

# **EFFECTO DE CINCO VARIABLES SOBRE LA RESISTENCIA DE LA ALBAÑILERIA**

**Por: Angel San Bartolomé y Mirlene Castro**  
**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

## **RESUMEN**

El objetivo de esta investigación fue analizar la influencia de cinco parámetros: cemento, cal, arena, espesor de las juntas y el tratamiento del ladrillo antes de su asentado, sobre la resistencia a compresión axial ( $f'm$ ) y diagonal ( $v'm$ ) de la albañilería construida con unidades de arcilla.

### **1. GENERALIDADES**

Los objetivos de esta investigación son diversos, siendo el más importante investigar la influencia de cinco parámetros sobre la resistencia a compresión axial ( $f'm$ ) y diagonal ( $v'm$ ) de la albañilería construida con unidades de arcilla. Los parámetros analizados fueron:

- El tipo de cemento que se usa en el mortero.
- El tratamiento de la unidad antes del asentado.
- El uso de cal en el mortero.
- El tipo de arena en el mortero.
- El espesor de la junta de mortero.

Para analizar la influencia de estas variables, se mantuvieron constantes los siguientes parámetros:

- La calidad del ladrillo (de arcilla).
- La mano de obra.
- La trabajabilidad del mortero.
- La edad de los especímenes (28 días)
- La técnica de ensayo.

Otros objetivos fueron: investigar la variación porcentual de resultados, el tipo de falla que se presenta en cada caso y los módulos de elasticidad ( $E_a$ ) y de corte ( $G_a$ ) correspondientes.

### **2. MATERIALES**

#### **2.1. Unidad de Albañilería**

Se utilizó ladrillo de arcilla King Kong Industrial con 18 perforaciones circulares perpendiculares a la cara de asiento, con dimensiones nominales de 23 x 12 x 9 cm. Se realizó una selección de las unidades, eliminando aquellas que presentaban deterioros, para sí evitar la distorsión de resultados por este parámetro.

#### **2.2. Agregados**

Se utilizaron dos tipos de arena: gruesa y fina. La curva granulométrica de la arena gruesa cumplió con los requerimientos de la Norma ASTM C144, mientras que la fina no la cumplió.

- La arena gruesa tuvo un Módulo de Fineza igual a 3.05.
- La arena fina tuvo un Módulo de Fineza igual a 0.99.

### 2.3. Mortero

Se utilizaron dos tipos de mortero: sin cal y con cal hidratada y normalizada. El mortero sin cal tuvo una proporción volumétrica cemento-arena 1:4, mientras que para el caso del mortero con cal se utilizó una proporción de 1:1:4.

### 2.4. Cemento

Se emplearon dos tipos de cemento para el mortero, el Portland tipo 1 y el Puzolánico tipo 1P.

### 2.5. Resistencia a Compresión del Mortero

Se ensayaron a compresión 5 cubos estándar de 5 cm de arista, obteniéndose los siguientes resultados promedios:

Mortero 1	(cemento Portland IP + arena gruesa)	=	153 kg/cm <sup>2</sup>
Mortero 2	(cemento Puzolánico IP + arena gruesa)	=	108 kg/cm <sup>2</sup>
Mortero 3	(cemento Portland IP + arena fina)	=	65 kg/cm <sup>2</sup>
Mortero 4	(cemento Portland IP + cal + arena gruesa)	=	133 kg/cm <sup>2</sup>
Mortero 5	(cemento Puzolánico IP + cal + arena fina)	=	137 kg/cm <sup>2</sup>

## 3. CARÁCTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES

Se consideraron 7 Tipos de especímenes, cada tipo estuvo compuesto por 5 pilas de 5 hiladas (esbeltez aproximada de 4) y 5 muretes de 6 hiladas con dos ladrillos y medio por hilada en aparejo de soga (dimensiones aproximadas de 60 x 60 cm). El Tipo 1 fue considerado como patrón de referencia, mientras que en el resto de Tipos se varió uno de los parámetros, con excepción del Tipo 7, donde se hizo una combinación de parámetros.

**Tipo 1 (Patrón):** Cemento Portland Tipo I  
Arena Gruesa  
Mortero sin cal  
Tratamiento de la unidad: Regado 24 horas antes del asentado  
Espesor de juntas = 1 cm

**Tipo 2:** Se cambió el cemento Portland Tipo I por cemento Puzolánico IP.

**Tipo 3:** Se cambió la arena gruesa del mortero por arena fina.

**Tipo 4:** Se realizó la inmersión de la unidad un instante antes de asentarla.

**Tipo 5:** Se utilizó mortero con cal 1:1:4 (cemento-cal-arena gruesa).

**Tipo 6:** Se cambió el espesor de la junta de 1 a 2 cm.

**Tipo 7:** Combinación de Variables: Cemento Puzolánico IP  
Arena Fina  
Mortero con cal 1:1:4 (cemento: cal: arena fina)  
Inmersión de la unidad un instante antes de asentarlo.  
Espesor de juntas = 2 cm.

## 4. ENSAYOS

### 4.1 Ensayo de Compresión Axial en las Pilas de Albañilería

Las pilas se ensayaron (Foto 1) a una velocidad de carga igual a 10 ton/min, se utilizó un LVDT para medir su deformación axial, lo cual permitió determinar el módulo de elasticidad  $E_a$ .

## 4.2 Ensayo de Compresión Diagonal en Muretes de Albañilería

Los muretes se ensayaron (Foto 2) a una velocidad de carga de 1 ton/min. Se utilizaron 2 LVDT para determinar su distorsión angular, lo que permitió calcular el módulo de corte  $G_a$ .

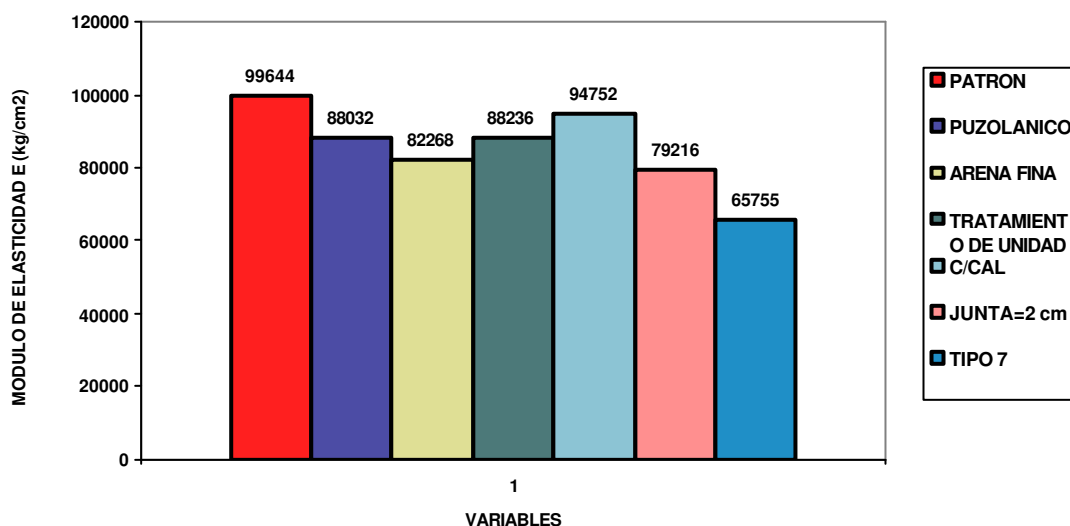
## 5.0 RESULTADO DE LOS ENSAYOS

### 5.1 Resistencia a Compresión $f'_m$ y Módulo de Elasticidad $E_a$

La resistencia característica a compresión axial ( $f'_m$ , sobre área bruta), fue obtenida restando una desviación estándar a la resistencia promedio de las 5 pilas ensayadas por cada Tipo de espécimen. Denominando “ $\alpha$ ” a la relación de resistencias  $f'_m$  respecto a la pila patrón y “ $cv$ ” a la dispersión de resultados, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

TIPO DE ESPECIMEN	$f'_m$ kg/cm <sup>2</sup>	$\alpha$	Cv (%)	$E_a$ kg/cm <sup>2</sup>
Tipo 1: Patrón	150	1.00	3.5	99644
Tipo 2: Cemento Puzolánico	114	0.76	5.4	88032
Tipo 3: Arena fina	105	0.70	6.0	82268
Tipo 4: Tratamiento de la unidad	114	0.76	5.0	88236
Tipo 5: Mortero con cal	128	0.85	8.0	94752
Tipo 6: Junta = 2 cm	98	0.65	13.3	79216
Tipo 7: Mixto	69	0.46	29.3	65755

MODULO DE ELASTICIDAD vs VARIABLE

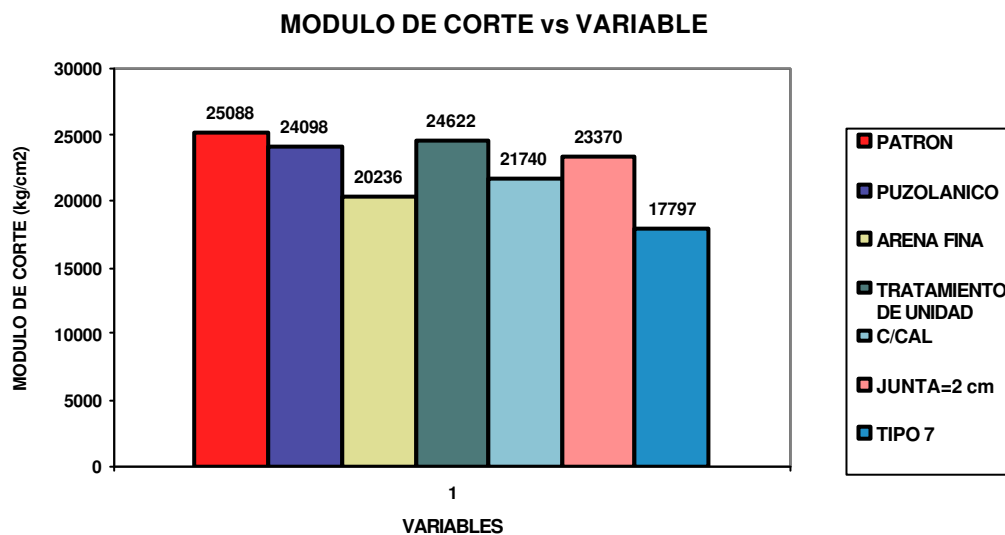


### 5.2 Resistencia a Compresión Diagonal $v'_m$ y Módulo de Corte $G_a$

La resistencia característica a compresión diagonal ( $v'_m$ ), fue obtenida restando una desviación estándar a la resistencia promedio de los 5 muretes ensayados por cada Tipo de espécimen.

Denominando “ $\alpha$ ” a la relación de resistencias  $v_m$  respecto al murete patrón y “ $cv$ ” a la dispersión de resultados, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

TIPO DE ESPECIMEN	$v_m$ kg/cm <sup>2</sup>	$\alpha$	$Cv$ (%)	$G_a$ Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tipo 1:</b> Patrón	18	1.00	7.4	25088
<b>Tipo 2:</b> Cemento Puzolánico	18	1.00	11.1	24098
<b>Tipo 3:</b> Arena fina	10	0.56	18.8	20236
<b>Tipo 4:</b> Tratamiento de la unidad	16	0.89	6.8	24622
<b>Tipo 5:</b> Mortero con cal	17	0.94	7.1	21740
<b>Tipo 6:</b> Junta = 2 cm	15	0.83	4.5	23370
<b>Tipo 7:</b> Mixto	11	0.61	2.6	17797



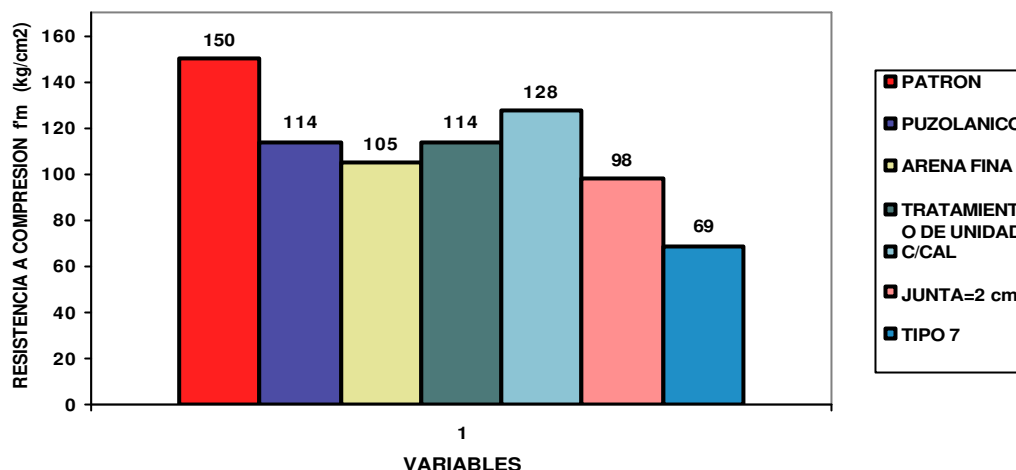
## 6. CONCLUSIONES

Debe indicarse que los valores obtenidos de la resistencia a compresión axial y diagonal son elevados respecto a ensayos anteriores (Ref.1). Esto se debe a que en este proyecto se utilizó ladrillo tipo V y mortero 1:4. Además, el ladrillo empleado posee una disposición distinta de sus 18 perforaciones respecto a los antiguos ladrillos: no están alineadas, sino que están dispuestos en forma alternada, lo que provee una línea de falla más difícil de alcanzar. Por otro lado, en este proyecto se utilizó para el ensayo de compresión diagonal, cabezales angulares más largos que los convencionales, lo que produjo un mayor confinamiento en los muretes elevando su resistencia a compresión diagonal; sin embargo, como en todos los especímenes se utilizó la misma técnica de ensayo, resulta válido el análisis comparativo entre los distintos parámetros.

### 6.1 Resistencia a Compresión de las Pilas

El diagrama de barras correspondiente a las distintas variables, muestra la mayor resistencia  $f_m$  para el espécimen Patrón, siendo el de menor resistencia el Tipo Mixto. Este resultado era previsible ya que el Tipo Patrón es aquél en el que se cumplen todas las condiciones ideales para la construcción de la albañilería, mientras que en el Tipo Mixto se combina las peores condiciones.

## RESISTENCIA A LA COMPRESION vs VARIABLE



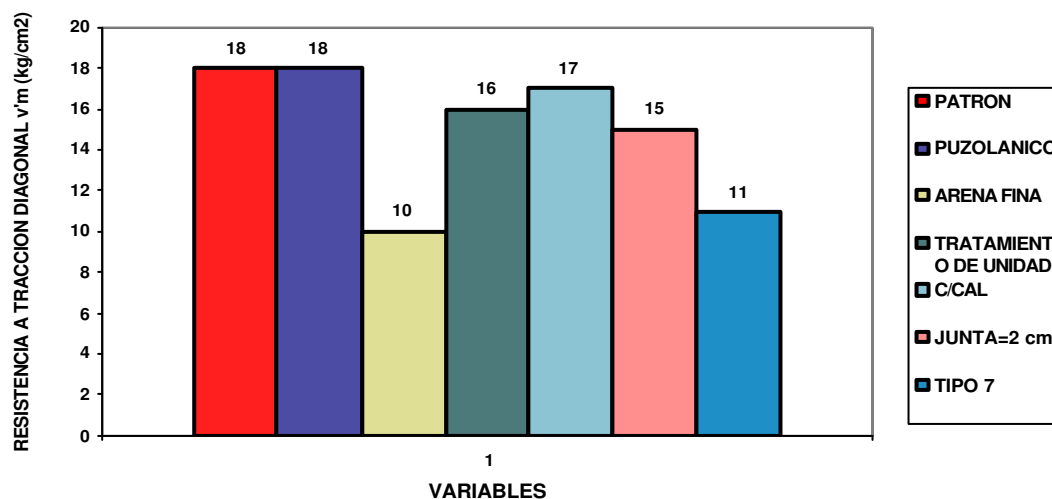
Aceptando deficiencias hasta del 25% con relación al Tipo Patrón, ya que la albañilería es un material de por sí heterogéneo, en el siguiente cuadro se muestra las condiciones que califican como aceptables o inaceptables:

TIPO DE ESPECIMEN	$f_m$ kg/cm <sup>2</sup>	DIFERENCIA RESPECTO AL PATRON (%)	CALIFICACION
<b>Tipo 1:</b> Patrón	150	0	OK
<b>Tipo 2:</b> Cemento Puzolánico	114	24	ACEPTABLE
<b>Tipo 3:</b> Arena fina	105	30	INACEPTABLE
<b>Tipo 4:</b> Tratamiento de la unidad	114	24	ACEPTABLE
<b>Tipo 5:</b> Mortero con cal	128	14	ACEPTABLE
<b>Tipo 6:</b> Junta = 2 cm	98	36	INACEPTABLE
<b>Tipo 7:</b> Mixto	69	54	INACEPTABLE

## 6.2 Resistencia a Compresión Diagonal

El diagrama de barras correspondiente a las distintas variables estudiadas, muestra el mayor valor para el espécimen Patrón, al igual que para el espécimen con cemento Puzolánico. Esto indica que en ambos casos, la adhesión ladrillo-mortero fue la misma.

## RESISTENCIA A LA TRACCION DIAGONAL vs VARIABLE



En este caso, debido a que la falla por corte de los muros de albañilería es más frecuente que la falla por compresión, y también, porque el factor de seguridad que se utiliza en el diseño por corte ( $FS = 2$ ) es menor al que se utiliza en el diseño por compresión ( $FS = 5$ ), el porcentaje de aceptabilidad de cada parámetro respecto al Patrón, será reducida a 15%.

TIPO DE ESPECIMEN	$v_m$ kg/cm <sup>2</sup>	DIFERENCIA RESPECTO AL PATRON ( % )	CALIFICACION
<b>Tipo 1:</b> Patrón	18	0	OK
<b>Tipo 2:</b> Cemento Pozolánico	18	0	ACEPTABLE
<b>Tipo 3:</b> Arena fina	10	44	INACEPTABLE
<b>Tipo 4:</b> Tratamiento de la unidad	16	11	ACEPTABLE
<b>Tipo 5:</b> Mortero con cal	17	6	ACEPTABLE
<b>Tipo 6:</b> Junta = 2 cm	15	17	INACEPTABLE
<b>Tipo 7:</b> Mixto	11	39	INACEPTABLE

En general, como resultado de los ensayos se logró verificar los índices de aceptación impuestos para la resistencia a compresión axial y diagonal de la albañilería, llegándose a la conclusión de que es posible usar cemento puzolánico, adicionar cal hidratada y normalizada a la mezcla y efectuar un tratamiento por inmersión a la unidad, a pesar de que los mejores resultados se lograron empleando las características del espécimen Patrón; en cambio, no es aceptable utilizar arena fina en el mortero o tener juntas de 2 cm de espesor y mucho menos combinar todos los parámetros que se consideran inadecuados.

## 7. REFERENCIA

1. Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Angel San Bartolomé. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial, 1998.



Foto 1. Compresión Axial de Pilas.



Foto 2. Compresión Diagonal de Muretes.



Foto 3. Falla típica de la pila Tipo Patrón y con Cemento Puzolánico.



Foto 4. Falla típica de la pila con arena fina, por aplastamiento.



Foto 5. Falla típica en muretes Tipo Patrón, grieta que atravieza unidades.



Foto 6. Falla típica escalonada en muretes con arena arena fina.