costo de equipos y herramientas	0.81
					Costo Directo (S/./m²)	94.91

Para finalizar, en la Tabla N° 6.38, se muestran los costos unitarios cuando se emplea el mortero polimérico conjuntamente a los ladrillos de concreto.

Tabla N° 6.38 Costos unitarios de muro de ladrillo de concreto y mortero polimérico (Elab. propia)

Partida	Muro de soga; Ladrillo Koncreto de concreto; Mortero Polimérico; Junta = 1.5 cm				Unidad	
Rendimiento	9.83	m ² /día				m ²
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	Total
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.081	23.84	1.94	
Operario	hh	1.00	0.814	18.34	14.92	
Peón	hh	0.20	0.163	13.26	2.16	
Costo de mano de obra						19.02
Materiales						
Ladrillo de concreto	und		52.000	0.89	46.28	
Mortero Polimérico Pegablock	bol		0.075	165.20	12.39	
Agua	m ³		0.015	2.50	0.04	
Costo de materiales						58.71
Equipos y Herramientas						
Herramientas Manuales	% MO		10.000	19.02	1.90	
Costo de equipos y herramientas						1.90
Costo Directo (S./m²)						79.63

Al comparar los cuatro casos presentados al construir muros con ladrillos de concreto con morteros diferentes, se observa que la condición de costo es similar a los casos de ladrillos Clase A de arcilla, obteniéndose menores costos al emplear mortero polimérico y convencional C:A 1:4, como se muestra en el Gráfico N° 6.15.

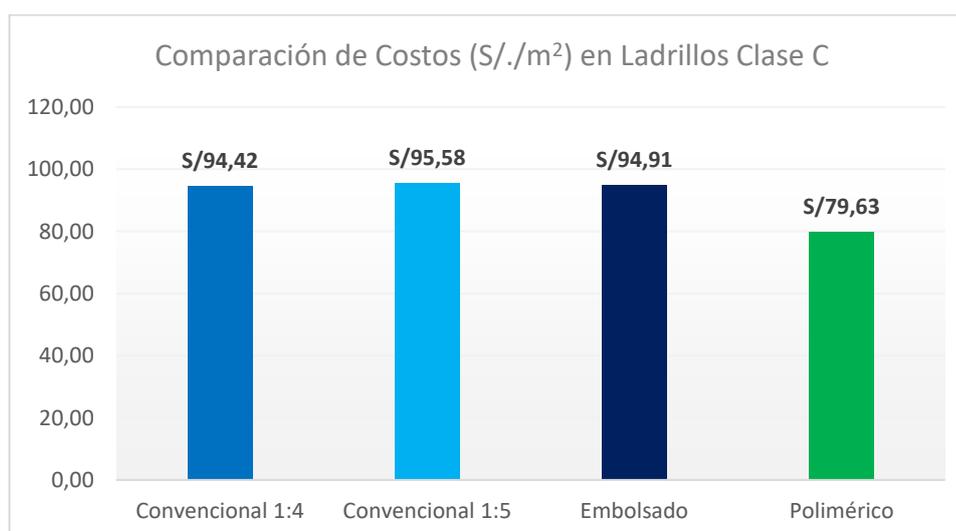


Gráfico N° 6.15 Costos por m² incurridos en la construcción de muros ladrillos de concreto empleando varios tipos de mortero.

6.2.4 Comparación de los costos incurridos en mano de obra y materiales

Como se pudo apreciar en los análisis de precios unitarios de las doce combinaciones posibles entre los cuatro tipos de morteros y las tres clases de ladrillos empleados, son el mortero polimérico y el convencional de dosificación cemento-arena 1:4, quienes mejor desempeño de costo presentan, seguidos posteriormente por el mortero embolsado y por último el de dosificación 1:5.

El costo de la mano de obra es uno de los rubros que juegan un rol importante, dado que representa casi la mitad del total del costo incurrido, por lo que es lógico que aquellos materiales o combinaciones que generen mejores velocidades de producción o sean más productivos, impacten favorablemente a su vez en la cantidad de horas hombre empleadas en las actividades, reduciendo también los costos que se incurren por los mismos. Es así que las velocidades de producción alcanzadas al construir muros con el mortero polimérico o con el mortero embolsado, impactan positivamente en la productividad y reducen los costos de mano de obra, reduciendo a su vez el costo total de la partida, haciendo que sean estas las opciones más favorables desde el punto de vista de producción y costos.

En el Gráfico N° 6.16, se muestra la relación que existe entre los costos de mano de obra al emplear un determinado tipo de ladrillos y las cuatro distintas opciones de mortero, comprobando a su vez lo manifestado anteriormente.

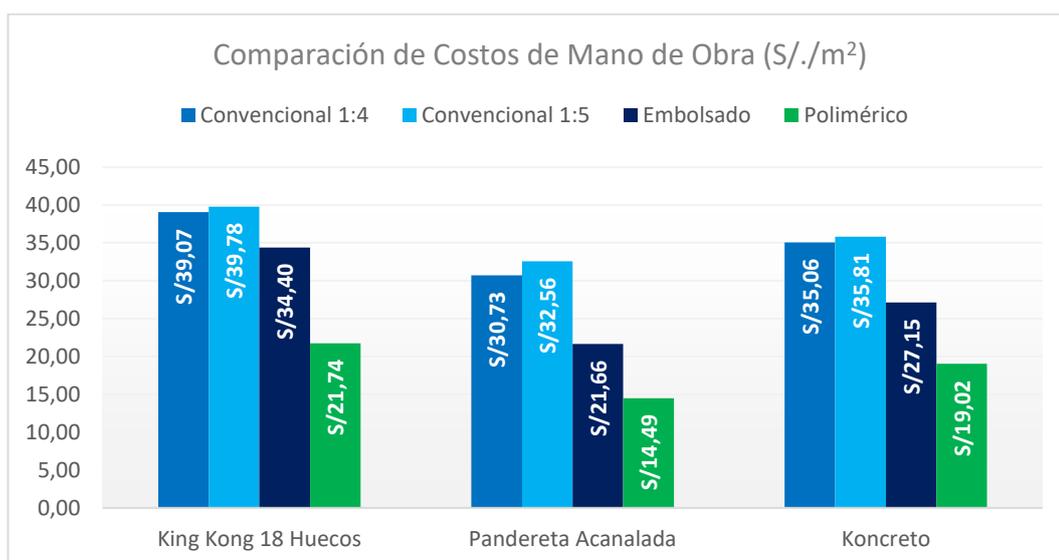


Gráfico N° 6.16 Comparación de los costos por m² incurridos por la mano de obra en las distintas combinaciones de ladrillo y mortero analizadas en la investigación.

El costo de los materiales también es un rubro determinante, sino el más importante, para calcular el precio unitario de la albañilería. Son los costos de los morteros o sus componentes los que marcan la diferencia entre una opción u otra, como ocurre en el caso de los morteros convencionales pues los costos de sus componentes resultan más económicos que si estos serían mezclados e industrializados como ocurre con el mortero embolsado. Asimismo, en el caso del mortero polimérico, se presentan altos costos del material por unidad pero su limitado uso genera que se consuma una baja cantidad por lo que los costos también disminuyen.

En el Gráfico N° 6.17, se muestra la relación que existe entre los costos de los materiales al emplear un determinado tipo de ladrillos y las cuatro distintas opciones de mortero, comprobando a su vez lo mencionado anteriormente.

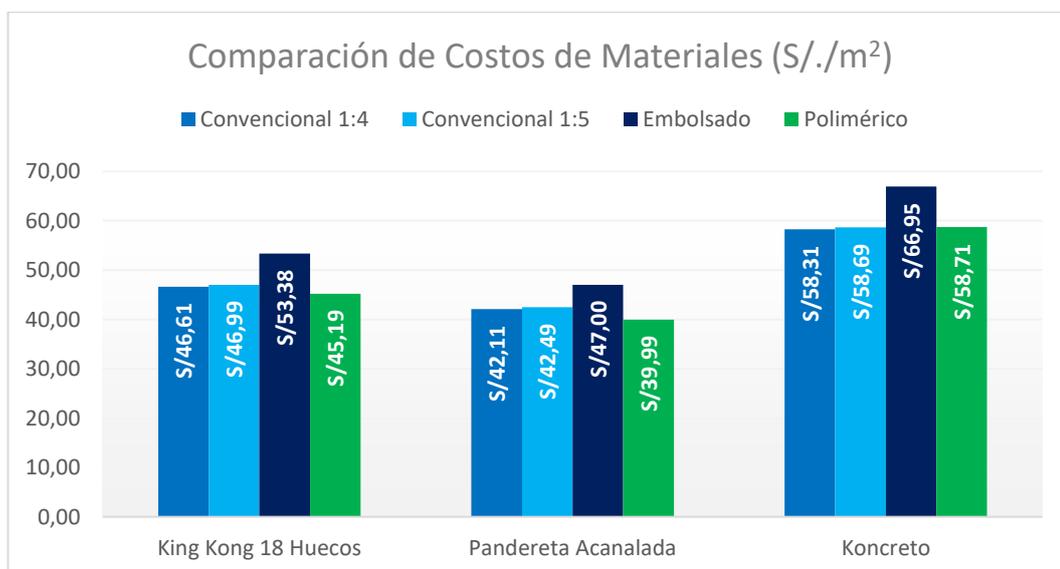


Gráfico N° 6.17 Comparación de los costos por m² incurridos por los materiales en las distintas combinaciones de ladrillo y mortero analizadas en la investigación.

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo abarca el análisis y los comentarios sobre los resultados obtenidos tanto en las pruebas estructurales, es decir los ensayos y la comparación con los límites establecidos por las normas; así como las pruebas de productividad y costo, ello para las distintas presentaciones de albañilería incluidas en la investigación. Cabe mencionar que el análisis que se presenta a continuación, se realizará comparando los diferentes resultados para cada tipo de unidad de albañilería.

7.1 LADRILLO KING KONG 18 HUECOS (CLASE A)

Se presenta el análisis de los resultados de los ensayos en laboratorio, los parámetros normativos, la productividad y los costos relativos al uso del ladrillo King Kong 18 huecos con las distintas variaciones de mortero.

7.1.1 Resistencia a la compresión axial en pilas

A continuación, algunas consideraciones respecto a los resultados de los ensayos de compresión axial en pilas, respecto a las variaciones entre el uso de diferentes morteros:

Norma NTE E.070: La normativa peruana de albañilería, en la Tabla 9 (Tabla N° 3.4 de la presente investigación), establece valores de resistencia de la albañilería a la compresión axial en caso no se realicen ensayos en un laboratorio, los cuales pueden servir como valores referenciales para los ensayos realizados. El valor indicado en dicha tabla, para la resistencia a compresión en prismas de ladrillo King Kong 18 huecos industrial con mortero de cemento y arena en relación C:A 1:4 es $f_m = 65 \text{ kg/cm}^2$.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): Dado que la NTE E.070 emplea un mortero convencional C:A 1:4 para obtener sus valores referenciales, es este mismo mortero el que se emplea para las comparaciones de la investigación. La resistencia alcanzada a los 28 días con este mortero fue de $f_m = 71.66 \text{ kg/cm}^2$, valor superior al sugerido por la NTE E.070 y se considera como un equivalente al 100% de las resistencias en la

investigación. Asimismo, los modos de falla presentes en los especímenes fue el de falla con grietas verticales, conocida también como falla por tracción ortogonal.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Como era de esperarse, el hecho de poseer un mortero con menor cantidad de cemento generó que la resistencia alcanzada por las pilas a los 28 días fuese menor, obteniéndose un valor de $f_m = 61.11 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 85% de la resistencia del mortero patrón y un resultado inferior al sugerido por la NTE E.070. Del mismo modo, las fallas presentes en los especímenes fueron fallas por tracción ortogonal.

Mortero embolsado: Los resultados alcanzados para esta combinación fueron ligeramente inferiores a los del mortero convencional C:A 1:5, alcanzando una resistencia en las pilas a los 28 días de $f_m = 58.56 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 82% de la resistencia con el mortero patrón y quedando por debajo del resultado sugerido por la NTE E.070. Dado se posee una mejor dosificación (mortero embolsado C:A 1:4), los resultados pudieron haberse originado por problemas en el curado de las pilas, la ejecución del ensayo o problemas propios del mortero. Por otro lado, las fallas predominantes fueron mixtas, es decir que se originaron grietas verticales y aplastamiento en algunos ladrillos.

Mortero polimérico: El uso del mortero polimérico Pegablock en las pilas ocasionó que se alcanzasen valores bastante reducidos en comparación a los demás casos estudiados y a los recomendados por la NTE E.070. La resistencia alcanzada por las pilas a los 28 días fue de $f_m = 22.77 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 32% de la resistencia del mortero patrón, ello debido a la baja resistencia a la compresión y alta elasticidad presente en este tipo de morteros, ocasionando que los ladrillos no tengan suficiente fuerza de oposición en la junta y alcancen la falla antes. Asimismo, el tipo de falla presente en las pilas fue de fallas mixtas.

Resumen

Las resistencias a la compresión axial alcanzadas al usar pilas con morteros convencional C:A 1:5 y mortero embolsado, poseen valores similares entre sí y no muy distanciados de los alcanzados con el mortero patrón. Sin embargo, la resistencia alcanzada en las pilas con mortero polimérico si dista mucho de los resultados recomendados. Cabe mencionar que solamente la resistencia con el mortero patrón supero el valor sugerido por la NTE E.070 para casos sin ensayos.

7.1.2 Resistencia a la compresión diagonal en muretes

Se muestra el análisis respecto a los resultados de los ensayos de compresión diagonal en muretes y las variaciones entre el uso de diferentes morteros:

Norma NTE E.070: En la Tabla 9 de la NTE E.070 (Tabla N° 3.4 de la presente investigación), también se mencionan valores de resistencia de la albañilería a la compresión diagonal en caso no se realicen ensayos en un laboratorio, los cuales servirán como valores referenciales para los resultados obtenidos. El valor que dicha tabla indica para la resistencia a compresión en muretes de ladrillo King Kong 18 huecos industrial con mortero de cemento y arena en relación C:A 1:4 es $v_m = 8.10 \text{ kg/cm}^2$. Por otro lado, la norma también indica que se puede obtener el Módulo de Corte en base a resistencia axial de pilas ($G_m = 0.4 E = 200 f_m$), valores que serán comparados con los obtenidos de el Gráfico esfuerzo cortante vs deformación angular.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La resistencia alcanzada a los 28 días con este mortero fue de $v_m = 9.40 \text{ kg/cm}^2$, valor superior al sugerido por la NTE E.070 y considerado como un equivalente al 100% de los demás resultados en la investigación. Asimismo, el modo de falla representativo para estos especímenes fue el de falla mixta, pues se presentó una combinación entre falla escalonada y la falla de tracción diagonal (grietas continuas que atraviesan ladrillos y morteros). Por otro lado, el módulo de corte alcanzado tras el ensayo $G = 16,448.27 \text{ kg/cm}^2$, presenta similitud al obtenido con los cálculos de la NTE E.070 que posee un valor de $G = 15,907.03 \text{ kg/cm}^2$.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Los valores de la resistencia alcanzada por los muretes a los 28 días fue menor a la del mortero patrón, obteniéndose un valor de $v_m = 5.90 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 63% de la resistencia del mortero patrón y un resultado inferior al sugerido por la NTE E.070. Del mismo modo, las fallas presentes en los especímenes también fueron fallas mixtas (escalonada y tracción diagonal). En el caso del módulo de corte, también se aprecia similitud entre los valores hallados en el ensayo $G = 13,759.60 \text{ kg/cm}^2$, y el calculado según la NTE E.070 que posee un valor de $G = 13,494.21 \text{ kg/cm}^2$.

Mortero embolsado: Los resultados alcanzados para esta combinación fueron superiores a los del mortero patrón, alcanzando una resistencia en los muretes a

los 28 días de $v_m = 10.08 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 107% de la resistencia con el mortero patrón, superando también el resultado sugerido por la NTE E.070. Asimismo, las fallas predominantes en los muretes también fueron mixtas (escalonada y tracción diagonal). Al igual que los dos casos anteriores, se encuentra similitud entre el módulo de corte del ensayo $G = 13,447.99 \text{ kg/cm}^2$, y el de la norma $G = 12,879.69 \text{ kg/cm}^2$.

Mortero polimérico: Al igual que en las pilas, los muretes construidos con el mortero polimérico Pegablock, alcanzaron valores bastante reducidos en comparación a los demás casos estudiados y a los recomendados por la NTE E.070. La resistencia alcanzada a los 28 días fue de $v_m = 1.88 \text{ kg/cm}^2$, que equivale al 20% de la resistencia del mortero patrón y generando además un modo de falla no recomendable, la falla escalonada, que se origina por desprendimiento entre las unidades de albañilería y el mortero, ello generalmente debido a la baja adherencia entre mortero-ladrillo que en este caso sugiere más una baja resistencia al corte por parte del mortero. Finalmente, se presenta una preocupante variación respecto a los módulos de corte calculados del ensayo $G_m = 1,626.44 \text{ kg/cm}^2$, con los de la NTE E.070 $G_m = 5,568 \text{ kg/cm}^2$.

Resumen

Las resistencias a la compresión diagonal alcanzadas en los muretes con el mortero patrón y el mortero embolsado son muy similares entre sí, alcanzando el último un resultado ligeramente mejor, asimismo ambos resultados son los únicos que superan el valor sugerido por la NTE E.070 para casos sin ensayos. Por otro lado, las resistencias obtenidas con el mortero convencional C:A 1:5 y el mortero polimérico son inferiores a las alcanzadas por el mortero patrón y a las mencionadas en la norma peruana, siendo el caso del mortero polimérico en que menor desempeño alcanzó entre los distintos especímenes, con una variación muy considerable.

Por otro lado, en los valores del módulo de corte calculados según la NTE E.070 para los casos de los morteros cementicios (convencionales y embolsado) existe una alta correlación a los resultados provenientes del ensayo. Sin embargo, el caso del mortero polimérico, sugiere que además de que la resistencia de los muretes fue demasiado baja, las deformaciones iniciales fueron altas.

7.1.3 Resistencia a la adherencia

Se presenta el análisis de los resultados en los ensayos de adherencia en pilas. Cabe mencionar que los ensayos fueron la adaptación de diversos ensayos para determinar la fuerza de adherencia del mortero y los ladrillos, ello ante la ausencia de una norma que permita determinar dicha propiedad.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): Dado que no existe una norma específica para este ensayo, se empleó la misma dosificación de los ensayos anteriores para el mortero patrón. La resistencia alcanzada a los 28 días con este mortero fue de 2.11 kg/cm^2 , y se considera como un equivalente al 100% de los demás resultados en la investigación

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Los valores de la adherencia en las pilas a los 28 días fue considerablemente menor a la del mortero patrón, obteniéndose un valor de 0.56 kg/cm^2 , equivalente al 26% del mismo.

Mortero embolsado: Los resultados alcanzados para esta combinación también fueron inferiores a los del mortero patrón, obteniendo una resistencia a los 28 días de 1.44 kg/cm^2 , equivalente al 68% de la resistencia con el mortero patrón.

Mortero polimérico: Se presentó un caso similar al ocurrido con el mortero embolsado, dado que la resistencia alcanzada a los 28 días fue de 1.32 kg/cm^2 , que equivale al 62% de la resistencia del mortero patrón.

Resumen

Las resistencias de adherencia alcanzadas por las pilas con el mortero embolsado y el mortero polimérico son similares entre sí, alcanzando el primero un resultado ligeramente mejor; sin embargo, ambos casos no logran acercarse lo suficiente a los resultados del mortero patrón. Asimismo, los resultados obtenidos con el mortero convencional C:A 1:5 distan mucho de los resultados obtenidos con el mortero considerado como patrón.

7.1.4 Estudios de tiempos y costos

Se obtuvieron resultados de las mediciones de tiempos y seguimiento de procesos constructivos para las distintas combinaciones de albañilería en la investigación; asimismo, se formularon los Análisis de Precios Unitarios. A continuación, se muestra el análisis de los resultados obtenidos.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La construcción de muretes con este tipo de mortero alcanzó una velocidad de producción de 5.60 m²/día, valores que se encuentran en la media de otras investigaciones similares. Asimismo, se logró obtener un rendimiento de la mano de obra de 1.40 hh/m². Respecto a los costos, con la cuadrilla empleada (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón), la que a la velocidad de producción obtenida y empleando mayor cemento, incurren en un costo de S/ 86.85 / m².

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: En este caso, se alcanzó una velocidad de producción de 5.50 m²/día, valor ligeramente inferior al caso anterior debido a un menor rendimiento de la mano de obra con 1.50 hh/m². En relación a los costos, la cuadrilla es similar (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón), pero con una velocidad de producción menor, por lo que se incurre en un costo de S/ 87.97 / m².

Mortero embolsado: Con este mortero se ahorran tiempos en la mezcla de materiales, llegando a obtener una mayor velocidad de producción de 6.37 m²/día, ello por la mejora del rendimiento de la mano de obra con 1.30 hh/m². El costo incurrido es de S/ 88.81 / m², considerando una cuadrilla normal (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón), ahorros por los mejores rendimientos en mano de obra pero encarecimiento por los costos de materiales.

Mortero polimérico: Este último caso, presenta los mejores resultados, primero porque se incrementa la velocidad de producción a 8.60 m²/día, debido a un mejor rendimiento de la mano de obra con un valor de 0.90 hh/m². Asimismo, los costos disminuyen por ello, generando ahorros en la mano de obra (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.2 peón), y por la menor cantidad de mortero empleado, obteniendo un costo de S/ 69.10 / m².

Resumen

Las características constructivas utilizando mortero polimérico son superiores a la de los otros tipos de morteros, tanto por las mejoras en los rendimientos, velocidad de producción y la disminución de costos. Otra opción, que presenta buenas características es el empleo de mortero convencionales C:A 1:4, dado que genera mejores resultados productivos y económicos que los otros dos casos con morteros cementicios. Por último, el uso del mortero convencional C:A 1:5 y el mortero embolsado generan resultados muy similares entre sí desde este punto de vista evaluado.

7.2 LADRILLO PANDERETA ACANALADA (CLASE B)

A continuación, se muestra el análisis de los resultados de los ensayos en laboratorio, los parámetros normativos, la productividad y los costos relativos al uso del ladrillo pandereta acanalada con las distintas variaciones de mortero.

7.2.1 Resistencia a la compresión axial en pilas

A continuación, algunas consideraciones respecto a los resultados de los ensayos de compresión axial en pilas, debido a las variaciones entre el uso de diferentes morteros:

Norma NTE E.070: Como se mencionó, la NTE E.070 establece valores de resistencia de la albañilería a la compresión axial en caso no se realicen ensayos en un laboratorio, pero dado que el ladrillo pandereta no es una unidad estructural, no recomienda su uso en muros portantes, por lo que no hay resultados.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La resistencia alcanzada a los 28 días con esta combinación fue de $f_m = 30.07 \text{ kg/cm}^2$, y se considera como un equivalente al 100% de las resistencias en la investigación. Asimismo, los modos de falla presentes en los especímenes fueron fallas por trituración (aplastamiento), ello por las características del ladrillo pandereta que presenta gran cantidad de vacíos por lo que no es recomendable usarla sometida a cargas.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Al emplear un mortero de menor resistencia, los resultados en la resistencia de las pilas fueron menores también, alcanzando un valor de $f_m = 19.44 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 65% de la resistencia del mortero patrón. Del mismo modo, las fallas presentes en los especímenes fueron fallas por trituración (aplastamiento).

Mortero embolsado: Los resultados alcanzados para esta combinación fueron inferiores a los del mortero convencional C:A 1:5, alcanzando una resistencia en las pilas a los 28 días de $f_m = 17.75 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 59% de la resistencia con el mortero patrón. Los resultados muestran el mismo comportamiento que las pilas de ladrillo Clase A, obteniendo menores resistencias en comparación al uso del mortero convencional C:A 1:5, el cual emplea menor cantidad de cemento. Por otro lado, las fallas predominantes también fueron por trituración (aplastamiento).

Mortero polimérico: Las pilas con mortero polimérico Pegablock alcanzaron valores de resistencia alcanzada a los 28 días de $f_m = 7.76 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 26% de la resistencia del mortero patrón, los cuales son muy inferiores a los casos anteriores, observándose un comportamiento similar al analizado con los ladrillos King Kong 18 huecos. Asimismo, al igual que los demás casos, el tipo de falla presente en las pilas fue por trituración (aplastamiento).

Resumen

Las resistencias a la compresión axial alcanzadas al usar pilas con morteros convencional C:A 1:5 y mortero embolsado, poseen valores similares entre sí y no muy distanciados de los alcanzados con el mortero patrón. Sin embargo, la resistencia alcanzada en las pilas con mortero polimérico si dista mucho de los resultados recomendados. Cabe mencionar que solamente la resistencia con el mortero patrón supero el valor sugerido por la NTE E.070 para casos sin ensayos.

7.2.2 Resistencia a la compresión diagonal en muretes

Se presenta el análisis respecto a los resultados de los ensayos de compresión diagonal en muretes y las variaciones entre el uso de diferentes morteros:

Norma NTE E.070: Similar al caso que ocurre con las pilas, tampoco se presentan valores de resistencia a la compresión diagonal en muretes con ladrillos pandereta.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La resistencia alcanzada a los 28 días con este mortero fue de $v_m = 9.09 \text{ kg/cm}^2$, valor equivalente al 100% de los demás resultados en la investigación. Asimismo, el modo de falla representativo para estos especímenes fue el de falla mixta, pues se presentó una combinación entre falla escalonada y la falla de tracción diagonal (grietas continuas que atraviesan ladrillos y morteros). Por otro lado, al analizar los módulos de corte se aprecia una gran variación entre el valor calculado según la norma $G = 6,793.52 \text{ kg/cm}^2$, con relación al obtenido del ensayo $G = 62,326.26 \text{ kg/cm}^2$, ello debido a las altas resistencias a compresión diagonal obtenidas tras los ensayos.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Los resultados que alcanzaron los muretes para la resistencia a los 28 días fue inferior a la del mortero patrón, obteniéndose un valor de $v_m = 6.69 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 74% de la resistencia del mortero patrón. Del mismo modo, las fallas presentes en los especímenes también fueron fallas mixtas (escalonada y tracción diagonal). En el caso de los módulos de corte también se aprecia una gran variación entre el resultado calculado según la norma $G = 4,538.36 \text{ kg/cm}^2$, y el obtenido del ensayo $G = 74.661.13 \text{ kg/cm}^2$, debido a las buenas resistencias a compresión diagonal obtenidas del ensayo.

Mortero embolsado: Al igual que con los muretes de ladrillo King Kong 18H, los valores alcanzados para esta combinación fueron ligeramente superiores a los del mortero patrón, alcanzando una resistencia en los muretes a los 28 días de $v_m = 9.40 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 103% de la resistencia con el mortero patrón. Asimismo, las fallas predominantes en los muretes también fueron mixtas (escalonada y tracción diagonal). Como en los casos anteriores, también se refleja la gran variación en los módulos de corte obtenidos según el cálculo de la NTE E.070 $G = 4,285.36 \text{ kg/cm}^2$, y el obtenido del ensayo $G = 88,316.66 \text{ kg/cm}^2$.

Mortero polimérico: Similares a los resultados obtenidos para los muretes de ladrillo Clase A, los alcanzados en especímenes de ladrillo Clase B son mucho menores en comparación a los demás casos estudiados. La resistencia alcanzada

a los 28 días fue de $v_m = 2.63 \text{ kg/cm}^2$, que equivale al 29% de la resistencia del mortero patrón y se generó, además, un modo de falla no recomendable: la falla escalonada, la cual se origina por desprendimiento entre las unidades de albañilería y el mortero, debido a la baja adherencia entre mortero-ladrillo o a lo que en este caso parece ser la baja resistencia al corte por parte de este mortero. Por último, también existe la variación respecto a los módulos de corte calculados del ensayo $G_m = 1,408.86 \text{ kg/cm}^2$ y los de la NTE E.070 $G_m = 2,012.11 \text{ kg/cm}^2$.

Resumen

Los resultados de la resistencia a la compresión diagonal alcanzadas en los muretes con el mortero patrón y el mortero embolsado son elevadas y muy similares entre sí, obteniendo el último un desempeño ligeramente mejor. Por otro lado, la resistencia obtenida con el mortero convencional C:A 1:5 alcanza buenos valores pero inferiores a los dos casos anteriores, caso que no ocurre con los resultados del mortero polimérico dado que por la forma de falla (escalonada), los resultados alcanzan menos de la tercera parte del mortero patrón.

Algo peculiar ocurre con los valores del módulo de corte de los muretes construidos con morteros cementicios (convencionales y embolsado), pues tras los ensayos se obtienen valores muy superiores a los calculados según la NTE E.070, ello se debe a que en los muretes ocurren las denominadas “llaves de corte” al ingresar mortero en los túbulos de los ladrillos pandereta lo cual incrementa la resistencia del murete y por ende el módulo de corte. Sin embargo, ello no ocurre con los muretes con mortero polimérico, dado que carecen de juntas verticales y además posee deformaciones grandes al inicio, incrementando la deformación angular y reduciendo el módulo de corte.

7.2.3 Resistencia a la adherencia

Se presenta el análisis de los resultados en los ensayos de adherencia en pilas de dos ladrillos, según ensayos adaptados de otros estudios.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La resistencia alcanzada a los 28 días con este mortero fue de 1.73 kg/cm^2 , equivalente al 100% de los demás resultados en la investigación.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: A diferencia de las pilas de ladrillo King Lonk 18H, donde existía una gran diferencia, los valores de la adherencia en las pilas a los 28 días fue menor a la del mortero patrón, obteniéndose un valor de 1.37 kg/cm^2 , equivalente al 79% del mismo.

Mortero embolsado: Los resultados que se alcanzaron para esta combinación también fueron medianamente inferiores a los del mortero patrón, obteniendo una resistencia a los 28 días de 1.44 kg/cm^2 , equivalente al 68% de la resistencia con el mortero patrón. El resultado fue mayor al alcanzado con ladrillos Clase A.

Mortero polimérico: Contrario a los demás resultados, estos ensayos alcanzaron buenos valores de resistencia a la adherencia a los 28 días, la cual alcanzó fue de 1.67 kg/cm^2 , que equivale al 96% de la resistencia del mortero patrón.

Resumen

Los resultados de la resistencia de adherencia alcanzadas por las pilas con el mortero patrón y el mortero polimérico son las más altas y similares entre sí, obteniendo el primero un resultado ligeramente mejor. Del mismo modo, los resultados obtenidos con el mortero embolsado y el mortero convencional C:A 1:5 no distan mucho de los resultados obtenidos con el mortero considerado como patrón, siendo menores en ese orden.

7.2.4 Estudios de tiempos y costos

Se muestran los resultados de las mediciones de tiempos y seguimiento de procesos constructivos para las distintas combinaciones de albañilería en la investigación; asimismo, la comparación de los Análisis de Precios Unitarios.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La construcción de muretes con este tipo de mortero alcanzó una velocidad de producción de $7.12 \text{ m}^2/\text{día}$. Asimismo, se logró obtener un rendimiento de la mano de obra de 1.10 hh/m^2 . Respecto a los costos, considerando una cuadrilla normal (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón) y la velocidad de producción obtenida se incurre en un costo de $\text{S/ } 73.76 / \text{m}^2$.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Para este caso, se alcanzó una velocidad de producción de $6.72 \text{ m}^2/\text{día}$, valor ligeramente inferior al caso anterior debido a un menor rendimiento de la mano de obra con $1.20 \text{ hh}/\text{m}^2$. En relación a los costos, la cuadrilla es similar (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón), pero con una velocidad de producción menor, por lo que se incurre en un costo de $\text{S}/ 76.03 / \text{m}^2$.

Mortero embolsado: Con este tipo de mortero se logra ahorro de tiempo en la mezcla de materiales, llegando a obtener una alta velocidad de producción de $10.08 \text{ m}^2/\text{día}$, ello también es debido a la mejora del rendimiento de la mano de obra con $0.80 \text{ hh}/\text{m}^2$. Considerando una cuadrilla normal (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón) y ahorros por los rendimientos, el costo incurrido es de $\text{S}/ 69.31 / \text{m}^2$.

Mortero polimérico: En este caso, se presentan los mejores resultados, ello debido a que se incrementa la velocidad de producción a $12.90 \text{ m}^2/\text{día}$ y se mejoran el rendimiento de la mano de obra con un valor de $0.96 \text{ hh}/\text{m}^2$. Asimismo, los costos disminuyen por el ahorro en la mano de obra (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.2 peón), y por la menor cantidad de mortero empleado, obteniendo un costo de $\text{S}/ 55.93 / \text{m}^2$.

Resumen

Al emplear este tipo de ladrillos, también se evidencian la mejora en las características constructivas en el empleo del mortero polimérico en comparación a los otros tipos de morteros, tanto por las mejoras en los rendimientos y la velocidad de producción como por la disminución de costos. A diferencia de lo ocurrido con los ladrillos King Kong 18 huecos, la construcción de muretes empleando mortero embolsado resulta una buena opción por las características similares a las mencionadas en el mortero polimérico. Por otro lado, el uso de los morteros convencionales C:A 1:4 y C:A 1:5 genera resultados muy similares entre sí desde el punto de vista productivo y económico pero resulta menos productivo y con mayores costos, debido a las bajas velocidades de producción alcanzadas en las pruebas. Cabe mencionar, que la mejora general en cuanto a rendimientos ocurre debido a la mayor facilidad de manipulación y menor peso de los ladrillos pandereta en comparación a otros ladrillos, lo cual también se ve reflejado en los costos pues poseen un valor más económico en el mercado.

7.3 LADRILLO KONCRETO DE CONCRETO (CLASE C)

Se presenta el análisis de los resultados de los ensayos en laboratorio, los parámetros normativos, la productividad y los costos relativos al uso del ladrillo de concreto con las distintas variantes de mortero.

7.3.1 Resistencia a la compresión axial en pilas

Se muestran algunas consideraciones respecto a los resultados de los ensayos de compresión axial en pilas con relación a las variaciones entre el uso de diferentes morteros:

Norma NTE E.070: Al igual que con los ladrillos de arcilla, la NTE E.070 establece valores de resistencia de la albañilería a la compresión axial en caso no se realicen ensayos en un laboratorio para los muretes de ladrillos de concreto, pero dado que el ladrillo pandereta no es una unidad estructural, no recomienda su uso en muros portantes, por lo que no hay resultados. Existen cuatro valores indicados en la Tabla 9 (Tabla N° 3.4 de la presente investigación) para la resistencia a compresión en prismas de ladrillos de concreto con mortero de cemento y arena en relación C:A 1:4, siendo $f_m = 120.00 \text{ kg/cm}^2$ el mayor de los mismos y $f_m = 74.00 \text{ kg/cm}^2$ el menor.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La resistencia alcanzada a los 28 días con este mortero, que cumple con la dosificación empleada como referencia en la norma, fue de $f_m = 150.86 \text{ kg/cm}^2$, valor que supera al máximo sugerido en la NTE E.070 y que se considera como un equivalente al 100% para las resistencias en la investigación. Asimismo, el modo de falla presente en los especímenes fue el de falla con grietas verticales, conocida también como falla por tracción ortogonal.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Como sucede en las pilas construidas con este mortero, el hecho de poseer una dosificación con menor cantidad de cemento generó que la resistencia alcanzada por las pilas a los 28 días fuese menor a la del mortero patrón, obteniéndose un valor de $f_m = 140.17 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 93% de la resistencia del mortero patrón, pero superior al valor máximo sugerido por la NTE E.070. Del mismo modo, las fallas presentes en los especímenes también fueron fallas por tracción ortogonal.

Mortero embolsado: Los resultados que se alcanzaron para esta combinación fueron inferiores a los del mortero convencional C:A 1:5 alcanzando una resistencia en las pilas a los 28 días de $f_m = 130.04 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 82% de la resistencia con el mortero patrón y superando también el valor sugerido por la NTE E.070 para pilas de ladrillos de concreto. Por otro lado, las fallas predominantes fueron fallas por tracción ortogonal.

Mortero polimérico: Similar al caso de las pilas de ladrillos Clase A y B, los resultados alcanzados con el uso del mortero polimérico en estas pilas fueron valores bastante reducidos en comparación a los demás casos estudiados y no lograron superar el valor mínimo sugerido por la NTE E.070. La resistencia alcanzada a los 28 días fue de $f_m = 61.50 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 41% de la resistencia del mortero patrón. Asimismo, el tipo de falla presente en las pilas también fue por tracción ortogonal.

Resumen

Para el caso de las pilas con morteros cementicios (convencionales y embolsado), las resistencias a la compresión axial alcanzaron altos valores, todos superiores al máximo sugerido en la NTE E.070 para casos sin ensayos. Sin embargo, la resistencia alcanzada en las pilas con mortero polimérico fue menor que la de los demás especímenes ensayados y a su vez no logró superar el valor mínimo establecido en la normativa para casos sin ensayos.

7.3.2 Resistencia a la compresión diagonal en muretes

A continuación, el análisis respecto a los resultados de los ensayos de compresión diagonal en muretes y las variaciones presentes por el uso de diferentes morteros:

Norma NTE E.070: En la Tabla 9 de la NTE E.070 (Tabla N° 3.4 de la presente investigación), también figuran valores de resistencia a la compresión diagonal en muretes con ladrillos de concreto en caso no se realicen ensayos en un laboratorio, siendo el mayor de ellos $v_m = 10.90 \text{ kg/cm}^2$ y $v_m = 8.60 \text{ kg/cm}^2$ el menor de los mismos. Asimismo, indica también que el Módulo de Corte se puede calcular empleando la resistencia axial de pilas ($G_m = 0.4 E = 200 f_m$).

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La resistencia que se alcanzó a los 28 días con este mortero fue de $v_m = 9.81 \text{ kg/cm}^2$, valor que superó al mínimo sugerido por la NTE E.070 y que a su vez es considerado como un equivalente al 100% para los demás resultados en la investigación. Asimismo, el modo de falla representativo para estos especímenes fue el de falla mixta (escalonada y tracción diagonal). Por otro lado, el módulo de corte alcanzado tras el ensayo $G = 22,736.24 \text{ kg/cm}^2$, es inferior al obtenido con los cálculos de la NTE E.070 que posee un valor de $G = 34,322.31 \text{ kg/cm}^2$, ello porque las deformaciones en los muretes de prueba se presentaron rápidamente, sin llegar a fallar, lo cual provocó una elevada deformación angular para el cálculo del módulo de corte.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Los valores de la resistencia alcanzada por los muretes a los 28 días fue menor a la del mortero patrón, obteniéndose un valor de $v_m = 7.07 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 72% de la resistencia del mortero patrón y un resultado inferior al mínimo sugerido por la NTE E.070. Cabe mencionar que las fallas presentes en los especímenes también fueron fallas escalonadas, lo cual indica que hubo desprendimientos entre el mortero y los ladrillos. Asimismo, en cuanto al módulo de corte, contrario al caso anterior, se aprecia que el valor hallado en el ensayo $G = 56,109.77 \text{ kg/cm}^2$ es superior al calculado según la NTE E.070 que posee un valor de $G = 31,763.08 \text{ kg/cm}^2$, lo que indica un buen comportamiento del espécimen durante el ensayo.

Mortero embolsado: Los resultados alcanzados para esta combinación fueron menores que los del mortero patrón, alcanzando una resistencia en los muretes a los 28 días de $v_m = 8.50 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 87% de la resistencia con el mortero patrón, este valor tampoco pudo superar el mínimo resultado sugerido por la NTE E.070. Asimismo, las fallas predominantes en los muretes también fueron escalonadas como con el mortero convencional C:A 1:5; y del mismo modo, también se encuentra similitud con los muretes elaborados con dicho mortero, ello respecto al comportamiento del módulo de corte dado que el valor del ensayo $G = 42,693.35 \text{ kg/cm}^2$ es superior al de la norma $G = 29,218.33 \text{ kg/cm}^2$.

Mortero polimérico: De igual forma que las pilas, los muretes construidos con el mortero polimérico Pegablock, alcanzaron valores bastante reducidos en comparación a los demás casos estudiados y a los recomendados por la NTE

E.070. La resistencia alcanzada a los 28 días fue de $v_m = 1.57 \text{ kg/cm}^2$, que equivale solamente al 16% de la resistencia del mortero patrón y generando además un modo de falla no recomendable, la falla escalonada, que se origina por desprendimiento entre las unidades de albañilería y el mortero, ello debido a la baja resistencia al corte por parte del mortero, como en los muretes con los otros ladrillos. Finalmente, dado que en el ensayo se alcanzó una baja resistencia, el módulo de corte calculado del ensayo $G = 585.52 \text{ kg/cm}^2$ es muy inferior al sugerido según los cálculos de la NTE E.070 $G = 14,525.65 \text{ kg/cm}^2$.

Resumen

La resistencia a la compresión diagonal alcanzada por los muretes con el mortero patrón presenta un buen desempeño, dado que es la única que logró superar el valor mínimo sugerido por la NTE E.070. Por otro lado, las resistencias obtenidas con el mortero convencional C:A 1:5 y el mortero embolsado presentan resistencias inferiores a las alcanzadas por el mortero patrón, pero valores similares entre sí, sin embargo no lograron alcanzar el valor mínimo indicado en la norma. Asimismo, como ocurrió con los muretes con otros tipos de ladrillos, la resistencia alcanzada con el mortero polimérico presenta una variación muy considerable e inferior con respecto a las demás, ello debido a la baja resistencia de este tipo de mortero al corte y a que los especímenes carecían de junta vertical.

Por otro lado, a excepción de los muretes con mortero patrón que tuvieron agrietamientos tempranos en el ensayo, los resultados de los especímenes con morteros cementicios presentaban similitud entre sí, dado que los valores del módulo de corte calculados según la NTE E.070 eran inferiores a los resultados provenientes del ensayo. Sin embargo, el caso del mortero polimérico obtuvo resultados muy bajos durante el ensayo, ello sugiere que, ante la ausencia de una junta vertical, las deformaciones ocurridas inicialmente alcanzan valores muy altos debido a la elasticidad de este tipo de morteros, incrementando la deformación angular con la que se calcula el módulo de corte.

7.3.3 Resistencia a la adherencia

A continuación, se muestra el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos adaptados para la adherencia en pilas.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La resistencia alcanzada a los 28 días con este mortero fue de 0.75 kg/cm^2 , y es considerada como un equivalente al 100% para los demás resultados en la investigación.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Los valores de la adherencia en las pilas a los 28 días fue inferior a la alcanzada por el mortero patrón, obteniéndose un valor de 0.38 kg/cm^2 , equivalente al 51% del mismo.

Mortero embolsado: Los resultados alcanzados para esta combinación también fueron inferiores a los del mortero patrón, obteniendo una resistencia a los 28 días de 0.48 kg/cm^2 , equivalente al 65% de la resistencia con el mortero patrón.

Mortero polimérico: A diferencia de los resultados en los demás tipos de ladrillos, el mortero polimérico alcanzó una alta adherencia con el ladrillo de concreto, alcanzando a los 28 días un valor de 2.41 kg/cm^2 , que equivale al 323% de la resistencia del mortero patrón, ello puede explicarse por la elasticidad del material y por el comportamiento del mismo ante una superficie altamente rugosa como es la cara superior del ladrillo de concreto.

Resumen

La resistencia de adherencia alcanzada por las pilas con el mortero polimérico, presentan un comportamiento excelente en comparación a los ensayos con el mortero patrón, logrando triplicar los valores obtenidos, ello debido a que las propiedades elásticas de este mortero son ideales para la tracción directa. Por otro lado, los resultados obtenidos con el mortero convencional C:A 1:5 y el mortero embolsado logran alcanzar, con dificultad, valores equivalentes a la mitad de los resultados obtenidos con el mortero considerado como patrón.

7.3.4 Estudios de tiempos y costos

Se muestran los resultados de las mediciones de tiempos y seguimiento de procesos constructivos para las distintas combinaciones de albañilería en la investigación; asimismo, los Análisis de Precios Unitarios.

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:4 (Mortero patrón): La velocidad de producción alcanzada para esta combinación de albañilería fue de 6.24 m²/día. Asimismo, se logró obtener un rendimiento de la mano de obra de 1.30 hh/m². Respecto a los costos, con la cuadrilla empleada (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón), considerando la velocidad de producción obtenida y el mayor costo de material, se incurre en un costo de S/ 94.42 / m².

Mortero convencional de cemento y arena C:A 1:5: Para este caso, se alcanzó una velocidad de producción de 6.11 m²/día, con un rendimiento de la mano de obra con 1.30 hh/m². En relación a los costos, al considerar una cuadrilla similar (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón), pero con una velocidad de producción menor, se incurre en un costo de S/ 95.58 / m².

Mortero embolsado: Al emplear este mortero se ahorran tiempos en la mezcla de materiales, llegando a obtener una mayor velocidad de producción de 8.06 m²/día, y mejorando el rendimiento de la mano de obra a 1.00 hh/m². Asimismo, el costo incurrido es de S/ 94.91/ m², considerando una cuadrilla normal (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.5 peón) y los ahorros por los mejores rendimientos, pero el encarecimiento de los costos en los materiales.

Mortero polimérico: Este caso, presenta los mejores más convenientes, ello debido al incremento de la velocidad de producción a 9.83 m²/día, y al mejor rendimiento de la mano de obra con un valor de 0.80 hh/m². Asimismo, los costos disminuyen por ello, generando ahorros en la mano de obra (0.1 capataz, 1.0 operario y 0.2 peón), y por la menor cantidad de mortero empleado, obteniendo un costo de S/ 79.63 / m².

Resumen

Al igual que con los ladrillos de las otras clases, las características constructivas al emplear el mortero polimérico son superiores, tanto por las mejoras en los

rendimientos, velocidad de producción y la disminución de costos. Así como ocurre con los ladrillos King Kong 18 huecos, el uso del mortero convencional C:A 1:4 también es una buena alternativa, aun cuando los resultados productivos no son los mejores, los económicos avalan a esta opción entre los otros dos casos de morteros cementicios. Por último, el uso de los morteros convencional C:A 1:5 y embolsado generan resultados muy similares entre sí desde el punto de vista económico, siendo ambas las opciones más caras.

CONCLUSIONES

1. Se emplearon tres distintas **unidades de albañilería** en la presente investigación, las cuales, considerando la clasificación para fines estructurales presentada en la NTE E.070, son las siguientes:
 - Ladrillo King Kong 18 Huecos (Clase A), unidad de albañilería hueca y de clasificación Tipo IV.
 - Ladrillo Pandereta Acanalada (Clase B), unidad de albañilería hueca y de clasificación no estructural.
 - Ladrillo “Koncreto” de concreto (Clase C), unidad de albañilería maciza y de clasificación Tipo V.

2. Se utilizaron cuatro diferentes clases de **morteros**, tres de ellas con aglomerante cementicio: Mortero Convencional C:A 1:4; Mortero Convencional C:A 1:5 y Mortero Embolsado C:A 1:4; cuya clasificación según la NTP 339.610:2013 corresponde a Mortero Tipo M, Tipo S y Tipo M, respectivamente.

3. De los ensayos de **compresión axial en pilas de albañilería**, se concluye:
 - El comportamiento de las pilas con morteros cementicios es ampliamente superior al de las pilas con mortero polimérico, alcanzando resultados que duplican e incluso triplican los obtenidos al emplear mortero polimérico, siendo las pilas con mortero patrón (convencional C:A 1:4) las que mejor desempeño presentan para todos los casos de ladrillos empleados; ello debido a la influencia de la resistencia de los morteros entre sí.
 - Solamente los ladrillos estructurales (Clase A: King Kong 18 huecos y Clase C: Koncreto) presentan fallas con grietas verticales y no explosivas; a diferencia de las pilas de ladrillos pandereta (Clase B), cuyas fallas fueron todas por aplastamiento.

4. De los resultados de **compresión diagonal en muretes de albañilería**, se concluye lo siguiente:

Respecto a los resultados en sí:

- Al igual que ocurre con las pilas, el desempeño de los muretes con morteros cementicios es muy superior al de los construidos con mortero polimérico, alcanzando resultados que esta vez son tres y hasta cuatro veces los obtenidos al emplear mortero polimérico, siendo en este caso, los muretes con mortero embolsado los que alcanzan el mejor desempeño en dos de los tres tipos de ladrillos empleados; ello porque los morteros cementicios presentan mayor resistencia que el mortero polimérico.
- Las bajas resistencias alcanzadas por los muretes construidos con mortero polimérico son determinantemente influenciadas por la ausencia de la junta vertical en los muretes, ello por la forma de uso de este tipo de mortero.
- La mayoría de fallas presentes en los muretes con morteros cementicios son del tipo mixta (predominando la tracción diagonal); mientras que en los construidos con mortero polimérico se presentan fallas escalonadas.

Respecto a los módulos de corte:

- De los resultados podemos afirmar que existe concordancia entre los resultados obtenidos tras los ensayos en laboratorio y los obtenidos mediante los cálculos expresados en la NTE E.070 para los muretes construidos con ladrillos estructurales (clase A y clase C) y morteros cementicios (convencionales y embolsado), lo cual valida los resultados de estos ensayos en las pilas y muretes.
- Sin embargo, esta similitud no se presenta en dos casos:
 - ✓ En muretes construidos con ladrillos pandereta (clase B – no estructural) y morteros cementicios, debido a la ocurrencia de las denominadas “llaves de corte”, que se presentan cuando el mortero de las juntas verticales ingresa a los túbulos del ladrillo, incrementando drásticamente la resistencia de los muretes (módulos de corte altos); lo que no ocurre con las pilas (módulos de corte bajos).
 - ✓ En todos los muretes construidos con mortero polimérico, debido a que, ante la ausencia de juntas verticales y dadas las propiedades elásticas de este tipo de mortero, los primeros esfuerzos generados sobre los muretes conllevan grandes deformaciones, más no se presenta la falla.

5. De los resultados de los ensayos adaptados para determinar la **adherencia por tracción**, se concluye que la performance de las pilas construidas con mortero polimérico es excelente para esta propiedad en específico, llegando a superar a los especímenes compuestos con mortero embolsado y mortero convencional C:A 1:5; y prácticamente igualar a las características de las pilas con el mortero patrón, siendo éstas las que mejor desempeño presentan. Los buenos resultados presentes en las pilas de mortero polimérico se deben a la alta plasticidad que posee este mortero, lo que les permite alcanzar altas deformaciones sin llegar a la falla; dicha propiedad se ve potenciada si las superficies de contacto de los ladrillos son rugosas, lo cual ocurre en los casos de las pilas de ladrillos King Kong 18 huecos y las de concreto.

6. Respecto a los resultados obtenidos del análisis del **estudio de tiempo y productividad en los procesos constructivos** se concluye:
 - El uso del mortero polimérico para la construcción de muros de albañilería, representa la opción más idónea desde el punto de vista productivo, dado que alcanza una excelente velocidad de producción, mejora en los rendimientos de mano de obra (menores valores) y alto porcentaje de tiempos productivos (TP = 68%) en comparación al empleo de los morteros cementicios, ello debido a la fácil aplicación del producto y la reducción de actividades con pérdida de tiempo (movimiento de materiales, esperas y mezcla del mortero).
 - Entre los casos de empleo de morteros cementicios, es la albañilería con mortero embolsado la que permite alcanzar una mayor velocidad de producción, aun cuando los tiempos contributorios (TC = 48%) sean similares a otros dos casos de empleo de morteros de cemento.

7. Respecto al **análisis de costos**, se concluye que la opción más económica para la construcción de muros de albañilería es la que incluye el uso de mortero polimérico, debido a la alta velocidad de producción, el ahorro en mano de obra y la reducida cantidad de material empleado. De la misma forma, la siguiente opción económica es la albañilería con mortero convencional C:A 1:4, aun cuando no se producen ahorros por buenos rendimientos alcanzados, éstos si se logran debido a los menores costos de

material. Caso contrario ocurre con el uso de mortero embolsado, en que se presentan buenos ahorros en costos de mano de obra debido al buen desempeño productivo pero el costo del material encarece esta opción, generando que esta alternativa posea costos tan elevados como los que se generan al emplear mortero convencional C:A 1:5, convirtiendo a estas opciones en las más elevadas.

8. De las **propiedades físicas, mecánicas y constructivas** evaluadas y analizadas en las distintas alternativas planteadas en la investigación, se determinó que la opción con mejores características estructurales (propiedades físicas y mecánicas), por superar los parámetros establecidos en la normativa peruana, y constructivas (tiempo, productividad y costo), por presentar rendimientos aceptables y a su vez los menores costos, es la alternativa que emplea al **mortero convencional C:A 1:4**, específicamente en conjunto al ladrillo King Kong 18 huecos.

RECOMENDACIONES

1. En el caso de que se necesite construir con albañilería estructural (muros portantes) como ocurre con la albañilería confinada, se recomienda como la opción más adecuada, el empleo del mortero convencional C:A 1:4 conjuntamente al ladrillo King Kong 18 huecos, porque cumple con las características estructurales solicitadas por la normativa peruana, brindando la seguridad suficiente, y por las ventajas económicas que representa su uso, ello por lo mencionado en las conclusiones 3, 4, 6, 7 y 8. Del mismo modo, una opción muy similar estructuralmente pero con mayores costos es la combinación de mortero convencional C:A 1:4 y el ladrillo de concreto. Por último, una alternativa que también cumple con los parámetros estructurales sería el empleo de mortero embolsado y ladrillo de concreto, más hay que considerar que los costos son los más altos según las opciones evaluadas.
2. Para el caso de la albañilería no estructural (muros no portantes), son opciones recomendadas estructuralmente las resultantes de la combinación de morteros cementicios (convencionales y embolsado) conjuntamente a cualquiera de los ladrillos presentados en la investigación, más destacan las alternativas que emplean al ladrillo pandereta con costos muy similares, ello por las ventajas constructivas y productivas que presenta el construir con este tipo de unidad, como se recoge en las conclusiones 6 y 7.
3. Si bien es cierto que las ventajas constructivas, productivas y económicas del uso de mortero polimérico son muy resaltantes, y considerando también lo recogido de la bibliografía respecto a la resistencia a la tracción por flexión de este tipo de morteros, la cual posee valores superiores a la de los morteros cementicios, indicando buena resistencia a la aplicación de cargas ortogonales al plano del muro; también, es importante considerar que, tras los ensayos y análisis realizados en esta investigación, existen variaciones considerables de los valores del módulo de elasticidad (E_m) y el módulo de corte (G_m) respecto a los indicados por la normativa peruana, como se recoge en la conclusión 4; por lo que se recomienda realizar una mayor cantidad de ensayos en prismas con este tipo de mortero sometidos a compresión diagonal y tracción por flexión para validar que los resultados estructurales

son lo suficientemente seguros para su uso en albañilería no estructural (muros no portantes) y avalar las ventajas antes mencionadas.

4. El uso de ladrillos pandereta es exclusivo para albañilería no estructural, mientras que el ladrillo King Kong 18 huecos y el ladrillo de concreto se consideran como aptos para construir muros portantes, cabe mencionar que se recomienda el empleo de los ladrillos de arcilla debido a que brindan menor peso a la estructura.
5. Independientemente del tipo de albañilería a usarse, se recomienda que la primera hilada se construya empleando morteros cementicios para asegurar la nivelación de las hiladas faltantes; del mismo modo, las unidades de albañilería deben de permanecer limpias y sin imperfecciones estructurales.
6. Se recomienda la difusión de la información a todo nivel, para prevenir a los peruanos de posibles pérdidas materiales e inclusive humanas ante fenómenos naturales, si es que no se construye adecuadamente; es por ello que se debe cumplir lo establecido en la normativa peruana para edificaciones, empleando materiales de calidad, bajo supervisión profesional o la debida asistencia técnica y primando la seguridad, ante todo.
7. Con la finalidad de obtener una muestra con mayor cantidad de datos, se recomienda ensayar más especímenes por cada ensayo estructural, ello porque en la presente investigación se tuvieron limitaciones respecto al uso del laboratorio.
8. Existe bibliografía internacional que menciona el uso de aditivos en morteros poliméricos, brindando mayores resistencias y mejor comportamiento estructural; ante ello, se sugiere buscar materiales con dichas características y evaluarlos estructuralmente según las condiciones normativas peruanas; de modo que, si los costos no se incrementan lo suficiente y logran cumplir los requerimientos normativos, podrían resultar una excelente opción para la albañilería peruana.

BIBLIOGRAFÍA

1. BATALLER VICEDO, Jessica; Estudio de las materias primas de carácter polimérico para su aplicación al hormigón traslúcido; Tesis para optar el Grado de Ingeniero de Edificaciones; Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación – Universitat Politècnica de Valencia; Valencia, España, 2011.
2. BEDI, Raman; CHANDRA, Rakesh y SINGH, Samajwadi P.; Mechanical properties of polymer concrete; Artículo Técnico – Journal de Concreto Indio; India, Abril del 2005.
3. BÓLERES RODAS, Marco Daniel; Comercialización de morteros en la industria de la construcción en Guatemala social; Tesis para optar el Título de Ingeniero Comercial; Facultad de Ingeniería - Universidad del Istmo; Guatemala, 2012.
4. CCORAHUA CHIRINOS, Elizeo; Estudio del rendimiento y productividad de la mano de obra en las partidas de asentado del muro de ladrillo, enlucido de cielo raso con yeso y tarrajeo de muros en la construcción del Condominio Residencial Torre del Sol; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ingeniería y Arquitectura - Universidad Andina del Cusco; Lima, 2016.
5. DE LA CRUZ DÍAZ, Antony Roger; Evaluación de los procedimientos constructivos y el uso inadecuado de materiales en viviendas autoconstruidas; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, 2017.
6. DE LA SOTTA MONREAL, Juan Pablo; Análisis comparativo entre mortero de junta para albañilería fabricado en obra y mortero premezclado húmedo para albañilería; Tesis para optar el Título de Ingeniero Constructor; Facultad de Ciencias de la Ingeniería - Universidad Austral de Chile; Valdivia, Chile, 2010.

7. DOS SANTOS RIBEIRO, Maria Cristina; New polymer mortar formulations: development, characterization and application forms; Tesis para optar el Grado de Philosophiæ Doctor en Ingeniería; Facultad de Ingeniería - Universidad de Porto; Porto, Portugal, 2006.
8. GALÁN MARÍN, Carmen; Caracterización de un mortero polimérico con resina poliéster insaturado y árido de albero para su aplicación en construcción; Tesis para optar el Grado de Doctor en Arquitectura; Escuela Técnica Superior de Arquitectura - Universidad de Sevilla; Sevilla, España, 2001.
9. GALLEGOS V., Héctor y CASABONNE R., Carlos; Albañilería estructural; Libro – Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial; Lima, 2005.
10. GHIO CASTILLO, Virgilio; Productividad en obras de construcción; Libro – Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial; Lima, 2001.
11. MATTA QUEZADA, Esleiter Zócimo; Estudio comparativo del mortero convencional y el mortero polimérico en el comportamiento mecánico de muros de albañilería en La Molina 2018; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ingeniería - Universidad César Vallejo; Lima, 2018.
12. MEZA HIJAR, Freud Edison; Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento, con adición de cal aérea; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, 2004.
13. NAKAMURA, Elza Hissae; Análise e classificação das argamassas Industrializadas segundo a NBR 13 281 e a MERUC; Tesis para optar el Título de Maestría en Ingeniero; Escuela Politécnica de Universidade de São Paulo- Universidad de Sao Paulo; Sao Paulo, 2003.
14. ORIHUELA, Pablo; INGA, Fernando y PACHECO, Santiago; Factores que afectan la productividad de la mano de obra en los muros de albañilería; Artículo – Boletín Construcción Integral de Aceros Arequipa, Edición 19; Motiva S.A., 2016.

15. ROJAS MONTOYA, Anghela Magaly; Rendimiento de mano de obra en la construcción de viviendas en el distrito de Cajamarca en la partida: Construcción de muros y tabiques de albañilería; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ingeniería - Universidad Privada del Norte; Lima, 2014.
16. RUIZ SALINAS, Maria Claudia; Macromodelación numérica de ensayos de pilas y muretes de albañilería de arcilla; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ciencias e Ingeniería - Pontificia Universidad Católica del Perú; Lima, 2017.
17. SAN BARTOLOMÉ, Ángel; Comentarios a la Norma Técnica E.070, Albañilería; Artículo – Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial; Lima, 2005.
18. SAN BARTOLOMÉ, Ángel; Construcciones de Albañilería – Comportamiento sísmico y diseño estructural; Libro – Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial; Lima, 1994.
19. SAN BARTOLOMÉ, Ángel; ROMERO, Juan y TORRES, Juan Carlos; Mejora de la adherencia bloque-mortero; Artículo Técnico – Pontificia Universidad Católica del Perú; Lima, 2007.
20. SANTISTEBAN ARBAIZA, Guillermo Enrique; Análisis de políticas de vivienda de interés social; Tesis para optar el Grado de Maestro en Ciencias con Mención en Gestión y Administración de la Construcción; Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, 2005.
21. SENCICO; Normas Técnicas Peruanas; Perú, 2017.
22. THE CONCRETE SOCIETY; Technical Report TR 039: Polymers in Concrete; Reporte Técnico; Reino Unido, 1994.

23. TICLLA RIVERA, Jhonatan Jesús; Mejora de la productividad en la construcción de un hospital para las actividades de albañilería; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, 2015.

24. VARGAS GORDILLO, Luis Xavier; Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del mortero tradicional y el mortero no convencional en muretes de albañilería; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, 2017.

25. VILLEGAS MARTINEZ, Carlos Alberto; Estudio de verificación de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla cocida de Lima Metropolitana; Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil; Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, 2008.