

## **MORTEROS DE LARGA VIDA. CONVENIO PUCP-UNICON-MBT. PRIMERA ETAPA.**

Por: Julio Carhuamaca, Enrique Pasquel, Angel San Bartolomé y Daniel Quiun

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

### **RESUMEN**

Los morteros de larga vida (LV) a emplear tanto en el asentado de las unidades de albañilería como en el tarrajeo, están compuestos por los elementos que conforman un mortero tradicional más aditivos que les permiten mantener su trabajabilidad hasta 72 horas después de haberlos preparado. Debido a que el mortero LV viene envasado, existen una serie de ventajas que ellos proporcionan en comparación con los morteros tradicionales, las que motivaron el desarrollo del Convenio PUCP-UNICON-MBT, cuyo objetivo principal fue comprobar que la resistencia de la albañilería construida con mortero LV sea similar a la obtenida utilizando mortero tradicional.

### **1.- INTRODUCCIÓN**

Los morteros de larga vida (en adelante LV) a emplear tanto en el asentado de las unidades de albañilería como en el tarrajeo, están compuestos por los elementos que conforman un mortero tradicional (cemento, arena y agua) más aditivos especiales (Fig.3) que le permiten mantener su trabajabilidad durante 24, 48 y 72 horas (en adelante LV24H, LV48H y LV72H, respectivamente) después de haberlos preparado. Debido a que el mortero LV viene envasado, existen una serie de ventajas que ellos proporcionan en comparación con los morteros tradicionales, como son:

- La eliminación del pedido individual de los componentes del mortero;
- la eliminación del desperdicio de materiales durante su transporte hasta la obra;
- la eliminación de la probable contaminación de la arena guardada al aire libre;
- la eliminación de errores en la dosificación, especialmente en la cantidad de agua;
- el ahorro en la mano de obra y de herramientas en la preparación del mortero; y,
- el asentado de unidades secas (en su estado natural), eliminando su tratamiento previo con agua.

Estas ventajas motivaron el desarrollo del Convenio PUCP-UNICON-MBT, cuyos objetivos fueron:

- a.- Verificar que los especímenes de albañilería (Fig.1) construidos con morteros LV tengan la misma resistencia a compresión y corte que aquellos elaborados con mortero tradicional.
- b.- Verificar las propiedades de endurecimiento a lo largo del tiempo para el mortero que se emplea tanto en los enlucidos (tarrajeo) como en el asentado.

### **2.- ALCANCES DEL PROYECTO**

Pensándose principalmente en los edificios de mediana altura (4 a 5 pisos) estructurados con muros de albañilería, se estudiará el uso de una sola proporción volumétrica cemento-arena gruesa en la elaboración del mortero de asentado (1:4), asimismo, se estudiará un sólo tipo de unidad de albañilería, ésta será de arcilla de fabricación industrial tipo V, la que es utilizada en la construcción de muros portantes de albañilería confinada, incluso en viviendas de un piso.

Para el caso de los enlucidos, se hará uso de una sólo proporción volumétrica cemento-arena fina 1:5. Por otro lado, a sabiendas que el mortero LV (para asentado y enlucido) no debe tener un espesor mayor que 1 pulgada (es lo usual) y que endurece cuando el agua de la mezcla es succionada por los ladrillos, el ensayo de penetración estándar indicado por la Norma ASTM C-403 para medir el endurecimiento, será modificado adecuándolo a los fines del proyecto.

### **3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES**

**3.1 Generalidades.** Los morteros LV fueron utilizados 8 horas antes de cumplir su vida útil. Durante la construcción de los especímenes, para cada tipo de mortero se realizó una prueba de Fluidez, Contenido de Aire, Peso Volumétrico y tres pruebas de Endurecimiento con el Penetrómetro Acme (Figs. 5 a 7). Para el ensayo de endurecimiento, se trató en lo posible de seguir los lineamientos de la Norma ASTM C-403, pero las probetas se fabricaron aplicando una capa del mortero correspondiente, tarrajada sobre una pila de albañilería; en el caso del mortero LV, se tarrajó sobre la pila en estado seco. Por otro lado, con la finalidad de disminuir la dispersión de resultados, todas las probetas correspondientes a un determinado tipo de mortero fueron fabricadas el mismo día.

**3.2 Probetas para el Mortero de Asentado.** Por cada tipo de mortero 1:4 (normal, LV24H, LV48H y LV72H) a utilizar en el asentado de las unidades, se construyeron 5 pilas, 5 muretes y 5 cubos de 5x5x5 cm. Las características de las probetas aparecen en la Fig.1. Los ladrillos de los prismas con mortero LV se asentaron en seco (Fig.8), mientras que los ladrillos de los prismas con mortero normal fueron regados con agua durante 25 minutos un día antes de asentarlos.

**3.3. Probetas para la Prueba de Endurecimiento del Mortero de Asentado y Enlucido.** Por cada tipo de mortero 1:5 (normal, LV24H, LV48H y LV72H) a utilizar en el enlucido de la albañilería y 1:4 de asentado, se tarrajearon 3 pilas y se fabricaron 3 cubos de 5x5x5 cm. En este caso, todas las pilas tuvieron 4 hiladas, el espesor de sus juntas (hechas con mortero normal) fue 1 cm, y sus ladrillos fueron tratados regándolos con agua durante 25 minutos un día antes de asentarlos, después de 3 días de haberlas construido se colocó un capping de yeso en una de las caras, y 11 días después, se procedió a tarrajear la cara opuesta con una capa de 1 pulgada de espesor del mortero correspondiente, para luego de una hora iniciar la prueba de endurecimiento sobre el tarrajeo.

### **4. TÉCNICAS DE ENSAYOS**

**4.1. Ensayo de Compresión Axial de Pilas.** Después de 14 días de haberse construido las pilas, se colocó un capping de yeso (de 3 mm de espesor) en sus dos extremos. Cuando las pilas cumplieron 28 días de edad, fueron ensayadas a compresión axial (Fig.9), a una velocidad de carga de 5 ton/min, registrándose la carga axial máxima soportada por cada espécimen ( $P_m$ ). El esfuerzo axial en cada espécimen se obtuvo dividiendo " $P_m$ " entre el área bruta de la pila. Este resultado fue corregido por el factor de esbeltez especificado por la Norma de Albañilería E-070, para así obtener la resistencia unitaria de cada pila ( $f_m$ ). La resistencia característica a compresión axial de la albañilería ( $f'_m$ ) fue obtenida restando una desviación estándar al valor promedio  $f_m$  de las 5 pilas ensayadas. La dispersión de resultados, o coeficiente de variación " $cv$ ", fue calculada dividiendo la desviación estándar entre el valor promedio  $f_m$ .

**4.2. Ensayo de Compresión Diagonal de Muretes.** Después de 14 días de haberse construido los muretes, se colocó un capping de yeso (de 3 mm de espesor, 13 cm de ancho y 10 cm de largo) en las esquinas diagonalmente opuestas. Cuando los muretes cumplieron 28 días de edad, se ensayaron a compresión diagonal (Fig.9), a una velocidad de carga de 2 ton/min, registrándose la carga diagonal máxima soportada por cada espécimen ( $P_m$ ). El esfuerzo cortante en cada espécimen ( $v_m$ ) se obtuvo dividiendo " $P_m$ " entre el área bruta de la diagonal cargada. La resistencia característica a compresión diagonal de la albañilería ( $v'_m$ ) fue obtenida restando una desviación estándar al valor promedio  $v_m$  de los 5 muretes ensayados. La dispersión de resultados, o coeficiente de variación " $cv$ ", fue calculada dividiendo la desviación estándar entre el valor promedio  $v_m$ .

**4.3. Ensayo de Compresión Axial de las Probetas Cúbicas de Mortero. Norma ASTM-C109.** Durante la construcción de los prismas de albañilería, o durante el tarrajeo de las pilas, se prepararon los cubos en moldes metálicos (Fig.4) vaciando el mortero en dos capas. Cada capa fue compactada con un pisón de plástico dando 32 golpes en 10 seg en 4 vueltas. La segunda capa fue enrasada con un badilejo. Al día

siguiente, se desmoldaron los cubos y fueron sumergidos en una batea con agua. Cuando los cubos cumplieron 28 días de edad, fueron retirados de la batea, secados con una franela, e inmediatamente se ensayaron a compresión a una velocidad de desplazamiento de 1.25 mm/min entre los cabezales de la máquina universal, registrándose la carga axial máxima soportada por cada espécimen ( $P_m$ ); la duración máxima del ensayo fue 80 seg. El esfuerzo axial de cada espécimen se obtuvo dividiendo " $P_m$ " entre el área del cubo. La resistencia a compresión axial ( $\bar{s}$ ) fue obtenida como el valor promedio de los 5 cubos ensayados. La dispersión de resultados "cv" fue calculada dividiendo la desviación estándar entre el valor promedio  $\bar{s}$ .

**4.4. Ensayo de Endurecimiento.** Inmediatamente después de haberse fabricado el mortero normal, u 8 horas antes de que se cumpla la vida útil del mortero LV, se tarrajeó una de las caras de la pila aplicando una capa del mortero correspondiente de 2.5 cm de espesor. Una hora después, se realizó el ensayo de penetración del mortero tarrajeado empleando el penetrómetro Acme (Fig.7). La aguja penetró 1 pulgada y la carga correspondiente ( $P$ ) fue medida. La resistencia a la penetración (en psi) fue calculada dividiendo la carga  $P$  entre el área de la aguja. Este procedimiento fue repetido en intervalos de 1 hora, hasta alcanzar una resistencia a la penetración igual a 1200 psi; el tiempo transcurrido hasta ese instante fue adoptado como tiempo final de endurecimiento ( $T_f$ ), mientras que el tiempo transcurrido para alcanzar una resistencia de 200 psi, fue adoptado como el tiempo inicial de endurecimiento ( $T_i$ ). Se tuvo en consideración lo siguiente:

- El tarrajeo fue recubierto con plástico, el cual se retiró sólo en el instante de la prueba.
- Las probetas (tres por cada tipo de mortero) estuvieron bajo sombra.
- El tiempo que duró una penetración fue 5 seg con una aproximación de "1 seg.
- La distancia libre mínima entre la aguja y las impresiones anteriores fue el doble del diámetro de la aguja, pero no menos de 13 mm; asimismo, la distancia libre mínima entre la aguja y el borde de la pila fue 40 mm, cuidándose de no hacer penetraciones en las zonas fisuradas.
- En cada ensayo se realizó por lo menos 6 penetraciones sobre el tarrajeo de cada pila.
- Para cada tipo de mortero, tomando el promedio de las 3 probetas, se graficó una curva tiempo transcurrido vs. resistencia a la penetración, de la cual se extrajo el tiempo inicial ( $T_i$ ) y final ( $T_f$ ) de endurecimiento asociados a las resistencias de 200 y 1200 psi, respectivamente.

Cabe indicar que en esta prueba la Norma ASTM C-403 fue modificada en los siguientes puntos:

- La profundidad reglamentada de la muestra es 15.2 cm, pero en nuestro caso se usó 2.5 cm.
- El tarrajeo se realizó sobre una pila de albañilería (absorbente), mientras que en la Norma se emplea un mortero colocado sobre un recipiente no absorbente.
- La penetración reglamentada de la aguja es 1 pulgada en un tiempo de 10 seg, mientras que en nuestro caso se empleó 1 pulgada en 5 seg, con lo cual, la resistencia a la penetración decrece, aparte que el mortero reglamentario proviene de una muestra de concreto. Esto hizo que las resistencias a la penetración reglamentarias de 500 psi y 4000 psi, correspondientes al tiempo inicial y final de endurecimiento, se modifiquen a 200 psi y 1200 psi, respectivamente.

**4.5. Ensayo de Fluidez del Mortero. Norma ASTM C-109 (Acápita 10.3).** Durante la construcción de los prismas de albañilería, o durante el tarrajeo de las pilas, se realizó la prueba de Fluidez del mortero correspondiente. El mortero se vació en dos capas sobre un molde metálico tronco cónico estándar, con diámetro interior en su base igual a  $D_o = 10$  cm. Cada capa fue compactada con un pisón de plástico dando 20 golpes. Posteriormente, previa limpieza y secado de la mesa, la muestra fue desmoldada procediéndose a dar 25 golpes verticales en la mesa de sacudidas estándar en un tiempo de 15 segundos. El diámetro  $D_1$  de la muestra expandida sobre la plataforma de la mesa de sacudidas (Fig.6), fue medido con un vernier especial ("calipers") para este tipo de ensayo. La suma de 4 lecturas proporciona en forma directa (en porcentaje) la Fluidez de la mezcla.

**4.6. Ensayo de Contenido de Aire. Norma ASTM C-231.** Durante la construcción de los prismas de albañilería, o durante el tarrajeo de las pilas, se realizó la prueba de Contenido de Aire del Mortero en estado fluido (fresco), empleando el método por presión (ensayo tipo neumático, Figs.2 y 5). El mortero se vació sobre el recipiente metálico del equipo neumático en tres capas y cada capa fue compactada dando 25 golpes con una barra de fierro liso estándar. Posteriormente, se golpeó ligeramente con un martillo de goma a las paredes del recipiente (10 a 15 veces) y se enrasó la mezcla al tope del molde, en este instante, se pesó al mortero con la finalidad de obtener su peso volumétrico. Luego, se cerró el recipiente usando la tapa del equipo, se abrieron las válvulas A y U y se cerró la válvula de aire S. Enseguida, se inyectó agua a través de una de las válvulas (A o U), hasta que salga por la otra válvula, agitando suavemente al conjunto hasta que salga todo el aire. Posteriormente, se bombeó aire con el bombín hasta que el manómetro señaló la presión inicial; se cerraron las válvulas A y U y se abrió la válvula S para que el aire a presión penetre en el recipiente, leyéndose el porcentaje de aire (con 0.1% de aproximación) después que se estabilizó la aguja del manómetro. Finalmente, antes de remover la tapa, se cerró la válvula S y se abrió la válvula de purga así como las válvulas A y U para expulsar el aire a presión.

## 5.- RESULTADOS

**5.1. Fluidéz, Contenido de Aire y Peso Volumétrico.** En la Tabla 1 se presentan los resultados.

TABLA 1. Resultados de los ensayos de Fluidéz, Contenido de Aire y Peso Volumétrico				
Tipo de Mortero		Fluidéz (%)	Contenido de Aire (%)	Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )
Asentado 1:4	Normal	103	4.5	2068
	LV24H	56	5.7	2105
	LV48H	84	5.8	2056
	LV72H (*)	70	6.5	2037
Enlucido 1:5	Normal	75	3.5	1944
	LV24H	109	9.0	1887
	LV48H	76	8.5	1875
	LV72H	70	9.0	1862

**5.2. Pilas y Muretes.** En la Tabla 2 y en las Figs.12 a 13, se presenta los resultados obtenidos.

TABLA 2. Resultados de los ensayos de compresión axial en pilas y compresión diagonal en muretes				
Mortero de Asentado 1:4	PILAS		MURETES	
	f'm (kg/cm2)	cv (%)	v'm (kg/cm2)	cv (%)
Normal	93	13.7	14.5	5.0
LV24H	80	6.6	8.9	7.6
LV48H	66	14.6	8.2	7.3
LV72H (*)	80	5.0	6.5	10.1

(\*) Mezcla retemplada

**5.3. Endurecimiento.** En la Tabla 3 y en las Figs. 10 a 11, se presentan los resultados obtenidos.

TABLA 3. Resultados de los ensayos de Endurecimiento sobre pilas tarrajeadas				
Tipo de Mortero		Tiempo inicial (Ti) para obtener una resistencia de 200 psi (min)	Tiempo final (Tf) para obtener una resistencia de 1200 psi (min)	Tf - Ti (min)
Asentado 1:4	Normal	34	116	82
	LV24H	36	183	147
	LV48H	46	242	196
	LV72H	48	364	316
Enlucido 1:5	Normal	99	420	321
	LV24H	65	470	405
	LV48H	132	561	429
	LV72H	149	577	428

**5.4. Resistencia a Compresión de las Probetas Cúbicas.** En la Tabla 4, se presentan los resultados.

TABLA 4. Resultados de los ensayos de compresión de probetas cúbicas de mortero				
Mortero	Mortero de Asentado 1:4		Mortero de Enlucido 1:5	
	$\bar{s}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	cv (%)	$\bar{s}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	cv (%)
Normal	211	3.3	87	6.3
LV24H	263	2.1	-	-
LV48H	226	4.1	91	6.1
LV72H	129	19.9	36	7.3

## 6.- CONCLUSIONES

- a.- La única mezcla que fue retemplada, antes de fabricar las probetas, fue la correspondiente al mortero de asentado LV72H, esto hizo que se incremente su tiempo de endurecimiento, disminuyendo considerablemente la resistencia a compresión de las probetas cúbicas así como la resistencia al esfuerzo cortante de la albañilería ( $\sqrt{m}$ ). De esta manera, se considera necesario estudiar la dosificación de los aditivos de este mortero a fin de evitar el retemplado en obra.
- b.- Los muretes fabricados con mortero normal tuvieron un tipo de falla por tracción diagonal (grieta que atraviesa ladrillos y juntas), mientras que los muretes hechos con mortero LV tuvieron una falla escalonada a través de las juntas con una resistencia al corte 40% menor que los construidos con mortero normal. Para optimizar la adherencia ladrillo-mortero LV, y con ello elevar la resistencia al corte, existen dos alternativas que se estudiarán experimentalmente en la segunda etapa del Convenio: 1) sumergir un instante a los ladrillos antes de asentarlos; y, 2) asentar a los ladrillos en su estado natural, estudiando la dosificación de los aditivos del mortero LV a fin de incrementar su fluidez (nótese en la Tabla 1 la poca fluidez que tenían estos morteros ocho horas antes de cumplir su vida útil, así como su bajo contenido de aire, según la Ref.3 el contenido de aire debió estar comprendido entre 12% a 15%).
- c.- En todos los ensayos y para todos los morteros estudiados, la dispersión de resultados estuvo por debajo del 15% lo cual se considera satisfactorio.
- d.- Exceptuando al mortero de asentado LV72H (retemplado), los morteros LV de asentado tuvieron el doble de tiempo de endurecimiento que el correspondiente al mortero normal. A pesar de ello, las pilas fabricadas con mortero de asentado LV (excepto LV48H) tuvieron una resistencia a compresión ligeramente menor (14%) que el obtenido en pilas construidas con mortero normal.
- e.- El tiempo de endurecimiento de los morteros LV de enlucido fue 30% mayor que el asociado al mortero normal, por lo que es posible su uso en obra.

## 7.- REFERENCIAS

- 1.- Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. A. San Bartolomé. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial, 1998.
- 2.- Normas Técnicas de Edificación E-070, Albañilería. ININVI, 1982.
- 3.- Morteros de Albañilería. Master Builders Technologies (MBT).

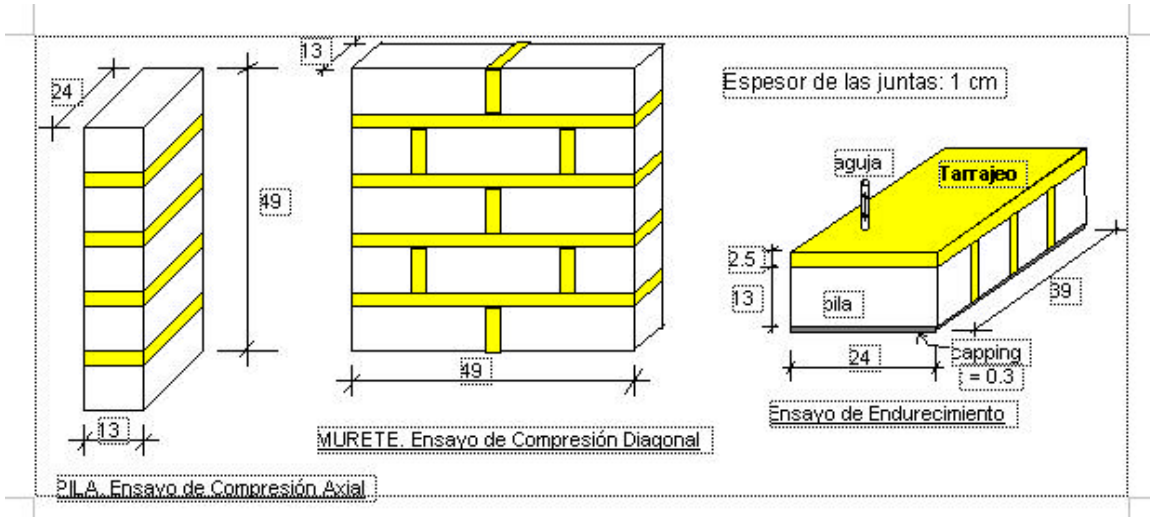


Fig.1. Características de los especímenes ensayados. Medidas en centímetros.

Fig.2.

Croquis del equipo neumático para medir el contenido de aire y determinar el peso volumétrico.

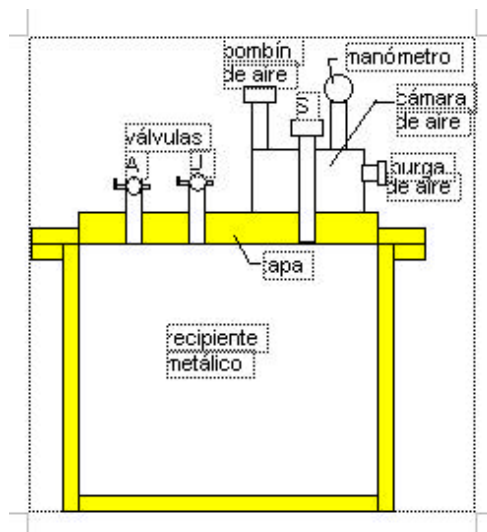


Fig. 3

Mortero LV. Aditivos, mezclado y envasado





Fig. 4. Probetas cúbicas de mortero



Fig.5. Equipo neumático para medir el contenido de aire del mortero.



Fig.6. Mesa de sacudidas para medir la fluidez del mortero



Fig.7. Penetrómetro de Acme empleado en el ensayo de penetración del tarrajeo en pilas.





Fig.8. Construcción de pilas y muretes empleando mortero LV, nótese que los ladrillos están secos.



Fig.9. Ensayo de compresión axial en pilas (izq.) y de compresión diagonal en muretes (der.).