

# Las raíces iniciales del cemento (Yeso)

Luke M. Snell y Bille G. Snell  
Concrete International, Febrero 2000, pp 83-85

Cuando la mayoría de nosotros piensa en construcción de albañilería imaginamos a un albañil colocando bloques o ladrillos en una cama de morteros. El mortero está confeccionado con cemento, cal, arena y agua para adherir los ladrillos o bloques unos a otros. La construcción terminada es un muro en una amplia variedad de estructuras.

El primer proyecto importante de albañilería en el mundo fue muy diferente a la construcción actual. Hace aproximadamente 4500 años los ingenieros y constructores egipcios construyeron las pirámides. Estas son las únicas Antiguas Maravillas del Mundo que existen y están intactas; ellas nos intrigan y especulamos acerca de cómo fueron construidas.

Es obvio que las pirámides no son como la mayoría de las construcciones. La Gran Pirámide tiene una base de 928 metros y su altura es de 148 metros. El tamaño de los bloques varía entre 1.800 y 45.000 kg. Los constructores no tenían grúas y tecles para manejar estas grandes masas. La mayoría de los historiadores son de la opinión que el equipo usado para mover estos bloques al lugar de colocación incluía cuñas, palancas, planos inclinados, poleas y rastras. Los bloques exteriores eran cortados de tal manera que cuando fueron colocados, el espacio entre ellos podía ser de hasta 0,5 mm.

El peso de los bloques y la forma de las pirámides hacía que el mortero no tuviera importancia como aglomerante de los bloques para obtener una masa continua. Básicamente, la estructura se mantiene unida por la fuerza de gravedad y el diseño de las pirámides.

## Uso del mortero en la construcción de las pirámides.

Se ha analizado muchos de los morteros usados en la Gran Pirámide y los análisis típicos indican lo siguiente:

Material	%
Yeso	70 a 90
Carbonato de calcio (caliza)	80 a 17
Arena	2 a 8

Un investigador analizó muestras de mortero de la Esfinge y de Giza y Karnak. Los resultados mostraron una variación más amplia:

<b>Material</b>	<b>Máximo, %</b>	<b>Mínimo, %</b>
Yeso	90	23
Carbonato de calcio (caliza)	72	1
Arena	26	2

## **“LA PREGUNTA ES ENTONCES: ¿PORQUÉ LOS EGIPCIOS USARON UN RELATIVAMENTE DÉBIL MORTERO QUE SE IBA A DETERIORAR**

Básicamente, la mayoría de los morteros parecen ser yeso procesado que tenía trazas de arena y caliza en el mineral. El yeso es muy abundante en Egipto y está disponible de dos fuentes. Puede ser extraído de formaciones rocosas (en muchas zonas del país) o puede ser encontrados en muchas zonas dispersas justo debajo de la superficie. En ambos casos, el yeso tiene pequeños porcentajes de arena y caliza lo sustente el concepto de que el yeso fue usado tal cual fue procesado. La arena y la caliza no fueron agregados sino que eran “contaminantes” del yeso procesado.

### **Propiedades del yeso**

Actualmente el yeso no es usado como mortero. Tiene relativamente baja resistencia y se deteriora en clima húmedo. Los autores confeccionaron un mortero similar a aquel usado en las pirámides, compuesto por un 85% de yeso procesado (yeso de París), 5% de arena, 10% de caliza y una razón agua/yeso de 0,6. La resistencia a 7 días fue de 18 MPa; cuando el curado fue bajo agua (1 día en el molde, 6 días en curado húmedo) fue de 9 MPa. Estas resistencias podrían ser mucho más altas que las alcanzadas por los egipcios.

Los autores usaron un fino yeso de París, que es una forma pura de yeso, procesado para hacerlo muy reactivo. El experimento mostró que el mortero perdió el 49% de su resistencia con un curado húmedo de 6 días. Esto podría indicar que el mortero de yeso podría no ser aceptable como mortero en ambiente húmedo. Para la construcción egipcia, en particular en la zona desértica donde se construyeron las pirámides, el mortero de yeso podría, obviamente, funcionar.

Egipto tiene muchas canteras de caliza y podrían haber desarrollado un muy superior mortero de cal, pero no hay evidencia del uso en Egipto de mortero de cal hasta la segunda centuria antes de Cristo o, aproximadamente, 2500 años después que las pirámides habían sido construidas. La pregunta es entonces: ¿porqué los egipcios usaron un relativamente débil mortero que se iba a deteriorar en clima húmedo?. No obstante que no hay registros escritos que expliquen por que se usó mortero de yeso, hay varias pistas disponibles.



**Foto que muestra la perdurable belleza de las pirámides**

El yeso es un mineral relativamente fácil de explotar y químicamente es conocido como sulfato de calcio hidratado. Cuando es calentado a aproximadamente 130°C, parte del agua es extraída, tal como se muestra:



$\Delta$  Temperatura: 135 a 175 °C

Cuando se combina con agua, se restablece una estructura cristalina de sulfato de calcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Esto era el mortero usado en las pirámides. Egipto tiene pocos combustibles naturales disponibles. Sin embargo la temperatura de 130 °C que se necesitan para procesar el yeso puede ser fácilmente obtenida con fuego abierto. Para hacer cal es necesario se requiere temperaturas superiores a 1000 °C. Muchos historiadores especulan que ésta fue una de las razones por lo que no fue desarrollada la elaboración de cal. La escasez de combustible hacía que el mortero de cal no fuera económico, aparte del hecho de que el mortero de yeso fue aparentemente exitoso.

Como se dijo anteriormente, el mortero no era necesario para aglomerar los bloques. Sin embargo, el mortero jugó un papel crítico en la construcción de las pirámides. La razón clave del mortero parece que fue ser usado para “enmantequillar” las uniones y para reducir la fricción cuando los bloques eran movidos a su lugar de colocación. Un simple experimento realizado por los autores mostró que cuando se usa mortero de yeso la fuerza para mover un bloque se reduce aproximadamente a la mitad (ver Fig. 1).

Usando una balanza de tensión, se midió la fuerza tirando un bloque de hormigón hasta dejarlo en posición. El experimento fue repetido usando mortero de yeso entre los bloques (Es posible que variando la mezcla la fuerza pueda reducirse más aún). El concepto de usar mortero de yeso para “enmantecillar” la junta parece un sano juicio de ingeniería.



**Fig 1 -- Un simple experimento que muestra que la fricción entre bloques de hormigón se reduce en más de 50% si se usa mortero de yeso.**

Uno de los primeros usos del yeso fue como mortero, como parte de la construcción de las pirámides egipcias, que son uno de los mayores y más antiguos proyectos de construcción que aún existen. El tamaño y la forma de esas estructuras hacen que el mortero tenga poca importancia para el producto final. Sin embargo, durante la construcción de la pirámide el mortero hizo que la construcción fuera más factible. Los ingenieros y constructores egipcios desarrollaron el mortero ideal para la última maravilla estructural que hoy día continuamos apreciando.

### **Bibliografía**

- Anónimo, “Pyramid Construction”, 1998, <http://www.civilization.ca/membrs/civiliz/egypt/egcal2e.html>
- Anónimo, “The Pyramids: Design and Construction”, 1996, <http://www.interoz.com/egypt/construction/index.html>
- Bates, R.L., 1969, “Geology of the Industrial Rocks and Minerals”, Dover Publications, Nueva York, pp. 201-204
- Clarke, S y Engelbach, R., 1990, “Ancient Egyptian Construction and Architecture”, Dover Publications, Nueva York, pp. 71, 76-83
- Daumas, M (Traducido por Hennessy, E), 1969, “A History of Technology and Invention, Crown Publishers, Nueva York, pp 157
- Harrell, J. A. y Brown, V. M., “Ancient Egyptian Softstone Quarries”, <http://www.geology/utoledo.edu/research/archaeology/geoarc4.html>
- Harrell, J. A. y Brown, V. M., “Topographical and Petrological Survey of Ancient Egyptian Quarries”, <http://www.geology/utoledo.edu/research/archaeology/geoarc2.html>
- Lucas, A. y Harris, J.R., “Ancient Egyptian Materials and Industries”, Edward Arnold, Londres, pp 74-79, 469-482
- Napier, J., 1879, “Manufacturing Arts in Ancient Times”, Alexander Gardner, Paisley, pp 330-335
- Olin, H.B.; Schmidt, J.L. y Lewis, W. H., 1980, “Construction, Principles, Materials and Methods”, The Institute of Financial Education, Chicago and Interstate Printer and Publishers, Danville, pp 218.2 – 218.5

- Pratt, D., 1997, "The Great Pyramid", <http://ourworld.compuserve.com/homepages/dp5/pyramid.html>
- Singer, C; Holmyard, E.J. y Hall, A.R., 1965, "A History of Technology", Oxford University Press, London, Capítulo 17.
- Skinner, B.J., 1976, "Earth Resources", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, pp 122-123.
- Smith, C.B., Junio 1999, "Program Management B. C.", Civil Engineering, V. 69, N°6, pp 34-41
- Zajac, J., 1995, "The Great Pyramid: A Dreamland Report", <http://www.europa.com/edge/pyramid.html>