



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

métodos &
materiales

Publicación Anual • Volumen 8 • Diciembre 2018 • ISSN electrónico: 2215-4558

Influencia de la cal en el mortero de pega para mampostería

Influence of lime in bond masonry mortar

Ing. M.Sc. Alejandro Navas Carro
Director Lanamme UCR
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
alejandro.navas@ucr.ac.cr

Ing. Ana María Campos Rojas
Estudiante de Ingeniería Civil,
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
ana.macamposr@gmail.com

Fecha de recepción: 4 abril 2018 / Fecha de aprobación: 23 abril 2018

Índices y Bases de Datos:

latindex

UCRIndex

REDIB

Dialnet

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

PERIÓDICA

 revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales

 lanamme.ucr.ac.cr

 metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr

Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. ISSN electrónico: 2215-4558

Influencia de la cal en el mortero de pega para mampostería

INFLUENCE OF LIME IN BOND MASONRY MORTAR

Ing. M.Sc. Alejandro Navas Carro

Director Lanamme UCR
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
alejandro.navas@ucr.ac.cr

Ing. Ana María Campos Rojas

Estudiante de Ingeniería Civil,
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
ana.macamposr@gmail.com

Fecha de recepción: 4 abril 2018 / Fecha de aprobación: 23 abril 2018

RESUMEN

En esta investigación se estudiaron los morteros para pega de bloques fabricados en sitio y los efectos en sus características físico-mecánicas al agregar cal a la mezcla. Para esto se fabricaron morteros tipo M y tipo S, con y sin cal, usando las proporciones volumétricas brindadas por el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 2010). Como agregado fino se utilizó arena de tajo y arena industrial, por separado. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en cubos de mortero a los 7 y 28 días, porcentaje de retención de agua, contenido de aire y trabajabilidad. Además, se construyeron prismas y "cruces" de mampostería para estudiar la resistencia a compresión y adherencia del mortero, respectivamente. Esto para determinar si el uso de cal producida en el país mejora las propiedades del mortero de pega de mampostería, ya que esto podría permitir que se reactive el uso de la cal en la construcción en Costa Rica.

Los ensayos se realizaron con tres tipos de cal diferentes y los resultados obtenidos varían dependiendo del tipo que se utilice pero en general se encontró que la cal mejora algunas propiedades como lo son la retención de agua, la trabajabilidad, la adherencia y en algunos casos genera un incremento en la resistencia de los prismas. Por el contrario, la resistencia a compresión en cubos de mortero disminuye y el contenido de aire no se ve afectado.

PALABRAS CLAVE: Mortero de pega; Mortero con cal; Mortero fabricado en sitio; Pega de bloques; Prismas de mampostería; Cruces de mampostería.

ABSTRACT

In this research it was studied the mortars for block pasting, fabricated in situ and the effects in their physical and mechanical characteristics by adding lime to the mix. For this, were made mortars type M and type S with and without lime, using the volumetric proportions that the Seismic Code of Costa Rica 2010 (CSCR 2010) says. It was used quarry sand and industrial sand like fine aggregate, separately. Testing compressive strength was conducted in mortar cubes at 7 and 28 days, also percentage of water retention, air content and workability were tested. Also, masonry prisms and "crosses" were made for compressive strength and bond test, respectively. All this, to determine if the use of lime produced in this country improves the properties of the bond masonry mortar, because this could reactivate in Costa Rica the use of lime in the Industrial construction.

Tests were made with 3 different limes, and the results change depends on the lime used. But in general, the lime improves some properties like water retention, workability and bond, and in some cases increases prisms resistance. Conversely, compressive strength in mortar cubes decreases and the air content wasn't affected.

KEYWORDS: Bond mortar; Lime mortar; Mortar made in place; Block pasting; Masonry prisms; Masonry crosses.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de muros de mampostería con bloques de concreto, es la más utilizada actualmente en Costa Rica, especialmente en la construcción de viviendas y edificaciones de uno a diez niveles de altura. Para adherir los bloques de mampostería se requiere de un mortero de pega con características especiales que le permita conformar todas las piezas como un solo elemento, formando un bloque sólido. Sin embargo, las prácticas empleadas en algunas construcciones para la fabricación en sitio de este mortero, así como de su colocación, podrían ocasionar que no se alcance la resistencia esperada.

En el país la cal hidratada se encuentra especificada para uso en la fabricación de morteros de pega de mampostería en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (1), sin embargo, no se cuenta con ninguna regulación que permita identificar si la cal producida en el país es apta para su uso en construcción. Además, se debe recordar que en los proyectos de construcción se suelen elegir los materiales dependiendo de la cercanía de los depósitos, y aunque algunos de ellos son aptos para fabricar concreto, se desconocen sus propiedades en la fabricación de mortero.

Los beneficios de la cal en los morteros han sido estudiados con anterioridad, es el caso de Chacón (2) y Picado (3), quienes estudiaron la influencia de la cal en morteros para repello y Arias (4) quien evalúa las propiedades de morteros de pega preempacados. Sin embargo, los morteros de pega fabricados en sitio con cal sólo han sido estudiados anteriormente por Acón (5), quien comparó la retención de agua, el contenido de aire y la resistencia a compresión en cubos de mortero para morteros fabricados con arena industrial. Por lo que, con este trabajo se pretende complementar este estudio, al incluir la resistencia a compresión en prismas de mampostería y la adherencia para arena industrial, además de un estudio completo de las mismas propiedades para arena de tajo.

Asimismo, se pretende un mejoramiento en la calidad de las construcciones de mampostería del país, dándole al usuario la posibilidad de utilizar cal producida en Costa Rica y permitiéndole saber con certeza los efectos que esta tendrá en la mampostería, así como sus posibles efectos al ser combinada con arena de tajo y con arena industrial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Metodología

La metodología empleada en la realización de este trabajo se basó en las siguientes tres etapas:

Recopilación de información

En esta etapa se investigaron los trabajos realizados anteriormente sobre temas relacionados, y se recopilaron y estudiaron las normas ASTM de los ensayos a realizar. También se eligieron los materiales a utilizar: los tres tipos de cal se eligieron basándose en un muestreo realizado por Acón (5), eligiendo una cal de buena calidad, una de mediana y una de baja calidad; por su parte se eligió el agregado fino con base en su granulometría.

Proceso experimental

Esta etapa se llevó a cabo en el Laboratorio Nacional de Materiales y de Modelos Estructurales (LanammeUCR). Se inició con los ensayos de caracterización de los materiales a utilizar en la fabricación de los morteros: gravedad específica del cemento; pruebas químicas (en el laboratorio Lambda) y granulometría de la cal; peso unitario, gravedad específica y granulometría de los agregados finos; y absorción, área neta y resistencia a compresión de los bloques.

Se realizaron ensayos a los morteros, pruebas de: retención de agua, contenido de aire, flujo (trabajabilidad) y resistencia a compresión en cubos de mortero para fallar a 7 y 28 días de edad. De cada agregado fino se fabricaron dos morteros con cada cal y dos sin cal, uno tipo M y uno tipo S, para un total de 16 morteros diferentes.

Se construyeron los especímenes de mampostería: prismas sin relleno fallados a los 28 días de edad para medir la resistencia a compresión de la mampostería y cruces de mampostería falladas a 28 días de edad para medir la adherencia entre el mortero y los bloques. Para estos especímenes de mampostería se utilizó un espesor de junta de 1 cm.

Análisis de resultados y conclusiones

Esta última etapa consistió en organizar los resultados obtenidos durante el proceso experimental y redactar las conclusiones del estudio.

A continuación, se detallan las propiedades de los materiales y las proporciones usadas para la fabricación de los morteros.

2.2. Materiales

Cemento

Se utilizó Cemento Portland para uso general marca Holcim. Este cuenta con una gravedad específica de 2,95 y, según su ficha técnica (6), alcanza una resistencia de 28 MPa a los 28 días.

Cal

Se eligieron las siguientes tres cales del muestreo realizado por Acón (5):

- Industrias de calcio, ubicada en Barra Honda, Guanacaste (Cal 1).
- Calera Roy Villalobos, ubicada en San Miguel, Desamparados (Cal 2).
- Calera Alvarado, ubicada en san Miguel, Cartago (Cal 3).

A estas cales se les realizaron pruebas químicas y de granulometría cuyos resultados se muestran en las **Tablas 1 y 2** respectivamente. Para las pruebas químicas, la norma ASTM C207-06 (7) pide que el porcentaje mínimo de hidróxido de calcio y de magnesio sea de 95% y el contenido de dióxido de carbono no debe sobrepasar el 5%. En el caso de la granulometría, según la norma ASTM C110-16e1 (8) el porcentaje retenido en la malla N°30 debe ser menor a 0,5%.

Tabla 1. Pruebas químicas de las cales utilizadas

# CAL	RESULTADOS QUÍMICOS (%)			
	Ca(OH) ₂	Mg(OH) ₂	CO ₂	Ca(OH) ₂ + Mg(OH) ₂
1	93.75	1.03	1.43	94.78
2	79.1	2.03	6.62	81.13
3	32.65	2.56	33.69	35.21

Tabla 2. Granulometría de las cales

# CAL	RETENIDO %	
	N° 30	N°200
1	0.42	2.86
2	14.47	25.29
3	21.62	44.90

Agregado fino

Para este estudio se utilizaron los dos tipos de agregado fino que se describen a continuación:

- **Arena de tajo:** proveniente del tajo La Florencia, en La Garita, Alajuela.

En el país, esta arena proviene de vetas del tajo de muy mala calidad, por lo que se obtiene un material con altas absorciones, altos porcentajes pasando la malla N°200 y partículas suaves, pero con la ventaja de que está libre de materia orgánica. También, presenta partículas de tamaño mayor a los 4,75 mm, por lo que se debe tamizar a través de una malla N°4 para poder utilizarse como agregado fino para mortero.

Esta arena requiere mayor relación w/c (peso de agua/peso de cemento) para obtener una trabajabilidad adecuada, lo que la hace más susceptible a contracciones y agrietamientos una vez perdido el exceso de agua. Por esto, se considera de menor calidad que la arena industrial. Sin embargo, es importante su estudio en este proyecto ya que, por su bajo precio y facilidad de obtención (procesos poco rigurosos y materiales de mala calidad) es la más usada.

- **Arena industrial:** proveniente de Guápiles, Limón.

Es un agregado fino obtenido de un proceso de extracción, trituración y cribado, durante el cual se procura que se obtenga una granulometría que cumpla las condiciones para fabricar concreto. Este material se obtiene de la misma veta que la roca que se usa para producir el agregado grueso, lo que resulta en un material de buena calidad, bajas absorciones y dureza adecuada. Sin embargo, en morteros presenta menor trabajabilidad debido a un menor porcentaje de finos (en comparación con la arena de tajo).

En la **Figura 1** se muestra la granulometría de ambas arenas utilizadas.

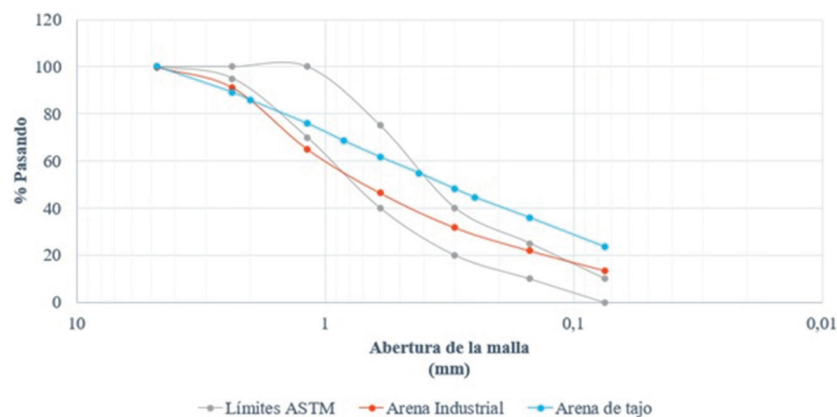


Figura 1. Granulometría de las arenas usadas

Tabla 3. Proporciones por volumen recomendadas por el CSCR 2010

Combinación de materiales cementantes	Tipo de Mortero	Cemento	Cal Hidratada	Arena en cond. húmeda y suelta
Cemento-cal hidratada	A	1	¼	3
Cemento-cal hidratada	B	1	½	4
Cemento-cal hidratada	C	1	¾	5

Bloques de concreto

Se utilizaron bloques de concreto Clase A para todos los ensayos, los cuales se sometieron a pruebas de área neta, absorción y resistencia a compresión. Estos bloques cumplieron con la resistencia mínima de 13,0 MPa en el promedio de tres unidades y de 11,8 MPa cada unidad individual, como lo especifica el CSCR 2010 (1).

Proporción de morteros

Se usaron las proporciones por volumen del CSCR 2010 (1), las cuales se muestran en la **Tabla 3**.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se demostró que la cal nacional, mejora algunas propiedades del mortero de pega, pero esta mejora está relacionada con la calidad de la cal que se utilice.

3.1 Prueba de flujo

Este ensayo permitió conocer, la cantidad de agua necesaria en cada mezcla para obtener un flujo de $110 \pm 5\%$, que según la norma ASTM C1437-15(9) es el flujo que brinda una trabajabilidad apropiada para el mortero. En la **Figura 2**, se pueden ver los resultados obtenidos para cada mortero, además de las relaciones w/c obtenidas en cada caso. Los morteros con cal, necesitan más agua para lograr un flujo apropiado, en especial las mezclas con cal 2 y 3.

Durante la mezcla y moldeo de cada uno de los morteros fue posible percibir que las mezclas con arena de tajo se tornaban más “pastosas” debido al exceso de finos, por lo que resultaba más fácil trabajar con ellas. Además, tanto con arena de tajo como con arena industrial, se obtuvieron mejoras en su trabajabilidad al agregar cal a la mezcla, las cuales fueron percibidas cualitativamente.

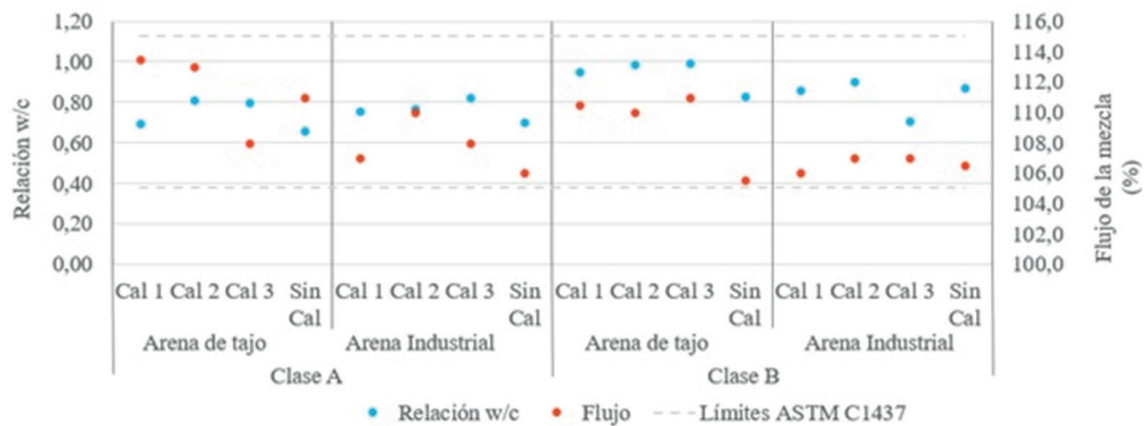


Figura 2. Resumen de relación w/c de las mezclas de mortero y su respectivo flujo

Tabla 4. Resultados de la prueba de retención de agua						
Retención de agua	Tipo M	% variación		Tipo S	% variación	
		vs mín ASTM C270	vs. Sin cal		vs mín ASTM C270	vs. Sin cal
ATSM C270	≥75%	-	-	≥75%	-	-
Arena de tajo						
SIN CAL	53%	-30%	-	55%	-27%	-
CAL 1	79%	5%	49%	80%	6%	45%
CAL 2	69%	-8%	31%	64%	-15%	16%
CAL 3	75%	0%	42%	66%	-12%	21%
Arena industrial						
SIN CAL	55%	-27%	-	72%	-4%	-
CAL 1	89%	19%	63%	88%	18%	23%
CAL 2	90%	20%	64%	87%	16%	21%
CAL 3	87%	16%	59%	81%	9%	14%

3.2 Retención de agua

En la **Tabla 4** se presenta un resumen de los porcentajes obtenidos en la prueba de retención de agua, la cual se llevó a cabo según el procedimiento de la norma ASTM C1506 –17 (10).

Si se comparan los resultados obtenidos con el mínimo de 75% solicitado por la norma ASTM C270 – 14a (11) se obtiene que, en el caso de la arena industrial, todos los morteros con cal cumplen con la norma, mientras los morteros sin cal, tanto tipo M como tipo S tienen una retención de agua menor a la solicitada. Es decir, el agregar cal (sin importar su calidad) a la mezcla de mortero con arena industrial sí mejora la retención de agua.

Por su parte, los morteros con arena de tajo también aumentan la retención de agua al agregar cal a la mezcla, sin embargo, no todos alcanzan el mínimo requerido. Los mejores resultados se obtienen con la cal 1.

3.3. Contenido de aire

El contenido de aire es un parámetro que contribuye también a la trabajabilidad de la muestra y se ensaya según la norma ASTM C185 – 15a (12). Los resúmenes de los porcentajes de aire obtenidos pueden verse en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Resultados de pruebas de contenido de aire en el mortero						
Contenido de aire	Tipo M	% variación		Tipo S	% variación	
		vs. Mín ASTM C270	vs. Sin cal		vs. Mín ASTM C270	vs. Sin cal
ATSM C270	≤ 7%		-	≤ 7%		-
Arena de tajo						
Sin Cal	9%	26%	-	9%	29%	-
Cal 1	9%	29%	2%	8%	11%	-14%
Cal 2	7%	6%	-16%	8%	12%	-14%
Cal 3	8%	13%	-10%	7%	-2%	-24%
Arena industrial						
Sin Cal	4%	-48%	-	3%	-60%	-
Cal 1	2%	-65%	-33%	2%	-75%	-38%
Cal 2	2%	-71%	-43%	2%	-65%	-14%
Cal 3	2%	-65%	-33%	1%	-80%	-50%

Tabla 6. Resultados de la prueba de resistencia a compresión						
Resistencia a compresión	Tipo M (kPa)	% variación		Tipo S (kPa)	% variación	
		vs. mín CSCR-10	vs. Sin Cal		vs. mín CSCR-10	vs. Sin Cal
CSCR-10	17161.6	-	-	12356.4	-	-
Arena de tajo						
Sin Cal	26674.1	56%	-	26772.2	88%	-
Cal 1	30204.5	76%	13%	24222.4	96%	4%
Cal 2	25497.3	48%	-5%	23241.8	88%	0%
Cal 3	20299.8	18%	-24%	23928.2	94%	3%
Arena industrial						
Sin Cal	26183.8	53%	-	12454.4	1%	-
Cal 1	24810.8	45%	-5%	11473.8	-7%	-8%
Cal 2	24418.6	42%	-7%	10885.4	-12%	-13%
Cal 3	16475.2	-4%	-37%	10983.4	-11%	-12%

La arena industrial presenta una disminución pequeña en su porcentaje de aire al agregar cal, sin embargo, la arena de tajo no muestra una tendencia, ya que en algunos casos aumenta y en otros disminuye.

En el caso de la arena industrial se cumple con el límite de contenido de aire en todos los casos aún sin agregar cal a la mezcla. La arena de tajo por su parte, presenta porcentajes de contenido de aire más altos, llegando incluso a incrementarse con la presencia de la cal 1, esto puede deberse al alto porcentaje de material fino de esta arena. En el caso de la arena de tajo no se cumple con el límite máximo, aunque se agregue cal, se presenta una excepción en el mortero tipo S con cal 3, pero esta cal presenta resultados con variaciones importantes por lo que no debe considerarse este dato como una tendencia.

3.4. Resistencia a compresión en cubos de mortero

Con esta prueba se obtuvo la resistencia a compresión del mortero (f_{mortero}) a los 7 y 28 días, siguiendo la norma ASTM C109M - 16a(13). Se fallaron 3 cubos de cada mortero a

cada edad, en la **Tabla 6** se muestran los promedios de los resultados obtenidos a los 28 días de edad.

En el caso de la arena de tajo, todos los morteros cumplen con la resistencia mínima establecida en el CSCR 2010, sin embargo, al agregar cal se puede dar una pérdida pequeña de resistencia. La mayor pérdida se da en el caso de la cal 3 para el mortero tipo M, en la que se pierde un 24% respecto al mortero sin cal, pero la resistencia se mantiene un 18% mayor a lo solicitado en el CSCR 2010.

Por su parte, la arena industrial, en el mortero tipo S, al agregar cal experimenta una pérdida de resistencia que lo lleva a quedar por debajo del límite solicitado en el CSCR 2010, esto se debe a que aún sin agregar cal se obtienen resultados muy cercanos al límite.

3.5. Resistencia a compresión en prismas de mampostería

Se construyeron 3 prismas sin relleno de cada mezcla de mortero, el proceso de construcción y falla se llevó a cabo según la norma ASTM C1314 - 16 (14) y puede verse en la **Figura 3**; los promedios de la resistencia a compresión de la mampostería (f_m) se encuentran en la Tabla 7. Todos los prismas se construyeron con bloques Clase A (M).



Figura 3. Construcción y falla de los prismas

Tabla 7. Resistencia a la compresión de los prismas						
Resistencia a compresión	Tipo M (kPa)	% variación		Tipo S (kPa)	% variación	
		vs. mín CSCR-10	vs. Sin Cal		vs. mín CSCR-10	vs. Sin Cal
CSCR-10	9806.65	-	-	6864.65	-	-
Arena de tajo						
Sin Cal	11277.6	15%	-	9316.32	35%	-
Cal 1	11277.6	15%	0%	9316.32	36%	1%
Cal 2	9806.65	0%	-13%	13533.2	97%	46%
Cal 3	7354.99	-25%	-35%	10100.8	48%	9%
Arena industrial						
Sin Cal	11473.8	17%	-	9218.25	34%	-
Cal 1	10689.2	9%	-6%	10297	50%	12%
Cal 2	9610.52	-2%	-16%	11571.8	69%	26%
Cal 3	15298.4	56%	34%	9512.45	38%	3%

Al agregar cal a la mezcla de mortero, disminuye la f'_m en los prismas tipo M, igual que con el caso de f'_{mortero} . Sin embargo, en el caso de las cales 1 y 2 en mortero tipo M, se continúa cumpliendo con la resistencia solicitada para arena de tajo y se encuentra muy cerca del límite para arena industrial. La cal 3 no es consistente con sus resultados, ya que no muestra una tendencia clara debido a que es probable que su composición no sea homogénea.

En el caso de los prismas tipo S se puede ver como en todos los casos, al agregarse cal, se mejora la resistencia de los prismas a compresión. Se debe recordar también que estos prismas fueron fabricados con bloques tipo M, y en el CSCR 2010 (1) se especifica que para tener mampostería tipo S, los bloques deben ser tipo S. Es por ello que los resultados obtenidos superan en más de un 30% la resistencia esperada, llegando en algunos casos a una resistencia adecuada para mampostería tipo M, como es el caso de los morteros de arena industrial

con cal. Esto demuestra que quien más aporta en resistencia a la compresión es el bloque y no tanto el mortero de pega, por lo que se debería considerar en el Código Sísmico que para obtener mampostería tipo M no es necesario que el mortero sea del mismo tipo y aceptar la calificación de mampostería tipo M con un mortero tipo S, siempre y cuando los bloques sean tipo M y el mortero sea fabricado con cal y arena de buena calidad (se recomienda arena industrial, ya que presenta los mejores resultados al mezclarse con cal).

3.6. Adherencia en cruces de mampostería

Se construyeron 4 cruces con cada mezcla de mortero. El proceso de construcción y falla puede verse en la **Figura 4**. Se llevó a cabo de acuerdo a un proceso realizado en ocasiones anteriores en el LanammeUCR, ya que no se cuenta con una norma ASTM para estos especímenes; los promedios de las adherencias obtenidas durante las fallas se encuentran en la **Tabla 8**.

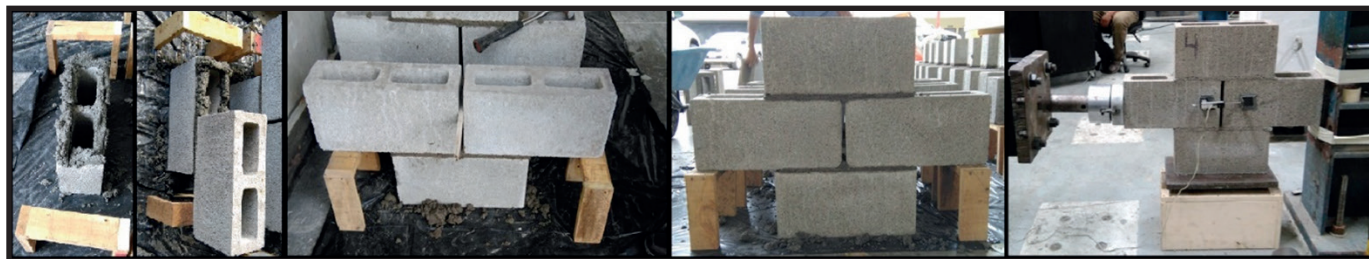


Figura 4. Construcción y falla de cruces de mampostería

Tabla 8. Adherencia obtenida de los cruces de mampostería						
Adherencia	Tipo M	CV	%variación	Tipo S	CV	%variación
	(kPa)		vs. Sin Cal	(kPa)		vs. Sin Cal
Arena de tajo						
Sin Cal	188.29	0.48	-	87.28	0.29	-
Cal 1	207.90	0.36	11%	93.16	0.38	7%
Cal 2	145.14	0.29	-23%	117.68	0.27	34%
Cal 3	200.06	0.55	6%	105.91	0.27	21%
Arena industrial						
Sin Cal	157.89	0.18	-	81.40	0.70	-
Cal 1	191.23	0.32	21%	128.47	0.44	58%
Cal 2	144.16	0.38	-9%	88.26	0.26	7%
Cal 3	128.47	0.24	-19%	102.97	0.32	26%

Según los resultados mostrados en la tabla, los morteros tipo M solo presentan un aumento en su adherencia con la cal 1, y en el caso de la arena de tajo también se observa un pequeño aumento con la cal 3. Por su parte los morteros tipo S presentan un aumento en su adherencia cuando se les agrega cal, reaccionando la arena de tajo mejor con la cal 2 y la arena industrial con la cal 1.

La adherencia es una de las características más importantes de un mortero de pega y como se puede ver sí existen diferencias al utilizar cal en el mortero, en especial en los morteros tipo S.

4. CONCLUSIONES

Retención de agua

- Los morteros sin cal no logran alcanzar el 75% de retención de agua que pide la norma.
- Agregar cal al mortero, mejora la retención de agua en todos los casos. Y aunque en algunas mezclas aún con la cal no se logra el mínimo indicado por la norma ASTM C270, la mejora que se obtiene es importante.
- La cal mejora la retención de agua de los morteros fabricados con arena de tajo, sin embargo, se obtienen mejores resultados si se utiliza arena industrial.

Contenido de aire

- Los morteros con arena de tajo no cumplen con el límite de 7%, en contraste con los morteros fabricados con arena industrial, los cuales en todos los casos cumplen con este límite máximo.

- Los resultados de esta prueba no son concluyentes en cuanto a una tendencia que muestre cual mortero presenta mejores propiedades de contenido de aire.

Resistencia a la compresión en cubos de mortero

- Los morteros sin cal cumplen todos con la resistencia mínima que pide el CSCR 2010 (1).
- Los morteros con arena de tajo pierden resistencia a compresión al agregar cal, sin embargo, siguen cumpliendo con el mínimo que establece el CSCR 2010 (1). Esta tendencia se da también en los morteros con arena industrial. La excepción se da con los morteros de arena de tajo con cal 1, los cuales mejoran su resistencia a compresión en comparación con los morteros sin cal.
- Los resultados obtenidos en cuanto a resistencia con arena de tajo son mayores a los obtenidos con arena industrial. Sin embargo, se debe considerar que la arena de tajo al contener un porcentaje mayor de finos, es más propensa a sufrir contracción.

Resistencia a la compresión en prismas de mampostería

- El uso de la cal en morteros tipo M puede ocasionar una pérdida de resistencia a compresión en prismas de mampostería. Sin embargo, en morteros tipo S se observa un aumento de la resistencia.
- Los morteros tipo S, cumplen todos con la resistencia mínima y en algunos casos se alcanza una resistencia mayor a la solicitada para mampostería tipo M.
- La calidad de la cal influye en el comportamiento de la resistencia a compresión en prismas de mampostería;

la cal 1 y la cal 2 tienen comportamientos muy similares. Sin embargo, la cal 3 no presenta ninguna tendencia en sus resultados.

- Es posible obtener mampostería tipo M, al utilizar un mortero tipo S con bloques tipo M. El mortero debe contener cal de calidad igual o superior a la cal 2 para alcanzar esta resistencia.

Adherencia en cruces de mampostería

- En el mortero tipo S, todas las cales mejoran la adherencia del mortero.
- En el mortero tipo M, solo la cal 1 mejora la adherencia del mortero, las cales 2 y 3 tienden a bajar esta propiedad.
- La calidad de la cal influye en el comportamiento que esta tendrá en el mortero en cuanto a adherencia, siendo la cal 1 la que presenta un mejor desempeño en la mayoría de los casos.

Generales

- La calidad de la cal que se utilice influye en los resultados. Una cal de buena calidad como la cal 1 o de mediana calidad como la cal 2, presentan mejoras notorias y consistentes, mientras una cal de baja calidad como la cal 3 presenta mejoras en unos casos, pero en otras perjudica al mortero, sin ser consistente en los resultados.
- El uso de la cal reduce la resistencia a compresión en cubos de mortero, pero aumenta su retención de agua. La pérdida de resistencia no es significativa, mientras que el aumento en la retención de agua sí lo es, por lo que puede afirmarse que la cal representa una mejoría para el mortero de pega.
- En cuanto a resistencia a compresión, es más importante la resistencia del bloque que la del mortero de pega. Se pueden obtener muy buenos resultados con prismas de mampostería fabricados con morteros de f_{mortero} menor a la solicitada, como es el caso de los morteros tipo S con arena industrial.
- La cantidad de cal que se agrega a la mezcla juega un papel importante en cuanto a la mejora que esta representa en el mortero, siendo los morteros tipo S, los que presentan porcentajes de beneficio mayores.
- Con ambas arenas, la trabajabilidad de la mezcla aumenta al agregar cal a la muestra, especialmente cal 1.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar sobre el efecto de la variación en las cantidades de cal que se agregan al mortero, principalmente a los morteros tipo M, y realizar más ensayos de prismas y cruces de mampostería para ampliar la muestra. Además, ensayar especímenes con edades mayores a los 28 días para estudiar el fenómeno de carbonatación de la cal
- Se recomienda el uso de cal en los morteros de pega para mampostería, sin embargo, se debe revisar la calidad de la cal (composición química principalmente) y se recomienda que esta sea similar o superior a la cal 2.
- Sería importante realizar una investigación en la que se combinen ambos tipos de agregado fino para obtener los beneficios de trabajabilidad de la arena de tajo y los de resistencia de la arena industrial.
- En Costa Rica es necesaria una norma para la cal que permita a los productores regular su producción y brindar cal que sea apta para su uso en construcción.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acón, C. (2014). *Influencia de la cal nacional en las propiedades del mortero para pega de bloques en mampostería*. (Tesis de Grado). Universidad de Costa Rica.
- American Society for Testing and Materials. (2006). ASTM C207. *Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. (2014). ASTM C270 - 14a. *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. (2015). ASTM C1506 - 17. *Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. (2016). ASTM C109/C109M - M16a. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube Specimens)*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. (2016). ASTM C1314 - 16. *Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.

- ☞ American Society for Testing and Materials. (2015). ASTM C1437 - 15. *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- ☞ American Society for Testing and Materials. (2017). ASTM C1506 - 17. *Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- ☞ American Society for Testing and Materials. (2017). ASTM C110 - 16e1. *Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone*. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- ☞ Arias, E. (2012). *Evaluación de las propiedades del mortero preempacado para pega de bloques de mampostería*. (Tesis de Grado). Universidad de Costa Rica.
- ☞ Campos, A. (2016). *Influencia de la cal en las características físico-mecánicas del mortero de pega para mampostería, fabricado con arena de tajo*. (Tesis de Grado). Universidad de Costa Rica.
- ☞ Chacón, C. (2001). *Análisis y evaluación técnica en morteros para repellos y recomendaciones para su uso*. (Tesis de Grado). Universidad de Costa Rica.
- ☞ Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2010). *Código Sísmico de Costa Rica 2010* (Cuarta ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- ☞ Holcim. Ficha técnica Cemento UG-RTCR 383:2004; 2014.
- ☞ León, Y. (2016). *Influencia de la cal y la arena de río lavada, en las propiedades físico-mecánicas del mortero de pega de bloques de mampostería*. (Tesis de Grado). Universidad de Costa Rica.
- ☞ Picado, A. (2001). *Evaluación técnica de morteros para repello y recomendaciones para su aplicación*. (Tesis de Grado). Universidad de Costa Rica.