

ESTUDIO COMPARATIVO DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ESTABILIZADOS CON CAL Y CON CEMENTO

Rubén Salvador Roux Gutiérrez y Luis Fernando Guerrero

RESUMEN

En la búsqueda del desarrollo de materiales alternativos de bajo costo energético y mayor calidad, se han realizado estudios tendientes al mejoramiento de las características físicas y mecánicas de los bloques de tierra comprimida (BTC) al estabilizarlos con cemento, porque se sabe que esta sustancia incrementa su resistencia mecánica. Sin embargo, el cemento Portland, es uno de los materiales de construcción que mayor energía requiere para su elaboración, en la que además se generan enormes cantidades de emisiones contaminantes a la atmósfera. Una alternativa para reducir los gases de efecto invernadero (GEI) es el empleo del hidróxido de calcio (cal apagada), que aunque también genera CO₂ en su fabricación, sus emisiones son menores que las del cemento y además, durante la carbonatación que se produce en su fraguado, progresivamente recupera este gas de la atmósfera. Por otra parte, como la temperatura de calcinación y el tiempo de fabricación son mucho más bajos que los requeridos para el cemento, la energía incorporada también es menor. El presente trabajo expone los resultados del análisis comparativo de pruebas físicas, mecánicas y de absorción capilar, realizado a bloques de tierra comprimida (BTC) estabilizados con cemento y con hidróxido de calcio, a fin de demostrar que el uso de la cal genera bloques tan eficientes como los que utilizan cemento, pero más sustentables y con la ventaja adicional de que los productos finales adquieren mayor resistencia ante la humedad, que constituye uno de los principales factores de deterioro de la tierra empleada como material constructivo.

Palabras clave: cemento, cal, arcilla, sustentabilidad, resistencia a compresión

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental producido por los materiales de construcción a partir de la revolución industrial ha contribuido al incremento del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), puesto que, anteriormente, los materiales de construcción eran naturales, procedentes del entorno inmediato a donde se procesaban, eran de fabricación simple y se adecuaban a las condiciones climáticas del medio físico donde se realizaba la construcción. El cambio se produce a partir del incremento en la demanda derivada de la explosión demográfica la cual tiende al agotamiento de los recursos naturales y al incremento de las emisiones de contaminantes en el proceso de producción. Además, la producción de los materiales se realiza a grandes distancias del sitio donde se construye, lo que a su vez incrementa el tamaño de la huella ecológica y produce contaminación y gastos energéticos de transportación. Ante esta situación uno de los retos de la industria de la construcción y del diseño arquitectónico es el empleo de materiales de bajo impacto ambiental, y obtenidos de contextos inmediatos. Es sabido que los materiales de construcción empleados actualmente son responsables del 50 % del consumo de los recursos naturales, del 40 % de la energía consumida y del 50 % de los residuos generados. (Arenas, 2008).

Por otra parte, en los últimos 30 años se han desarrollado nuevas técnicas en la producción de materiales de construcción con base en tierra, los cuales aumentan su competitividad en comparación con los que actualmente se comercializan de manera convencional. Otra de las ventajas que ofrecen los productos elaborados con tierra cruda es la condición térmica que los hace muy apropiados para climas extremos, como lo demuestra su amplia utilización en las zonas desérticas del mundo, donde los cambios de temperatura son muy drásticos.

La técnica de bloques de tierra comprimida (BTC) generalmente utiliza sustancias estabilizantes como el cemento Portland, el asfalto o la cal, con la finalidad de darles una mayor capacidad de carga, resistencia a la abrasión y a los efectos del impacto de la lluvia. Para esta investigación se ha determinado hacer el estudio comparativo del uso de hidróxido de calcio y el cemento CPO-20, los cuales se aplican generalmente en polvo para la estabilización de suelos en obras de ingeniería civil. Sin embargo, como es sabido, el cemento genera un alto gasto energético y una fuerte contaminación medioambiental. La fabricación de una tonelada de cemento produce una tonelada de CO₂, aparte de otros gases que también se consideran precursores del efecto invernadero. (Suppen, 2008)

La presente investigación pretende demostrar que las propiedades mecánicas de los bloques de tierra comprimida (BTC), estabilizados con hidróxido de calcio, pueden alcanzar propiedades mecánicas similares a los que son estabilizados con cemento CPO-20, pero con la ventaja de producir un menor impacto en el medio ambiente a partir de que en el proceso de fabricación de la cal se requiere menor cantidad de energía y de sus propiedades de absorber CO₂ de la atmósfera durante su proceso de fraguado.

DESARROLLO

Como base de análisis se presenta una comparación entre las emisiones derivadas de la fabricación de hidróxido de calcio y de cemento CPO-20.

Tabla 1. Factor de emisión en la producción de cal hidratada. (Longoria, et.al. 2002:19)

Resumen de los factores de emisión para la producción de cal		
Proceso	Componente	Factor de emisión
Horno de cal alimentado con calcita	CO ₂	0.59 toneladas de CO ₂ /tonelada de cal hidratada producida

Tabla 2. Factores de emisión en la producción de cemento. (Suppen, 2008)

Resumen de las emisiones para la producción de cemento gris		
Proceso	Componente	Factor de emisión
Horno de cemento	CO ₂	1.0 toneladas de CO ₂ /tonelada de cemento producida
	SO ₂	0.0005 toneladas de SO ₂ /tonelada de cemento producida
	NO _x	0.0020 toneladas de NO _x /tonelada de cemento producida
	CO	0.0017 toneladas de CO/tonelada de cemento producida
	COT	0.0001 toneladas de COT/tonelada de cemento producida

De la información anterior se desprende que el cemento tiene una producción de CO₂ muy superior al hidróxido de calcio utilizado en la industria de la construcción que es el producido con calcita. Además, el cemento produce otros gases y sustancias como son: el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y carbón orgánico total.

PROCESO DE ESTABILIZACIÓN CON CAL

La modificación de las condiciones naturales de la tierra a partir del uso de cal se originan en el estudio de minerales arcillosos del suelo con los cuales reacciona esta substancia a partir de procesos físicos y químicos (Fernández, 1992:129). Existen varios procedimientos para el diseño de un suelo-cal, pero cualquiera que sea el método, hay un punto donde el contenido de cal no produce ninguna mejoría; a éste se le conoce como ‘punto de fijación’, y significa que la reacción potencial de los minerales arcillosos queda satisfecha.

Uno de los métodos más empleados para la identificar la cantidad necesaria para estabilizar un suelo es el propuesto por la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Se basa en el manejo de una gráfica desarrollada a partir de pruebas de compresión simple realizadas a probetas con cantidades variables de cal (Fig. 1). Solamente se requiere tener dos datos del suelo que se va a estabilizar: el porcentaje de material que pasa por una malla número 4 y el Índice de Plasticidad (Fernández, 1992).

Se deben hacer tres especímenes de prueba y obtener el resultado después de curarlos. Por recomendación de la *National Line Association* de Estados Unidos, el procedimiento de estabilización con cal debe considerar los siguientes aspectos:

1. Utilizar cal hidratada en polvo que cumpla con las especificaciones correspondientes.
2. Disgregar la arcilla, y realizar el mezclado en dos etapas, utilizando sólo 50 % de cal calculada en el diseño en cada una de las etapas.
3. Adicionar la cal de manera dosificada, de acuerdo con el peso seco del suelo.
4. Mezclar inicialmente con el propósito de distribuir la cal de manera uniforme, para lo cual se deberá agregar agua hasta 5 % por encima de la humedad óptima.
5. Curar la mezcla de 1 a 48 horas para lograr que se rompan los grumos de arcilla.
6. Comparar con las pruebas de elaboración realizadas previamente.

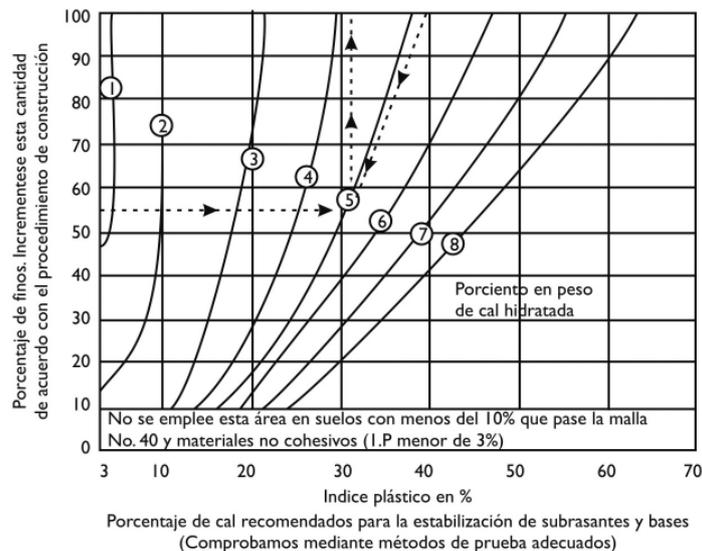


Figura 1. Dosificación de cal necesaria para la estabilización

PROCESO DE ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO

Para determinar la dosificación óptima del cemento por volumen agregado a la masa natural del suelo, se procede bajo los siguientes pasos:

- a. Definir la clasificación SUCS o AASHTO del tipo de suelo existente. Determinación de los límites de Atterberg del suelo natural (Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad), prueba Próctor estándar (Densidad Máxima y Humedad Óptima) y ensayo de CBR, y finalmente pH.
- b. Preparar especímenes con diversas mezclas para realizar las pruebas de laboratorio pertinentes. Se preparan dos especímenes de cada mezcla con la humedad óptima obtenida en la prueba de compactación.
- c. Preparar mezclas iniciales según Tabla 3.

Tabla 3. Contenido de cemento aprox. para proyectar mezcla de suelo cemento según PCA

GRUPO DE SUELO SEGÚN LA AASHTO M145 (S.L) ASTMD2487 (SIST.UNIF.)	% DE CEMENTO REQUERIDO % EN PESO	CONTENIDO DE CEMENTO ESTIMADO PARA LA PRUEBA DE COMPACTACION % EN PESO	CONTENIDO DE CEMENTO PARA PRUEBA DE HUMEDAD SECADO % EN PESO
A-1-a (GW,GP,SW,SP)	3.0 - 5.0	5	3 - 4 - 5 - 7
A-1-b (SW,SP,GM,SM,GP)	5.0 - 8.0	6	4 - 6 - 8
A-2 (GM,SM,GC,SC)	5.0 - 9.0	7	5 - 7 - 9
A-3 (SP)	7.0 - 11.0	9	7 - 9 - 11
A-4 (ML,OL,CL,SM,SC)	7.0 - 12.0	10	8 - 10 - 12
A-5 (OH,MH,ML,OL)	8.0 - 13.0	10	8 - 10 - 12
A-6	9.0 - 15.0	12	10 - 12 - 14

MÉTODO DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE EMPLEADO

De acuerdo con la Norma Mexicana NOM-C-36-1983: ‘La máquina de prueba debería estar equipada con dos bloques de acero, cuya dureza Rockwell C, no sea menor de 60 y de dureza Brinell N 620; una de las cuales tendría asiento esférico que transmita la carga a la superficie de la probeta, y el otro en un bloque plano rígido en el cual se destacó la probeta’. ‘Las superficies de los bloques y placas de carga no deberían diferir de un plano en más de 0.025mm en cualquiera de las dimensiones y en 152.4mm en el centro de la esfera del bloque superior, deberían coincidir con el centro de la carga. Si se usara placa de carga, el centro de la esfera debería caer en una línea que pasará verticalmente en el centroide de la carga de la probeta’. ‘El bloque con asiento esférico debería mantenerse fijo en su sitio, esto obligaría a girarlo ligeramente en cualquier dirección. El diámetro de la cara de la carga de los bloques debería entonces ser cuando menos de 16cm. Cuando se emplearan placas de acero entre los bloques de carga y la probeta, éstos deberían tener un espesor igual, por lo menos de la tercera parte de la distancia de la orilla del bloque de carga a la esquina más distante de la probeta’.

De acuerdo con dicha norma, para hacer la prueba de resistencia a la compresión simple, se colocó la probeta con el centroide de su superficie para recibir una carga alineada de manera vertical con el centro del bloque de carga de la máquina de prueba con las características que se describieron. Una vez colocada la probeta, se aplicó la mitad de la carga que se esperaba como máximo a una velocidad conveniente para posteriormente ajustar los controles de la máquina y dar una velocidad uniforme de traslado de la cabeza móvil, de tal manera que el resto de la carga no fuera aplicada en menos de un minuto ni en más de dos. Para calcular los resultados se tomó la carga máxima en kilos y se dividió entre el área trasversal de la probeta, siendo ésta la medida total de una sección perpendicular a la dirección de la carga, incluyendo los huecos, a menos de que éstos estuvieran ocupados por porciones de unidades adyacentes.

También se pudo obtener la resistencia a la compresión al área neta, calculándola de la siguiente manera:

$$AN = At - Ah$$

Donde:

An = área neta

At = área total de la superficie de la carga

Ah = área de los huecos

MÉTODO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN

Según la Norma Mexicana NMX-C-6-1976, la resistencia a la compresión simple debía de ser como mínimo para tabiques MqM-D de 75kg/cm^2 , en promedio de cinco piezas y de 60kg/cm^2 de forma individual.

En la presente fase del proyecto de investigación se determinó el porcentaje de Absorción Volumétrica de dos grupos de bloques de tierra comprimida: unos estabilizados con cemento Portland y otros con cal. El estudio se sustentó en la metodología planteada en la normatividad mexicana dirigida hacia el diseño y control de mamposterías en general producidas por la 'Industria de la Construcción, Concreto, Bloques, Ladrillos o Tabiques y Tabicones' (NMX-C-037, NMX-C-006 y NMX-C-010) debido a que, hasta la fecha, no se cuenta con normas específicas para el diseño de bloques de tierra comprimida (BTC), carencia que se pretende subsanar a partir de estudios como el que es motivo de la presente experiencia.

Los aparatos y equipo utilizados fueron:

- Balanza con capacidad adecuada y sensibilidad no menor de 0.1 % de la masa de la pieza ensayada, provista de un sistema que permite la determinación de la masa de especímenes sumergidos.
- Horno con control de temperatura capaz de mantenerse entre 373 y 383 °K (100 y 110 °C).

Se realizaron dos lotes de bloques de tierra comprimida (BTC) de dimensiones 0.10 x 0.14 x 0.29cm con una prensa Cínva Ram. La tierra utilizada contenía 40 % de arcilla y presentaba un índice de plasticidad del 12%, un límite líquido del 32%, un límite plástico del 20 %, con un peso volumétrico seco máximo de 1820 kg/m^3 .

El primero de los dos lotes estaba estabilizado con 7 % hidróxido de calcio en polvo marca Calidra y el segundo con 6 % de cemento Portland marca Cemex. El muestreo de las piezas a probar fue aleatorio, de acuerdo con lo que marcan las Normas NMX-C-006 y NMX-C-010 habiéndose determinado elegir 10 piezas de cada uno de los dos lotes, para la determinación de agua absorbida. Los especímenes se secaron en el horno a temperatura entre 373 y 383 °K (100 y 110 °C) repitiendo el proceso periódicamente para ser pesados.

El procedimiento se dio por concluido en el momento en que, después de dos pesadas sucesivas, la diferencia en masa no fue mayor al 1 %, lo que indicaba una presencia de agua que podría considerarse despreciable. Se registró el valor de la masa (Ms) y se tabuló como primer dato.

Posteriormente se registraron las masas de los especímenes ya secos y se sumergieron por completo en agua a temperatura entre 290 y 296 °K (17 y 23 °C) por un período de 24 horas. Pasado este lapso se sacaron las piezas y se eliminó el agua superficial con un paño absorbente, para volver a determinar su masa en estado saturado (Msss).

FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES

El proceso de fabricación se inicia con la selección y caracterización del suelo. Al no encontrar un suelo con las características ideales en la zona de estudio, se decidió fabricar uno con la mezcla de una arcilla de baja plasticidad CL (60 %) y una arena limosa (40 %), incorporándole un primer estabilizante de 3, 5 y 7 % de cal en polvo y 6 y 8 % de cemento.

La Tabla 4 muestra las proporciones de los diversos materiales para producir 14 bloques de 14 x 28 x 10 cm estabilizados con cal y en la Tabla 5 los estabilizados con cemento.

Tabla 4. Proporciones de material para la fabricación de BTC estabilizados con cal

Material	Cantidad	Unidad
Arcilla de baja plasticidad	21.00	Kg
Arena limosa	23.00	Kg
Agua	6.00	Lts.
Cal 3%	1.33	Kg
Cal 5%	2.22	Kg
Cal 7%	3.10	Kg

Tabla 5. Proporciones de material para la fabricación de BTC estabilizados con cemento

Material	Cantidad	Unidad
Arcilla de baja plasticidad	21.00	Kg
Arena limosa	23.00	Kg
Agua	6.00	Lts.
Cemento 6%	2.64	Kg
Cemento 8%	3.52	Kg

RESULTADOS

En la Tabla 6, se muestran los resultados de la prueba a compresión simple de los BTC estabilizados con cal al 3, 5 y 7 % y, en la Tabla 7, se muestran los resultados de los BTC estabilizados con cemento CPO-20 al 6 y 8 %.

Tabla 6. Resultados de prueba a compresión simple, BTC estabilizados con cal 3,5 y 7 %

RESULTADOS DE BTC ESTABILIZADOS CON CAL AL 3, 5 y 7% EN POLVO				
No. DE ESPECÍMENES POR POBLACIÓN = 10				
EDAD DE LOS ESPECÍMENES AL REALIZAR LA PRUEBA: 15 DÍAS				
POBLACIÓN CON CAL EN POLVO				
No .	ÁREA	RESISTENCIA en Kg/cm ²		
		3%	5%	7%
1	0.0392	41.84	46.17	86.22
2	0.0392	52.04	45.15	64.03
3	0.0392	51.02	48.47	76.02
4	0.0392	44.90	47.19	77.30
5	0.0392	42.86	50.77	89.29
6	0.0392	43.88	48.21	62.24
7	0.0392	47.70	52.55	85.71
8	0.0392	50.77	64.54	82.91
9	0.0392	51.28	61.73	93.62
10	0.0392	40.82	59.44	79.34
	promedio	46.71	52.42	79.67

Tabla 7. Resultado de prueba a compresión simple BTC estabilizado con cemento 6 y 8 %

RESULTADOS DE BTC ESTABILIZADOS CON CEMENTO AL 6 y 8%			
No. DE ESPECÍMENES POR POBLACIÓN = 19			
EDAD DE LOS ESPECÍMENES AL REALIZAR LA PRUEBA: 15 DÍAS			
POBLACIÓN CON CEMENTO			
No .	ÁREA	RESISTENCIA en Kg/cm ²	
		6%	8%
1	0.0392	36.99	63.77
2	0.0392	36.99	68.88
3	0.0392	40.81	84.14
4	0.0392	43.36	76.56
5	0.0392	40.81	86.73
6	0.0392	39.54	77.08
7	0.0392	28.06	76.53
8	0.0392	45.95	76.53
9	0.0392	51.06	76.53
10	0.0392	56.12	76.53
	promedio	41.96	76.32

Tabla 8. Resultados de absorción de BTC estabilizados con 6% de cemento CPO

Masa seca (kg) Ms	Masa saturada (kg) Msss	Peso ahogado (kg) Pa	Volumen de agua absorbida (dm³/m³) A
7.651	8.109	1.836	7.30
7.602	8.056	1.824	7.29
7.721	8.153	1.853	6.86
7.568	8.186	1.816	9.70
7.689	8.167	1.845	7.56
7.573	8.251	1.818	10.54
7.684	8.354	1.844	10.29
7.732	8.345	1.856	9.45
7.741	8.459	1.858	10.88
7.577	8.789	1.818	17.39
Promedio			9.72

Tabla 9. Resultados de absorción de BTC estabilizados con 7 % de cal

Masa seca (kg) Ms	Masa saturada (kg) Msss	Agua absorbida (kg)	Absorción (%)
6.960	7.767	0.807	11.59
6.791	7.563	0.772	11.37
6.864	7.645	0.781	11.38
6.814	7.596	0.782	11.48
7.010	7.782	0.772	11.01
6.608	7.603	0.995	15.06
6.745	7.564	0.819	12.14
6.770	7.425	0.655	9.68
6.755	7.568	0.813	12.04
6.698	7.470	0.772	11.53
Promedio			11.73

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, es posible plantear las siguientes conclusiones.

1. La capacidad de carga de los BTC estabilizados con cal alcanza resultados similares que la estabilización con cemento. Incluso en este caso, la resistencia obtenida con la cal fue 1.67 % en promedio mayor que la del cemento.
2. La mayor resistencia a la compresión fue de 93.62 Kg/cm² en la población de BTC estabilizados con 7 % de cal y ésta fue superior en un 7.94 % con respecto a la máxima resistencia obtenida en lo BTC estabilizados con 8% de cemento.

3. El uso de la cal en nuestro país es más económico ya que un kilo tiene un costo actual de \$4.00 pesos mientras que el cemento cuesta \$6.00 pesos. Además, la cantidad requerida para estabilizar los BTC con cal es menor que con cemento. En el caso de la cal, el consumo máximo fue de 0.221 gramos por pieza, equivalentes a \$ 0.88 pesos, contra el consumo de cemento que fue de 0.251 gramos por pieza, que arrojan un costo de \$1.51 pesos. Esto significa que producir BTC estabilizados con cemento resulta 171 % más caro que utilizando cal.
4. Finalmente, dado que la producción de cal requiere de 3.4 Mj/Kg (Arguello, 2008) y la del cemento de 4.31 Mj/Kg (Gilisagasti, 2000) de energía incorporada, desde el punto de vista ambiental la cal es más eficiente. Además, como se documentó en las Tablas 1 y 2, la elaboración de cemento genera 169.5 % más toneladas de CO₂ que la cal. A este dato habría que agregar el problema asociado a la alta contaminación ambiental generada con la producción de cemento, con la que se arrojan a la atmósfera grandes cantidades de gases, tanto de efecto invernadero, como otros que resultan dañinos para la salud en forma directa.
5. De este modo, resulta evidente que la cal incrementa la resistencia de las estructuras de tierra cruda en un rango equivalente al del cemento pero con destacadas ventajas ecológicas, por lo que se convierte en una gran aliada para la elaboración de bloques de tierra comprimida, en el camino hacia el desarrollo de una arquitectura más amable con el medio ambiente.
6. El primer dato destacable de la serie de pruebas realizadas indica que los dos procesos de estabilización comparados, elevan radicalmente la resistencia de los bloques de tierra comprimida (BTC). Para esta prueba resultó imposible incluir muestras ‘testigo’ realizadas con tierra sin estabilizar debido a que el barro que los conformaba se desintegró al poco tiempo de estar sumergido. En cambio, los BTC estabilizados no presentaron pérdida de masa, ni deformación alguna al término de la prueba de absorción.
7. Es un hecho que los BTC estabilizados con hidróxido de calcio absorben en promedio un 11.73 % más agua que los bloques con cemento. Esto puede significar que los primeros presentan una porosidad relativa mayor que los segundos. Sin embargo, aunque este hecho bien puede resultar perjudicial por la cantidad de agua contenida en un momento determinado, también podría indicar que son potencialmente más rápidos de secarse al estar en contacto con el medio ambiente, hecho que se ha de comprobar en experimentos subsiguientes.
8. Los resultados obtenidos referentes al porcentaje de absorción de agua de los BTC se encuentran dentro del rango de los ladrillos denominados MqM del Grado de Calidad ‘C’ según la Tabla 3 de la NMX-C-006-1976, la cual indica que el promedio de absorción es de 16 %.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade (1997). *Manual de estabilización de suelos con cal*. Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España, Madrid.
- Arenas, F. J. (03 de 03 de 2008). *Los materiales de construcción y el medio ambiente*. Consultado el 08 de 04 de 2011, en http://huespedes.cica.es/aliens/gimadus/17/03_materiales.html
- Fernández, C. (1992). *Mejoramiento y estabilización de suelos*, Limusa, México.
- Gilisagasti, N., y Elorza, E. (2000). *Cemento*. Universidad del País Vasco. Gipuzkoa.
- Eades, J.L. y Grim, R.E., (1966). “A quick test to determine lime requirements for lime stabilization”. Highway Res. Rec. Bull. No. 139.

- Guerrero, L. (2005). "Lime in the construction and restoration of the Mexican architectural heritage". *Lime: Technical advances for conservation and case studies*, Consejo de Monumentos Nacionales, Santiago de Chile.
- Guerrero, L. (2006). "Aplicación de la cal en estructuras tradicionales de tierra". *Anuario de Investigación sobre Diseño Sustentable*, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico.
- Guerrero, L. (2008). "La cal y el patrimonio edificado". *La Gaceta del Instituto del Patrimonio Cultural*, No. 12, Abril, Oaxaca.
- Juárez, E. y; Rico, A. (1975). *Mecánica de suelos, tomo I, fundamentos de la mecánica de suelos*. Limusa, México.
- Longoria, R., López, M. G. y Lagunas, E. (2002), *Inventario de Gases de Efecto Invernadero 2002*, México: INE. http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/inegei_2002_pis.pdf
- PNUMA - OMM. (1996). *Libro de trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim., K. Tréanton, Londres.
- Roux, R. (1990). *Utilización del material adobe para la vivienda popular en la zona conurbada de la desembocadura del río Pánuco*. Facultad de Arquitectura de la U.A.T., Tampico.
- Roux, R. (2010). *Los Bloques de Tierra Comprimida en Zonas Húmedas*. Plaza y Valdés, México.
- Sampedro, Á., (2005). *Tratamientos de suelos con cal*, ANCADE, Madrid.
- SECOFI, D.G.N. (1983). *Norma oficial mexicana, NMX-C-036-1983. Industria de la construcción –ladrillo, bloques y adoquines de concreto- resistencia a la compresión simple –método de prueba*. Dirección General de Normas de la SECOFI, Naucalpan.
- SECOFI, D.G.N. (1986). *Norma oficial mexicana, NMX-C-010-1986. Industria de la construcción – concreto, bloques, ladrillos, tabiques y tabicones*. Dirección General de Normas de la SECOFI, México.
- SECOFI, D.G.N. (1986). *Norma oficial mexicana, NMX-C-037-1986. Industria de la construcción –concreto - bloques – ladrillos o tabicones de concreto- determinación de la absorción de agua*. Dirección General de Normas de la SECOFI, México.
- Suppen, H. (2008). *Análisis del ciclo de vida de materiales para la vivienda de interés social en México.*, DF: CADIS, SA de CV, México.