

# Gráficas de comportamiento esfuerzo-deformación de materiales de construcción obtenidas de estudios experimentales

Bladimir Gerónimo Salvador  
Universidad Autónoma de Guerrero  
Lázaro Cárdenas, S/N CU, C.P. 39070  
Chilpancingo de los Bravo, México  
+ 52 (747), 176 1481  
bladimirgeronimo@gmail.com

Raziel Barragán Trinidad  
Universidad Autónoma de Guerrero  
Lázaro Cárdenas, S/N CU, C.P. 39070  
Chilpancingo de los Bravo, México  
+ 52 (747), 131 4582  
13677@uagro.mx

Alfredo Cuevas Sandoval  
Universidad Autónoma de Guerrero  
Lázaro Cárdenas, S/N CU, C.P. 39070  
Chilpancingo de los Bravo, México  
+ 52 (747), 110 0179  
acuevas36@hotmail.com

Mateo Sánchez Calvo  
Universidad Autónoma de Guerrero  
Lázaro Cárdenas, S/N CU, C.P. 39070  
Chilpancingo de los Bravo, México  
+ 52 (747), 529 4181  
msanchezc@uagro.mx

## RESUMEN

Se presentan estudios desarrollados principalmente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero sobre las propiedades mecánicas de materiales de construcción. Se particulariza la revisión en analizar curvas esfuerzo-deformación del acero común (en forma de barras corrugadas, grado 42), mortero tipo I (resistencia a compresión mayor a 125 kg/cm<sup>2</sup>), concreto clase II (peso volumétrico en estado fresco mayor a 2200 kg/m<sup>3</sup> y resistencia a compresión mayor o igual a 250 kg/cm<sup>2</sup>) y mampostería (a base de tabique rojo, tabicón pesado, tabicón ligero y block hueco). Como resultado se obtienen curvas representativas de materiales de construcción con la finalidad de comparar sus propiedades mecánicas mediante el comportamiento de dichas gráficas.

## Palabras reservadas

Materiales de construcción, gráfica esfuerzo-deformación, acero, concreto, mortero, mampostería

## INTRODUCCIÓN

En las zonas de alta sismicidad de los estados del pacífico mexicano, es importante determinar con certeza las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen las obras de infraestructura física. Los ingenieros estructuristas coinciden que el comportamiento global estructural ante fenómenos de tipo accidental, como los sismos, depende de la calidad de los materiales de construcción, sobre todo del comportamiento de estos materiales reflejado en gráficas esfuerzo-deformación.

Para la construcción de infraestructura a nivel material se emplean piedras naturales, piezas de mampostería, agregados (grava, arena), madera, cementantes y acero. La unión entre ellos da lugar a estructuras de acero, concreto reforzado, mampostería y madera. Por lo general, las dos primeras modalidades conllevan un procedimiento completo en cuanto al diseño estructural, debido a su empleo en estructuras catalogadas de importancia por los

reglamentos de construcción (hospitales, escuelas, puentes, edificios públicos); en contraparte la madera y la mampostería se emplean para estructuras destinadas a viviendas uni o multifamiliares de mediana a baja altura, donde en el mayor de los casos se recurre a la autoconstrucción.

Una obra (puente, carretera, presa, edificio, torre, etc.) debe diseñarse para resistir a cierto nivel, la combinación más desfavorable de acciones que pueda presentarse durante su vida útil. Por ello la importancia de considerar los efectos locales, tales como vientos, mareas y sismos, así como las gráficas esfuerzo-deformación de los materiales de construcción, necesarias para la modelación, análisis y diseño estructural.

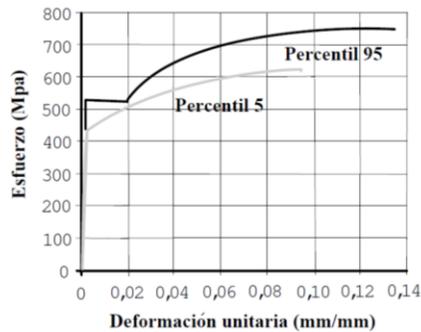
## CAPITULO 1. - ACERO

En la industria de la construcción se emplea acero en diferentes presentaciones, siendo las más comunes: barras corrugadas (con esfuerzo de fluencia,  $f_y$ , igual a 4200 kg/cm<sup>2</sup>), barras lisas ( $f_y=2100$  kg/cm<sup>2</sup>), mallas de acero, perfiles, placas y acero en forma de torones, remaches, pernos, tuercas y rondadas para diferentes usos. La diferencia entre ellos radica en sus propiedades físicas y mecánicas, las cuales son producto tanto del proceso de producción y de la composición de los elementos que los constituyen, lo cual conlleva a gráficas esfuerzo-deformación para cada tipo de acero.

La composición y propiedades del acero varían ampliamente (existen más de 3500 aleaciones de acero). Se producen diferentes tipos de acero de acuerdo con las propiedades requeridas para su aplicación. Se debe de considerar que a medida que se incrementa la resistencia del acero se reduce su ductilidad sin variar la elasticidad. Por ser un material de producción industrializada y controlada, las propiedades estructurales del acero (para un mismo tipo) tienen generalmente poca variabilidad.

En la Figura 1 se presenta una curva esfuerzo-deformación representativa de las propiedades mecánicas del acero, producto del

ensaye de 477 probetas de siete marcas y diámetros (diámetros de varillas: 3/8", 1/2", 5/8", 3/4", 7/8" y 1") producidos en Colombia. Del análisis estadístico para el total de varillas, los valores mínimo y máximo para el esfuerzo de fluencia resultaron de 4285 y 5498 kg/cm<sup>2</sup>, lo que sugiere que se lleva un control de calidad adecuado (González, 2005).



**Figura 1. Curva esfuerzo-deformación de acero grado 42 en forma de barras corrugadas (González, 2005)**

## CAPITULO 2. - MORTERO Y CONCRETO SIMPLE

Alonso (2013), determinó la variación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad del concreto en función de las condiciones de cabeceo de probetas cilíndricas. Empleó seis especímenes de 10 x 20 cm y veinte de 15 x 30 cm, para diámetro y altura respectivamente. Se emplearon azufre, membranas de neopreno, piel de gamuza y sin cabeceo, como materiales de cabeceo de probetas de concreto.

Los materiales empleados en el programa experimental fueron: cemento hidráulico marca CEMEX CPC 30R adquirido en casa comercial local dos días antes de su empleo en la elaboración del concreto, arena del banco Mezcala (municipio de Eduardo Neri, Guerrero) y grava obtenida de la trituradora de los "Alarcón" ubicada a la altura del cruce a Chichihualco, Guerrero. Las propiedades físicas de los agregados pétreos se determinaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero, FI-UAGro, conforme a las normas correspondientes (Tabla 1).

**Tabla 1. Propiedades físicas de agregados pétreos (Alonso, 2013)**

Prueba	Arena	Grava
Peso volumétrico suelto seco	1533.68 kg/m <sup>3</sup>	1464.48 kg/m <sup>3</sup>
Peso volumétrico compactado seco	1621.08 kg/m <sup>3</sup>	1660.77 kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente	2.51 gr/cm <sup>3</sup>	2.66 gr/cm <sup>3</sup>
Prueba de absorción	2.61%	1.19%
Módulo de finura	2.84	-
Lavado en malla 200	1.53%	-
Impurezas orgánicas	Negativo	-

Para el diseño de mezcla se empleó el Método de Volúmenes Absolutos, la cual se elaboró mediante una revoladora de gasolina de un saco de capacidad. Se realizaron las pruebas al concreto en

estado fresco: temperatura, revenimiento y peso volumétrico. En la Figura 2 se muestra el proceso de obtención de probetas cilíndricas.



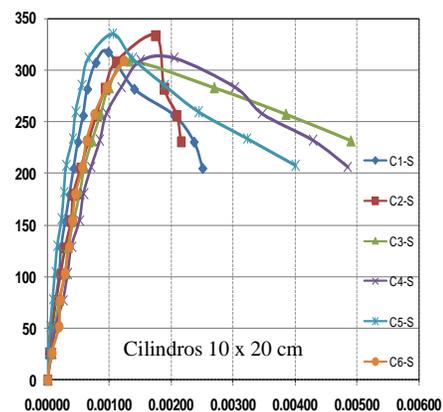
**Figura 2. Elaboración de cilindros de concreto (Alonso, 2013)**

Los cilindros fueron sometidos a un proceso de curado mediante inmersión total en agua durante 28 días. Para el desarrollo de la prueba se empleó una prensa para ensaye a compresión manual, de la empresa SOILTEST, marca ELE INTERNATIONAL, modelo 36-0657. Todos los especímenes se ensayaron a los 50 días posteriores al colado, para lo cual las muestras se instrumentaron con tres micrómetros con la finalidad de obtener gráficas esfuerzo-deformación (Figura 3).



**Figura 3. Ensayo a compresión simple**

En la Figura 4 se presentan las gráficas esfuerzo-deformación para los cilindros de concreto para las muestras cabeceadas con azufre. La Figura 5 presenta la gráfica promedio esfuerzo-deformación, así como una curva de tendencia de tipo polinómica de grado dos, para cilindros de 15 x 30 cm.



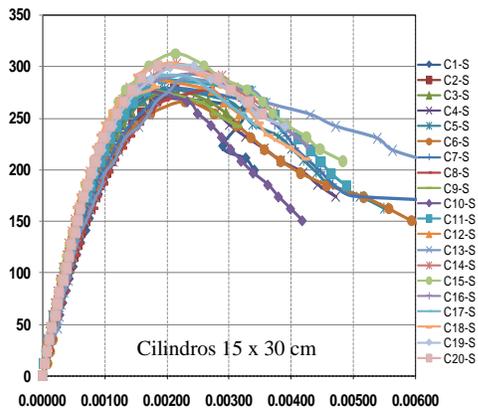


Figura 4. Gráficas esfuerzo-deformación de cilindros de concreto

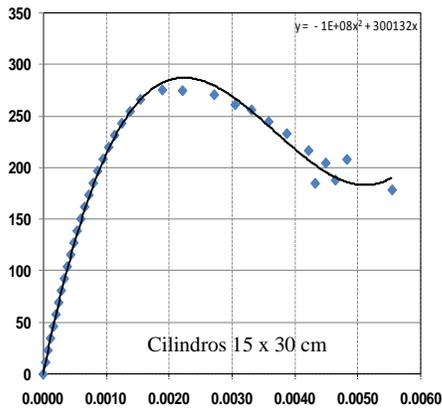


Figura 5. Gráfica promedio esfuerzo-deformación

Contreras y Hernández (2012) determinaron las propiedades mecánicas de la mampostería a base de piezas de tabique rojo recocido, tabicón ligero, tabicón pesado y block hueco. En la etapa experimental elaboraron morteros cemento-arena con una proporción volumétrica 1:3.

Para evitar el efecto del clima en la elaboración del mortero, todas las mezclas fueron elaboradas al interior del Laboratorio de Estructuras de la FI-UAGro durante cuatro días (bajo sombra y sin corrientes fuertes de aire). Adicionalmente, las proporciones fueron cuidadosamente medidas y proporcionadas para su mezcla, así el albañil no agregó ni quitó cantidad alguna de los materiales.

Se empleó una mesa de fluidez manual para realizar la prueba a una mezcla del total de las elaboradas en un día (por lo general 5 o 6 mezclas de mortero diarias). El valor promedio de la prueba de fluidez fue 130.54%, y con valores mínimo y máximo de 120.75 y 141.43% y respectivamente.

Para el muestreo del mortero se contó con tres moldes de tres probetas cúbicas cada uno y 6 cilindros de 10 x 20 cm (diámetro x altura). En los cuatro días de construcción de pilas y muretes de mampostería se obtuvieron 36 cubos y 24 cilindros de mortero, de los cuales ninguno se sometió a proceso de curado en agua, se mantuvieron en un espacio seco, cubierto y ventilado hasta la fecha del ensaye.

Previo al ensaye de las probetas, se determinaron para cada una de las dimensiones y su peso. Los cubos y cilindros de mortero se ensayaron a compresión a los 50 y 120 días, posterior a su elaboración (Figura 6).



Figura 6. Probetas de mortero en máquina de ensaye a compresión

En la prueba de compresión de cilindros de mortero se obtuvo tanto la resistencia a compresión como el módulo de elasticidad, los resultados se agrupan en gráficas esfuerzo-deformación para probetas con uno y dos sensores (Figura 7).

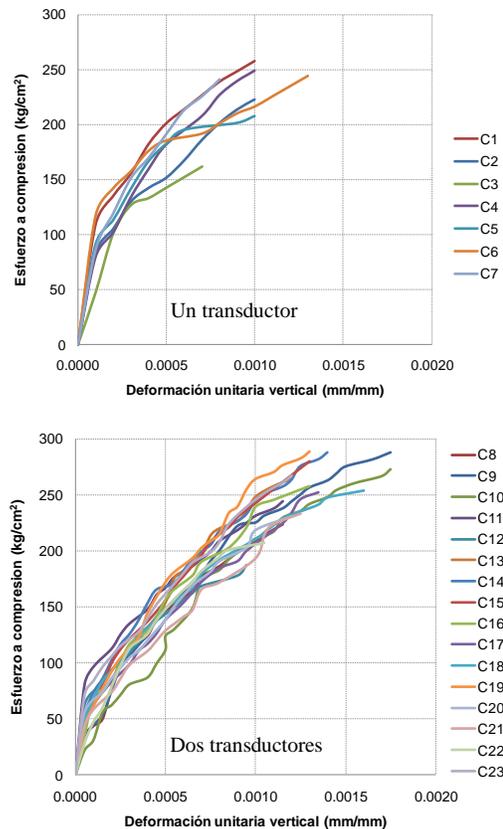


Figura 7. Gráficas esfuerzo-deformación de cilindros de mortero

### CAPITULO 3. - PIEZAS Y MAMPOSTERÍA

Contreras y Hernández (2012) determinaron las propiedades mecánicas de la mampostería de piezas de tabique rojo, tabicón ligero, tabicón pesado y block hueco para productores de la capital

del estado de Guerrero. La arena se adquirió del río Mezcala, que al determinar sus propiedades físicas en el Laboratorio de Materiales de la FI-UAGro conforme a las normas correspondientes, se obtuvieron los valores de la Tabla 2.

**Tabla 2. Resumen de las propiedades físicas del agregado fino**

Prueba	Resultado
Contenido de humedad	0.25%
Peso volumétrico suelto seco	1519.17 kg/m <sup>3</sup>
Peso volumétrico compactado seco	1594.52 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de finura	2.13 (muy fina)
Material que pasa la malla número 200	1.31%
Impurezas orgánicas en el agregado fino	Negativo
Densidad aparente (frasco de Chapman)	2.44 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	1.40%

La adquisición de todas las piezas obedeció a imitar lo que generalmente ocurre en la realidad, buscar la mejor opción económica. La Tabla 3 resume las propiedades físicas y mecánicas de los tipos de piezas empleadas en el presente trabajo experimental.

**Tabla 3. Resumen de propiedades de piezas de mampostería**

Pieza	$\gamma_p$ kg/m <sup>3</sup>	Abs %	$f'_p$ cv	$f'_r$ cv
Tabique rojo recocido	1158.55	21.5	31.19 23	5.00 23
Tabicón ligero	1184.05	20.2	21.14 31	3.40 46
Tabicón pesado	1915.25	5.1	31.24 32	11.45 20
Block hueco	2049.36	7.17	10.02 35	

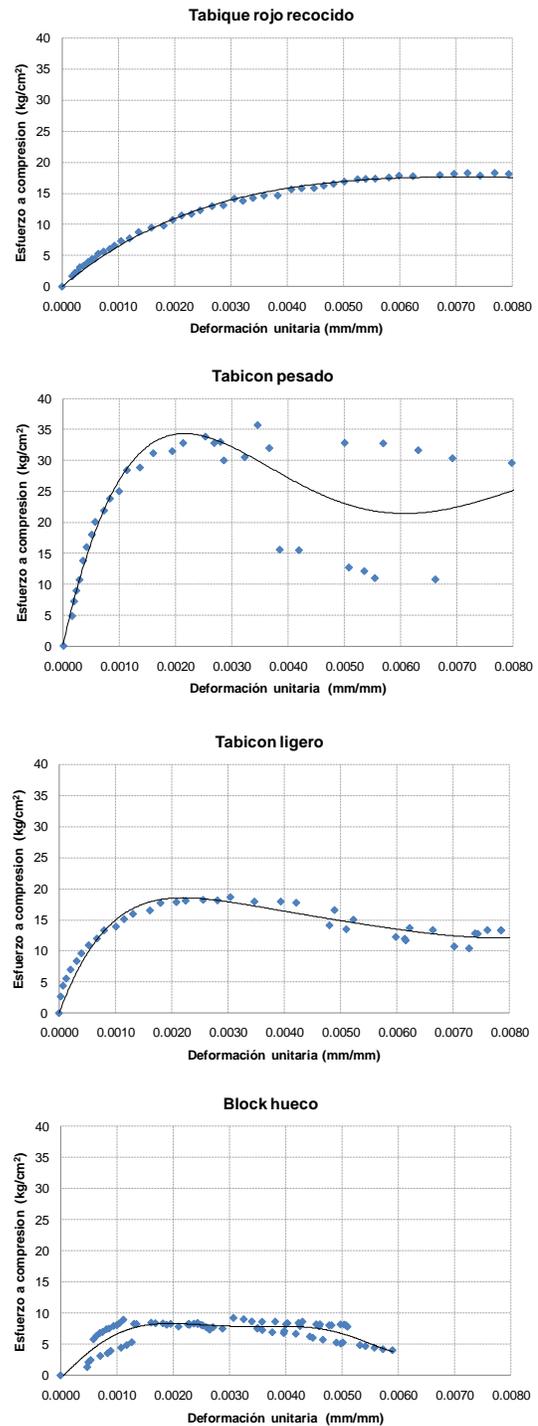
Nota 1. Peso volumétrico promedio de 18 unidades

Nota 2. Propiedades mecánicas en kg/cm<sup>2</sup> y coeficientes de variación en %; ambos producto de 9 unidades

Las pilas se construyeron con las piezas necesarias para que el factor correctivo de la prueba a compresión fuese lo más cercano a la unidad, para ello se emplearon 6, 4, 4 y 3 unidades en pilas de tabique rojo, tabicón ligero, tabicón pesado y block hueco, respectivamente. Durante la elaboración de las pilas, las piezas de tabique rojo se remojaron en agua justo antes de utilizarlas; las unidades de tabicón ligero, tabicón pesado y block hueco fueron empleadas en seco.

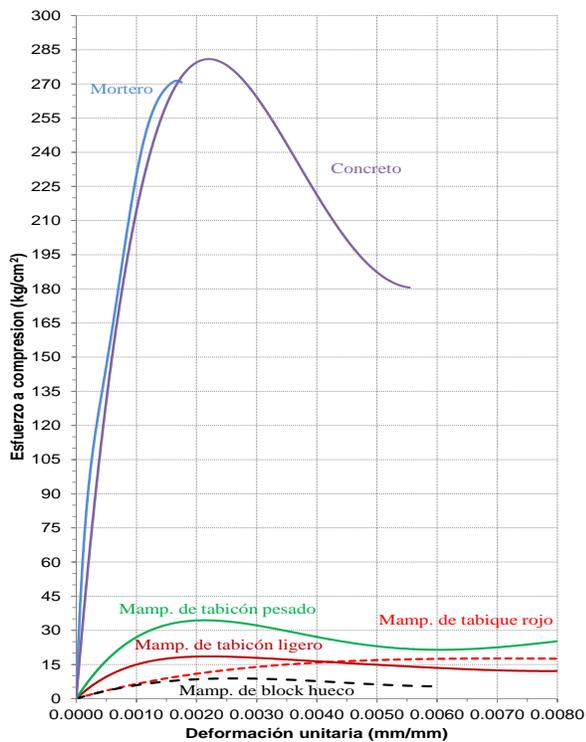
Para el ensaye de las pilas a compresión no se cabecearon con azufre, en su lugar se colocó una membrana de piel de gamuza para lograr una distribución uniforme en la aplicación de la carga, también se instrumentaron con el objetivo de determinar el módulo de elasticidad mediante las curvas esfuerzo-deformación. Las pilas

se ensayaron a los 41 días posteriores a su elaboración. Los resultados se muestran en la Figura 8.



**Figura 8. Gráficas promedio esfuerzo-deformación de pilas de mampostería**

Con los resultados de las investigaciones analizadas se presentan en la Figura 9 curvas esfuerzo-deformación de los materiales de construcción descritos en el presente trabajo, a excepción del acero, por la razón que no se contó con la información para generar a detalle dicha curva.



**Figura 9. Gráficas esfuerzo-deformación de los materiales de construcción más comunes**

En la interpretación de las gráficas esfuerzo-deformación de los materiales, se comprueba inmediatamente que el mortero y concreto tienen prácticamente el mismo módulo de elasticidad, por la razón que presentan resistencias máximas muy parecidas (la resistencia promedio experimental del mortero resultó de 246.89 kg/cm<sup>2</sup> y la del concreto de 286.18 kg/cm<sup>2</sup>). La diferencia del comportamiento de las curvas radica principalmente por el tamaño de probetas, para el mortero se emplearon cilindros de 10 x 20 cm, mientras que para el concreto de 15 x 30 cm. En base a ello, estudios experimentales muestran que para un mismo material las probetas de 10 x 20 cm permiten lograr mayor resistencia a compresión (del orden del 11%), sin embargo no permiten monitorear la curva posterior a la resistencia máxima.

Para el caso de la resistencia a compresión de la mampostería, en orden de mayor a menor valor se tienen: tabicón pesado, tabicón ligero, tabique rojo y block hueco. Colocar en el mismo gráfico todas las curvas esfuerzo-deformación permite de manera automática su comparación. En el caso de haber existido estudios de piezas de mampostería, las curvas oscilarían entre 60 y 150 kg/cm<sup>2</sup>; de igual manera en caso de incluir el acero de refuerzo de grado 42, la curva alcanzaría valores al menos de 4200 kg/cm<sup>2</sup>.

## CONCLUSIONES

El comportamiento global estructural de una construcción (puente, nave industrial, edificio, etc), depende de los elementos que la integran y de la interacción entre ellos en un sistema tridimensional. En zonas de alta sismicidad, las fuerzas inerciales juegan un papel dominante en el comportamiento estructural, por tal motivo las investigaciones actuales se encaminan en la búsqueda de materiales

de construcción con la mejor relación peso/resistencia, pero sobre todo con buen comportamiento en sus gráficas esfuerzo-deformación. Al analizar dichas gráficas de comportamiento, es evidente que cada material de construcción tiene sus propias propiedades mecánicas, lo importante es conocerlas para emplearlos en la mejor manera en un sistema estructural.

## AGRADECIMIENTOS

El autor principal agradece a los autores de las investigaciones documentadas por el acceso libre a todo tipo de información para lograr obtener las curvas comparativas de esfuerzo-deformación de los materiales de construcción descritos en el presente trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] González, V., Botero, J. C., Rochel, R., Vidal, J. y Álvarez, M. 2005. Propiedades mecánicas del acero de refuerzo utilizado en Colombia. *Revista Ingeniería y Ciencia*, ISSN 1794-9165, Vol 1, Núm 1, (marzo 2005), 67-76.
- [2] Alonso, R. H. 2013. *Variación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad del concreto ante diferentes condiciones de cabeceo de probetas*. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Constructor, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero.
- [3] Contreras, M. J. y Hernández, S. O. 2012. *Propiedades mecánicas de la mampostería a base de tabique rojo recocado, block hueco, tabicón ligero y tabicón pesado, de la zona centro del estado de Guerrero*. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero.