

**Influencia de la resistencia a compresión del hormigón en elementos sometidos a flexión simple.**  
*Influence of the concrete's compression resistance in elements submitted to simple flexion.*



**Ing. Carlos Rodríguez García**

Ingeniero Civil

Categoría docente: Asistente

Departamento de Construcciones, Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad de Matanzas. Cuba.

Teléfono (53) (45) 256782

E-mail: [carlos.rodriguez@umcc.cu](mailto:carlos.rodriguez@umcc.cu)



**Ing. Eduardo Rodríguez Oramas**

Ingeniero Civil

Empresa de Construcción y Montaje de Matanzas.

E-mail: [eduardor@gecma.co.cu](mailto:eduardor@gecma.co.cu)

Recibido: 22-10-15

Aceptado: 27-11-15

**Resumen:**

En nuestro país el material más usado en la construcción de vigas y losas es el hormigón con refuerzo de acero, conocido como "hormigón armado"; el diseño de estos elementos se basa en el aprovechamiento de las propiedades de ambos materiales para conformar un elemento que sea capaz de resistir las cargas que a este le llegan. El objetivo principal de este trabajo es conocer la influencia que presenta la variación de la resistencia a compresión del hormigón ante el área de acero y el tipo de fallo de los elementos de hormigón armado sometidos a flexión simple y recta.

**Palabras clave:** Hormigón armado, Resistencia a compresión, Flexión simple, Área e acero, Tipo de fallo.

**Abstract:**

In our country the most common material used in the construction of beams and slabs is concrete with steel reinforcement, known as "reinforced concrete"; the design of these elements is based on the exploitation of the properties of both materials to form an element that is capable of withstanding the loads this will arrive. The main objective of this study was to determine the influence that has the compressive

Ing. Carlos Rodríguez García, Ing. Eduardo Rodríguez Oramas. *Influencia de la resistencia a compresión del hormigón en elementos sometidos a flexión simple.*

strength of concrete from the steel area and the type of failure of reinforced concrete elements subjected to bending simple and straight.

**Keywords:** Reinforced Concrete, Compressive Strength, Single Flex, Steel Area, Fault Type.

## Introducción:

A diario vemos en todo tipo de obra elementos como vigas y losas que debido a las cargas que los mismos sostienen, se encuentran sometidas a flexión simple y recta. En nuestro país el material más usado en la construcción de vigas y losas es el hormigón con refuerzo de acero, conocido como "hormigón armado"; el diseño de estos elementos se basa en el aprovechamiento de las propiedades de ambos materiales para conformar un elemento que sea capaz de resistir las cargas que a este le llegan.

Uno de los factores que determinan el diseño de elementos de hormigón es la calidad de los áridos con que se cuenta en ciertas regiones, lo que trae consigo que en ocasiones solo se puedan contar con valores específicos de la resistencia del hormigón. Actualmente en Cuba los diseñadores de elementos de hormigón armado se apoyan en las especificaciones de la norma vigente, la cual es la NC 250 (2005), en la cual se especifican los principales requisitos de durabilidad, teniendo en cuenta la protección que debe proporcionar el hormigón al acero de agentes corrosivos; también fija la resistencia mínima que debe tener el hormigón según el nivel de agresividad a que está expuesto el elemento, además de otros factores que determinan las características del elemento a diseñar. Una vez analizados las especificaciones de las normas, así como la tecnología y los materiales con que se cuenta, los proyectistas inician el diseño de dichos elementos.

Otro de los factores a tener en cuenta en la ejecución de cualquier obra es el costo de esta; por esto es importante tener en cuenta que de los materiales que se utilizan para obtener los elementos de hormigón armado es el acero el más costoso. Por tanto en el diseño de elementos de este material es necesario velar por el uso adecuado de los áridos, el acero y el cemento que componen el elemento; de forma tal que se utilicen racionalmente. El objetivo de este trabajo es definir la influencia de la resistencia del hormigón en el valor de las áreas de acero necesarias en la zona traccionada en vigas sometidas a flexión simple y recta y su relación con el tipo de fallo.

## Desarrollo:

Toda estructura se diseña para un fin determinado, y para lograr una satisfactoria explotación se debe garantizar su uso en el tiempo y la seguridad ante un posible colapso; es decir que la estructura debe *ser confiable* ante la probabilidad de ocurrencia del fallo de esta, y además tiene que *ser económica* logrando así un diseño óptimo con el menor costo posible. Por lo tanto, lograr un buen diseño es sin duda un gran reto para los diseñadores, pues existe siempre la posibilidad de presencia de cargas mayores que las previstas debido a incertidumbres como la incorrecta explotación de la misma, a la aplicación de técnicas incorrectas durante su construcción, así como a la obtención de resistencias menores a las consideradas durante el cálculo.

Las solicitaciones normales son las fuerzas internas en un elemento que actuando perpendicularmente al eje longitudinal producen estados tensionales horizontales. En la figura 1 se puede observar que se origina un momento interno ( $M_n$ ) como respuesta al momento que crean las cargas sobre un elemento sometido a flexión simple y recta. Como resultado de este momento interno surgen las solicitaciones  $N'_c$  y  $N_s$  para equilibrar las fuerzas del elemento interno; siendo  $N'_c$  y  $N_s$  el par de fuerzas que corresponden

Ing. Carlos Rodríguez García, Ing. Eduardo Rodríguez Oramas. Influencia de la resistencia a compresión del hormigón en elementos sometidos a flexión simple.

a la resistencia del bloque de compresiones y a la del acero respectivamente. Para este análisis se siguen los criterios de Hernández y Hernández (2013).

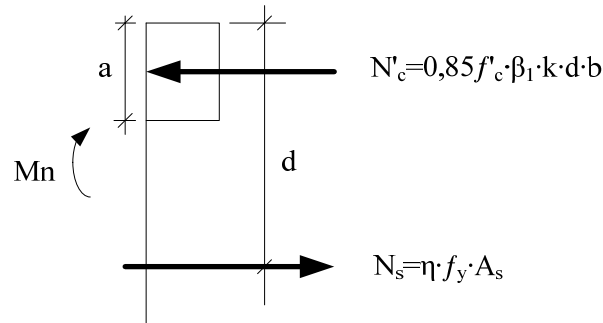


Figura 1: Solicitaciones normales.

Donde:

$a$ : ancho del bloque de compresiones

$f_y$ : resistencia a tracción del acero en el límite de fluencia

$A_s$ : área de acero

$b$ : ancho del elemento

$d$ : peralte efectivo del elemento

$k$ : posición relativa de la línea neutra

$f'_c$ : resistencia a compresión del hormigón

$\beta_1$ : factor que depende de la resistencia del hormigón

$\eta$ : coeficiente que indica la relación entre la tensión del acero y su tensión en el límite de fluencia (Para dominio 2, 3 y 3a  $\eta=1$ )

Para analizar la relación entre el área de acero y la resistencia a compresión del hormigón primeramente se hace necesario analizar la relación entre la resistencia a compresión y la profundidad de la línea neutra.

### Variación de la línea neutra

Como se comentó anteriormente para la sección de hormigón armado resistir la sollicitación externa de momento surgen las sollicitaciones normales, las tensiones de tracción, asumidas por el acero<sup>1</sup>, y las de compresión, asumidas por el hormigón<sup>2</sup>.

En la figura 2 se observan dos secciones, donde se relacionan la profundidad del bloque de compresiones y la resistencia del hormigón.

<sup>1</sup> Se desprecia el aporte del hormigón a tracción.

<sup>2</sup> Sin considerar la colocación de acero en la zona comprimida.

Ing. Carlos Rodríguez García, Ing. Eduardo Rodríguez Oramas. Influencia de la resistencia a compresión del hormigón en elementos sometidos a flexión simple.

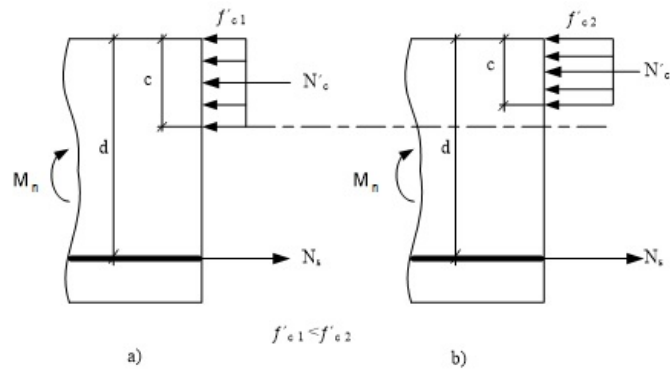


Figura 2: Fuerzas internas de un elemento sometido a flexión

Donde:

d: Peralto efectivo de la viga

c: Ancho del bloque de compresión

$N'_c$ : Fuerza resultante de la resistencia a compresión del hormigón

$N_s$ : Fuerza resultante de la resistencia a tracción del acero

Esta variación del bloque de compresiones y por ende de la posición de la línea neutra acarrea consigo también una variación de la ductilidad del fallo.

Del equilibrio de fuerzas (figura 1) se tiene que:

$$A_s = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a}{f_y} \quad (1)$$

El par de fuerzas originado internamente en la sección están separadas una distancia (Z) entre sí, como se puede observar en la figura 3 a. Mientras mayor sea la separación mayor será el valor del momento resistente, por lo que queda demostrado que al aumentar la resistencia a compresión del hormigón y disminuir la profundidad del bloque de compresiones aumenta también el brazo del par de fuerzas (figura 6 b).

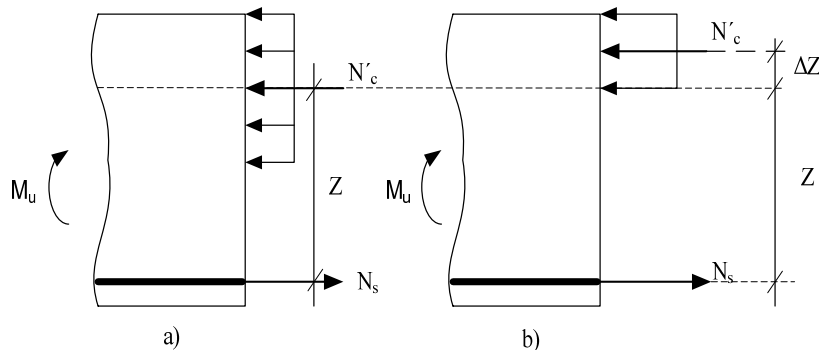


Figura 3 Aumento de la distancia entre el par de fuerzas.

Ing. Carlos Rodríguez García, Ing. Eduardo Rodríguez Oramas. *Influencia de la resistencia a compresión del hormigón en elementos sometidos a flexión simple.*

Siendo entonces dependiente el área de acero de la resistencia a compresión del hormigón, directamente proporcionales, pero a su vez el bloque de compresiones disminuye a medida que la resistencia a compresión del hormigón aumenta; siendo entonces necesario analizar la incidencia de ambos en los valores obtenidos de refuerzo en tracción.

#### **Modelo de análisis de la relación existente entre la resistencia del hormigón, el área de acero.**

Para establecer la relación entre la resistencia a compresión del hormigón, y la cantidad de refuerzo de acero necesario, se utilizará un método gráfico. En la figura 4 se muestra la relación que hay entre el área de acero y la resistencia a compresión del hormigón para un valor determinado de momento en una sección de hormigón armado.

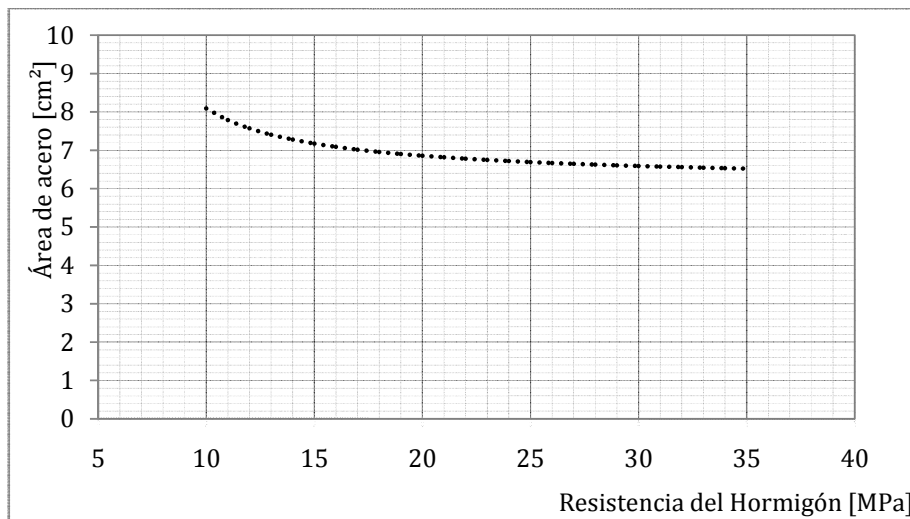


Figura 4. Comportamiento del área de acero ante la variación de la resistencia a compresión del hormigón en una viga con sección de 40 x 20 cm, sometida un momento de 50 kN·m.

Como se puede observar a medida que aumenta la resistencia a compresión del hormigón el área de acero disminuye, pero no queda claro la influencia o variación otro parámetro, como puede ser la posición de la línea neutra, y la influencia de este en el diseño. Destáquese en que entre las resistencias de 20 y 35 MPa, las más frecuentemente utilizadas, la variación del área de acero es muy pequeña.

#### **Estudio de la relación entre la resistencia a compresión, el área de acero y la posición relativa de línea neutra**

En la figura 4 se muestra un ejemplo de la variación del área de acero y del dominio<sup>3</sup> de diseño en una viga de hormigón armado de 40 x 20 cm sometida a flexión simple y recta a la cual se le varía la resistencia a compresión del hormigón ante distintos valores de momento externo.

Como se puede observar en el gráfico ante momentos relativamente pequeños la pendiente de la curva es relativamente suave y por tanto las diferencias entre los valores de área de acero no varían considerablemente mientras que para grandes solicitaciones la pendiente de la curva tiende a ser más pronunciada y por ello las diferencias entre las áreas de acero aumentan para los mismos valores de la resistencia a compresión del hormigón.

<sup>3</sup> Depende de la profundidad del bloque de compresiones y están relacionados con el tipo de fallo.

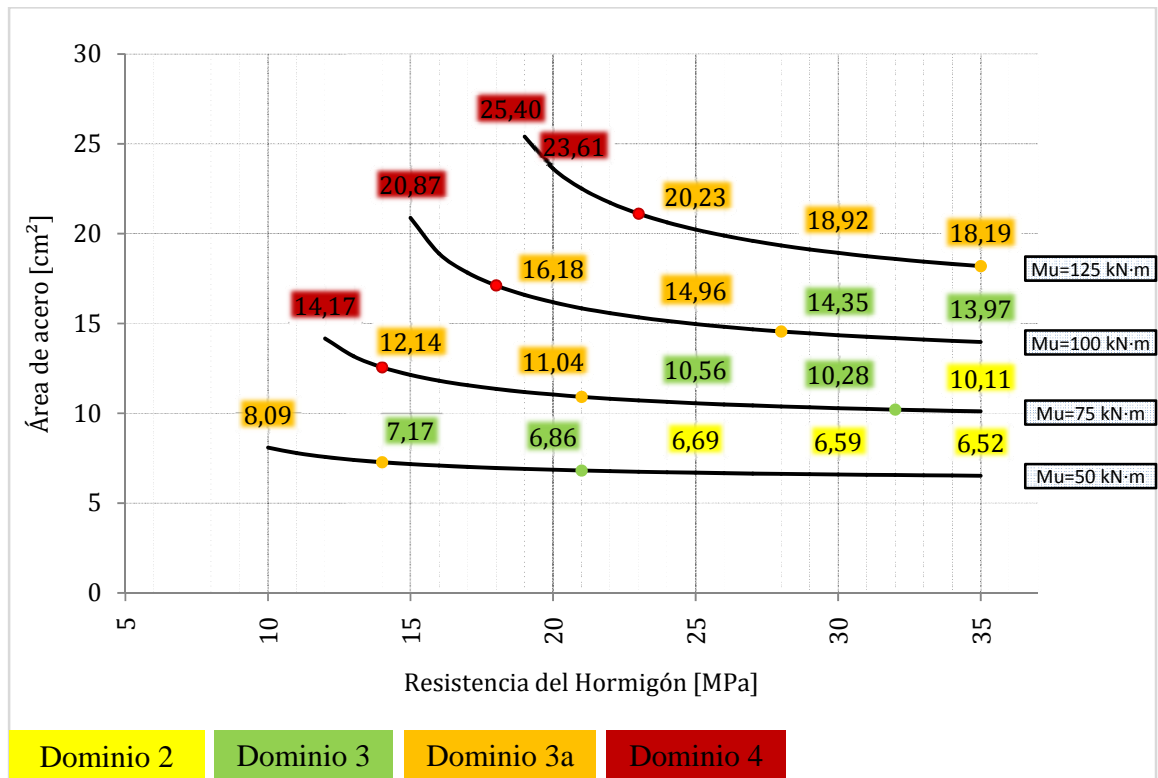


Figura 5. Área de acero vs resistencia del hormigón en viga de hormigón armado de 40 x 20 cm. Dominio de trabajo.

Además el gráfico nos muestra que es necesario verificar estas resistencias a compresión del hormigón usadas en los diseños ya que en algunos casos si se varía el mismo el valor del área de acero no varía considerablemente, pero sí varían los dominios de diseño, quedando comprobar el tipo de fallo que presenta el elemento.

Por ejemplo en la figura 5 se observa que para esta sección de hormigón armado y un valor de momento externo de 75 kN·m, si se utiliza una resistencia a compresión del hormigón de 35 MPa el área de acero que se requiere es de 10,11cm<sup>2</sup>, mientras que para los valores de resistencia a compresión del hormigón de 25 MPa y 20 MPa el área de acero necesaria es de 10,56 cm<sup>2</sup> y 11,04 cm<sup>2</sup> respectivamente; por lo tanto en este caso se puede observar que las diferencias del área de acero son relativamente pequeñas en relación a la variación de la resistencia a compresión del hormigón, trayendo consigo un ahorro significativo.

Sin embargo, no se puede variar la resistencia a compresión del hormigón solamente teniendo en cuenta cuanto aumenta o disminuye, el área de acero necesaria para que el elemento resista las sollicitaciones que actúan sobre el mismo, sino que es necesario además comprobar los dominios de diseño, ya que como en este ejemplo al disminuir estas resistencias a compresión del hormigón el área de acero disminuye muy poco, pero estas variaciones implican que los dominios de diseño varíen ya que para los valores de 35, 25 y 20 MPa los dominios de diseño son: el Dominio 2, el Dominio 3 y el Dominio 3a respectivamente; es decir, que el elemento para 35 y 25 MPa de la resistencia a compresión del hormigón presenta un fallo dúctil, y para 20 MPa el fallo del mismo es frágil. Por lo tanto es necesario durante el diseño determinar a partir de las resistencias a compresión del hormigón con que se disponen, cuál es la más idónea escoger teniendo en cuenta el área de acero y el tipo de fallo del elemento.

Ahora bien, si para esta misma sección de hormigón armado aumentamos el momento externo a 100 kN·m, con una resistencia a compresión del hormigón de 30 MPa el área de acero necesario es de 14,35 cm<sup>2</sup>, mientras que para un valor de 25 MPa el área de acero es de 14,96 cm<sup>2</sup>; esto indica que para esta sección y este valor de momento la diferencia de área de acero en este diseño entre 25 y 30 MPa de la resistencia a compresión del hormigón es de tan solo 0,61 cm<sup>2</sup>, (área menor que la de una barra Ø 10 según la NC 07 (2013), sin embargo el diseño para 30 MPa está en el dominio 3, mientras que para 25 MPa es en el dominio 3a; por lo tanto en este caso se disminuye en 5 MPa la resistencia del hormigón y el área de acero es menor que la de una barra Ø10, pero sin embargo el diseño cambio de ser seguro a un diseño donde el fallo del elemento es frágil, quedando clara la necesidad de analizarla como un factor decisivo en el diseño.

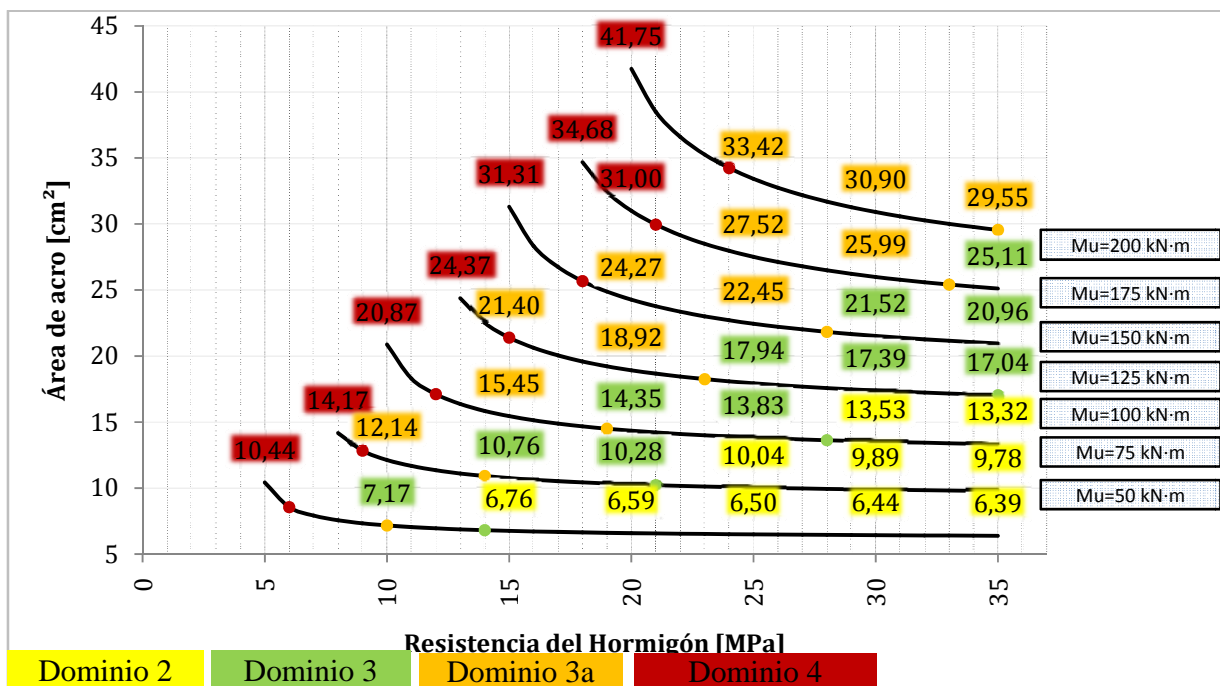


Figura 6. Diseño de una viga de 40x30cm. Dominios de diseño

En la figura 6 se observa que el comportamiento de los dominios debido a la posición relativa de la línea neutra es igual que la de la figura 5, es decir: al variar el área de acero debido al aumento o a la disminución de la resistencia a compresión del hormigón, varía la posición relativa de la línea neutra también varía y con ella cambia el dominio de diseño y por ende el tipo de fallo del elemento.

Nótese como en el dominio 3a y finalmente el 4 la diferencia entre los valores del área de acero se aumenta, esto se debe además al factor de reducción de la resistencia, pues en la primera zona este se hace dependiente de la profundidad de la línea neutra, y a medida que esta aumenta él disminuye trayendo consigo un aumento de área de acero y en la segunda zona pasa directamente a valores de 0,65 o 0,70.

Para realizar un análisis de forma independiente de las dimensiones de la sección de hormigón se propone el siguiente esquema (figura 7), donde se puede comprobar que, independientemente de las dimensiones de la sección las variaciones del área de acero son muy pequeñas, acentuándose levemente para mayores valores de momento.

Ing. Carlos Rodríguez García, Ing. Eduardo Rodríguez Oramas. Influencia de la resistencia a compresión del hormigón en elementos sometidos a flexión simple.

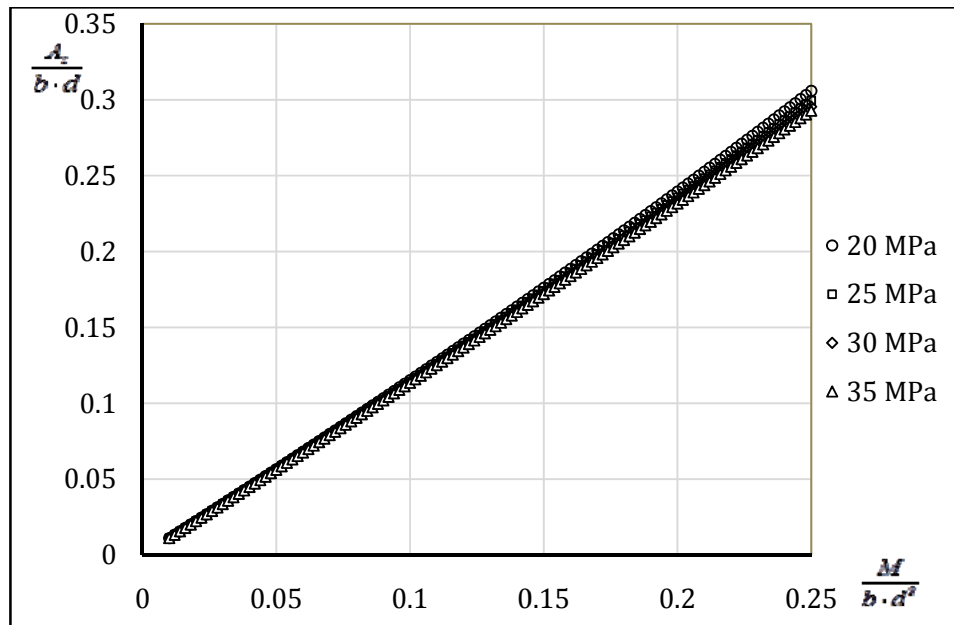


Figura 7. Relación entre el área de acero y el momento para diferentes resistencias a compresión de hormigón.

#### Conclusiones:

A partir del análisis de varias secciones de hormigón armado sometidas a flexión simple y recta si refuerzo en compresión, se observó que para momentos pequeños el área de acero no aumenta considerablemente al variar la resistencia a compresión del hormigón. A medida que aumenta el valor de momento la variación comienza a ser más significativa. En ambos casos varía el dominio de diseño y con ello el tipo de fallo del elemento.

#### Bibliografía:

- Hernández, J.J.; Hernández, J. A, (2013), "Hormigón Estructural. Diseño por estados límites" (Parte 1), Editorial Félix Varela, La Habana (Cuba).
- Oficina Nacional de Normalización, 2005. NC 250:2005. Requisitos de durabilidad para el diseño y construcción de edificaciones y obras civiles de hormigón estructural. ONN (Cuba).
- Oficina Nacional de Normalización, 2013. NC 07:2013. Barras de acero para refuerzo de hormigón-requisitos. ONN (Cuba).