

RESISTENCIA A TENSIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON AGREGADO CALIZO DE ALTA ABSORCIÓN

TENSILE STRENGTH OF CONCRETE WITH HIGH ABSORPTION LIMESTONE AGGREGATE

Eric I. Moreno¹, Rómel G. Solís-Carcaño¹, Jorge Varela-Rivera¹ y Marco A. Gómez López²

Recepción: 24 de abril de 2015

Aprobación: 16 de agosto de 2016

Publicación: 30 de octubre de 2016

RESUMEN

Antecedentes: La resistencia a tensión del concreto es una propiedad importante para el diseño de las estructuras; en elementos de concreto reforzado se puede producir el agrietamiento bajo diversas condiciones de carga o por medio de otros efectos, como son las condiciones ambientales críticas. De lo anterior se desprende la necesidad de contar con ecuaciones de predicción de resistencia a tensión, a partir de la resistencia a compresión axial del concreto, que es la propiedad que más se ha estudiado en este material.

Métodos: Se ensayaron probetas cilíndricas y prismáticas fabricadas con agregados calizos triturados de alta absorción, utilizando tres relaciones agua/cemento. Para cada tipo de concreto se midieron sus resistencias a compresión y a tensión; ésta última se obtuvo tanto por compresión, como por tensión.

Resultados: Con los datos medidos se calcularon ecuaciones por el método de mínimos cuadrados que relacionaron las dos formas de resistencia a la tensión con la resistencia a la compresión. Las ecuaciones obtenidas se compararon con las especificadas en dos reglamentos vigentes, así como con otras ecuaciones encontradas en la literatura.

Conclusiones: Con base en las comparaciones anteriores, se encontró que las ecuaciones obtenidas fueron similares a las especificadas en el Reglamento para Concreto Estructural del Instituto Americano del Concreto, así como a las que han propuesto algunos otros autores.

Palabras clave: concreto, tensión, compresión, agregados, caliza.

ABSTRACT

Background: The tensile strength of concrete is an important mechanical property used in the design of structures. Cracking of reinforced concrete elements can be observed under different loading conditions or under other effects, such as critical environmental conditions. Based on the above, there is a need to develop design equations for the tensile strength of concrete. Equation can be a function of the axial compressive strength of concrete, which is the most studied property for this material.

Methods: Concrete cylinders and beam specimens were tested in this study. Concrete specimens were fabricated using high absorption limestone aggregates. Three water/cement ratios were considered. For each type of concrete, axial compressive strength and tensile strength were measured. For this last case, both flexural tensile and compressive tensile strengths were determined.

Results: Based on the experimental results, design equations were developed for the two types of tensile strength of concrete. Equations were developed as a function of the axial compressive strength of concrete using the least square method. Proposed equations were compared with those prescribed in two current design codes and with those found in the literature.

¹ Profesor-Investigador. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán.

² Estudiante de Posgrado. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán.
Contacto: Rómel G. Solís-Carcaño, E-mail: tulich@correo.uady.mx

Conclusions: Based on the comparisons presented before, it was found that proposed equations for the tensile strength of concrete were similar to those prescribed in the Building Code Requirements for Structural Concrete of the American Concrete Institute, and to those proposed for some other authors.

Keywords: Concrete, tension, compression, aggregates, lime.

RESUMO

Antecedentes: A resistência à tensão do concreto é uma importante propriedade para o designer das estruturas; em elementos de concreto armado pode ocorrer rachaduras sob diversas condições de carga ou por meio de outros efeitos, como as condições ambientais críticas. De acordo com o anterior, deriva-se a necessidade de contar com equações de previsão de resistência à tensão, a partir da resistência à compressão axial do concreto, que é a propriedade que tem sido mais estudada neste material.

Métodos: Foram feitos ensaios em provetas cilíndricas e prismáticas fabricadas com agregados calcários triturados de alta absorção, utilizando três relações de água/cimento. Para cada tipo de concreto foram medidas a sua resistência, a compressão e a tensão; este último obteve tanto por compressão, como por tensão.

Resultados: Com os dados medidos foram calculadas equações pelo método de mínimos quadrados relacionados com as duas formas de resistência à tensão com a resistência à compressão. As equações obtidas foram comparadas com as especificadas em dois regulamentos vigentes, bem como com outras equações encontradas na literatura.

Conclusões: Com base nas comparações acima, verificou-se que as equações obtidas foram semelhantes com as especificadas no Regulamento para Concreto Estrutural do Instituto Americano do Concreto, bem como com as que têm propostos por alguns autores.

Palavras chave: concreto, tensão, compressão, agregados, calcário.

INTRODUCCIÓN

La resistencia a compresión axial es la mayor de las fortalezas del concreto y su atributo mecánico más apreciado; sin embargo la resistencia a tensión es también importante ya que se requiere para predecir agrietamientos en este material.

En elementos de concreto reforzado sujetos a flexión—trabes o losas—una parte considerable de la sección transversal está sujeta a esfuerzos de tensión; en estos casos, se espera que las barras de acero de refuerzo por flexión desarrollen los esfuerzos que equilibren las acciones externas aplicadas al elemento. Sin embargo, debido a que las cargas son aplicadas en el concreto y transmitidas al acero por adherencia, resulta inevitable que el concreto tome esfuerzos de tensión¹. Aun cuando la resistencia a la tensión del concreto no se requiere para determinar la capacidad a flexión, es necesaria para determinar su resistencia al agrietamiento; ésta es función de las propiedades geométricas de la sección transversal y de la resistencia a la tensión del concreto².

También pueden producirse esfuerzos de tensión en elementos que usualmente trabajan a compresión—columnas o muros—cuando existen importantes asimetrías geométricas en el sistema estructural; o bien cuando existen cargas accidentales laterales, como en el caso de los sismos^{3,4}.

El fenómeno de la contracción del concreto también provoca esfuerzos de tensión en este material, ya que por lo general los elementos constructivos están sujetos a restricciones físicas que impiden la reducción de sus dimensiones. Ejemplos de esto son la contracción por cambio de temperatura, y la contracción asociada al secado y endurecimiento del concreto⁵.

En términos generales es difícil obtener la resistencia a tensión del concreto en forma directa, por lo que se determina por métodos indirectos, como son las pruebas de tensión por compresión y de tensión por flexión. Los resultados de la primera se utilizan para determinar el agrietamiento por cortante, mientras que los de la segunda, para el agrietamiento por flexión. Se ha observado que la variabilidad de los resultados es mayor en la prueba de tensión por flexión².

Existen fórmulas empíricas para determinar la resistencia a tensión por compresión y por flexión publicadas en reglamentos, como son las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC) del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RDF)⁶, y el Reglamento para Concreto Estructural del Instituto Americano del Concreto (ACI-318)². Sin embargo, los autores de este estudio no encontraron trabajos donde se hayan utilizado agregados calizos triturados de alta absorción; por lo que resulta importante determinar la resistencia a tensión del concreto con este tipo de componentes.

Este estudio se realizó en el contexto específico del concreto que se fabrica con agregados triturados calizos de alta absorción. El objetivo fue proponer ecuaciones de predicción de las resistencias a tensión por compresión y por flexión, a partir del conocimiento de la resistencia a compresión axial del concreto.

METODOLOGÍA

En esta investigación se ensayaron a compresión axial, a tensión por compresión y a tensión por flexión concretos que fueron fabricados con agregados de tres diferentes trituradoras de la Península de Yucatán, las cuales fueron elegidas al azar y son identificadas en este reporte como trituradoras A, B y C. Se obtuvieron dos muestras de agregados por cada trituradora con una diferencia de tres semanas. Los agregados se caracterizaron siguiendo las normas ASTM. Las pruebas al agregado grueso fueron las siguientes: peso volumétrico seco compacto (PVSC), peso volumétrico seco suelto (PVSS), granulometría, tamaño máximo de agregado, porcentaje de absorción y peso específico relativo del material en estado saturado. Las pruebas al agregado fino fueron las siguientes: peso volumétrico seco suelto, granulometría, módulo de finura (MF), porcentaje de absorción y peso específico relativo del material en estado saturado.

El diseño de las mezclas de concreto se realizó siguiendo el Método de Volúmenes Absolutos del Instituto Americano del Concreto⁶. Se utilizó cemento portland compuesto 30-R (CPC30R).

Los parámetros de diseños de las mezclas fueron los siguientes: resistencias de diseño de 350 kg/cm² (34.3 MPa), 250 kg/cm² (24.5 MPa) y 150 kg/cm² (14.7 MPa); relaciones a/c de 0.40, 0.60 y 0.80, respectivamente; revenimiento de 10 cm; sin aire incluido.

Se realizaron mezclas de prueba para ajustar la cantidad de agua necesaria para obtener el revenimiento elegido; se ajustó el agua considerando una absorción efectiva del agregado del 80% de la obtenida en la caracterización. No se utilizaron aditivos en las mezclas fabricadas. Debido al equilibrio hídrico entre los agregados y la pasta de cemento en estado fresco, no se consideró el fenómeno de la desorción; sin embargo, es probable que se haya presentado el fenómeno de curado interno durante el proceso de generación de productos hidratados del cemento, lo cual podría ser común en este tipo de agregados⁸.

Para cada relación a/c y trituradora de agregados se fabricaron doce probetas cilíndricas de 150 x 300 mm y tres vigas de 150 x 150 x 600 mm. Las probetas cilíndricas fueron utilizadas para las pruebas de compresión axial y tensión por compresión, y fueron asignadas de manera aleatoria para cada prueba: cuatro especímenes para compresión axial (ASTM C 39) y ocho para tensión por compresión (ASTM C 496). Las tres vigas fueron utilizadas para la prueba a tensión por flexión (ASTM C 78). Todas las probetas fueron sometidas a un proceso de curado por inmersión hasta su ensaye a la edad de 28 días.

Las resistencias a compresión axial (f_c), tensión por compresión (f_t) y tensión por flexión (f_f) se calcularon con las Ecuaciones del 1 al 3:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

En donde P es la carga máxima de fractura y A es el área promedio de la sección transversal de la probeta.

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

En donde L y D son la longitud y diámetro promedios de la probeta, respectivamente.

$$f_f = \frac{Pl}{bd^2} \quad (3)$$

En donde l es la longitud entre apoyos, b y d son el ancho y altura promedios del espécimen, respectivamente.

Posteriormente se calcularon las medias de los resultados individuales obtenidos de cada probeta para los tres tipos de ensaye. Se realizaron análisis de regresión por el método de mínimos cuadrados para proponer ecuaciones de predicción de tipo exponencial; y se efectuó una regresión lineal por mínimos cuadrados para relacionar las resistencias a tensión por compresión y por flexión, considerando la resistencia a compresión axial como variable independiente.

Se compararon las ecuaciones obtenidas con las fórmulas propuestas en el Reglamento del ACI 318², el RDF en sus NTC⁶; también se compararon con otras ecuaciones encontradas en la literatura para el cálculo de la resistencia a tensión⁹⁻¹².

RESULTADOS

Las características físicas del agregado grueso se presentan en la Tabla 1. Los valores del PVSC variaron entre 1170 y 1297 kg/m³; de la densidad relativa, entre 2.24 y 2.32; y de la absorción entre 6.00 y 9.38 %. Como se esperaba, los agregados gruesos presentaron un alto porcentaje de absorción, lo cual es su característica particular. Basado en estos resultados, el agregado B tiene mejores propiedades índice, seguido de cerca por el agregado A, y el agregado C presenta las peores propiedades.

Tabla 1: Características físicas del agregado grueso

Trituradora	Muestra	PVSS (kg/m ³)	PVSC kg/m ³)	Densidad	Absorción (%)	TMA (mm)
A	1	1161	1282	2.26	8.99	19
	2	1109	1297	2.32	7.90	19
B	1	1173	1279	2.32	6.23	19
	2	1126	1224	2.28	6.00	19
C	1	1059	1210	2.25	7.72	19
	2	1005	1170	2.24	9.38	19

Las características físicas del agregado fino se presentan en la Tabla 2. Los valores del PVSS variaron entre 1437 y 1129 kg/m³; los de la absorción, entre 2.38 y 2.46; los de la densidad relativa, entre 3.60 y 6.04 %; y el módulo de finura, entre 2.73 y 3.35. Como se esperaba, también los agregados finos presentaron un alto porcentaje de absorción como característica particular. Nuevamente, el agregado B tiene mejores propiedades, seguido de cerca por el agregado A, y el agregado C presenta las peores propiedades.

Tabla 2: Características físicas del agregado fino

Trituradora	Muestra	PVSS (kg/m ³)	Densidad	Absorción (%)	Módulo de finura
A	1	1437	2.38	5.13	2.85
	2	1275	2.45	6.04	3.32
B	1	1252	2.46	3.60	2.78
	2	1243	2.45	3.90	2.98
C	1	1208	2.38	5.00	2.73
	2	1129	2.38	5.80	3.35

En la Tabla 3 se presentan los resultados del diseño de las mezclas; las cantidades de agua que se presentan corresponden a las teóricas, antes de ajustes por humedad de los agregados.

Tabla 3: Resultados del diseño de las mezclas (kg/m³) para las tres relaciones a/c

Trituradoras	Materiales	0.4	0.6	0.8
A	Agua	240.00	215.00	205.00
	Cemento	600.00	358.33	256.25
	Grava	773.70	773.70	773.70
	Arena	511.17	756.82	859.23
B	Agua	240.00	215.00	205.00
	Cemento	600.00	358.33	256.25
	Grava	750.90	750.90	750.90
	Arena	547.58	797.30	901.41
C	Agua	240.00	215.00	205.00
	Cemento	600.00	358.33	600.00
	Grava	714.00	714.00	714.00
	Arena	550.93	793.02	893.95

Los resultados de las pruebas al concreto fresco se presentan en la Tabla 4. El revenimiento varió entre 6 y 16 cm; el contenido de aire varió entre 2.5 y 3 %; y el peso volumétrico del concreto varió entre 2078 y 2218 kg/m³. Se observa que para el agregado B el revenimiento fue mayor para la relación a/c de 0.4 (11.5 cm) que el obtenido para la a/c de 0.6 (9.5 cm), sin embargo esto podría ser atribuido a la sensibilidad de la prueba, ya que ambos valores se encuentran dentro de la tolerancia (2.5 cm) alrededor del parámetro de diseño (10 cm).

Tabla 4: Resultados de las pruebas al concreto fresco

Trituradora	Relación a/c	Revenimiento (cm)	Contenido de aire (%)	Peso Volumétrico (kg/m ³)
A	0.4	6.0	3.0	2147
	0.6	14.0	2.5	2104
	0.8	16.0	2.7	2106
B	0.4	11.5	2.5	2178
	0.6	9.5	2.5	2135
	0.8	15.0	2.5	2130
C	0.4	6.0	3.0	2105
	0.6	9.0	2.5	2218
	0.8	13.0	3.0	2078

En la Tabla 5 se presentan los resultados de las resistencias a la compresión y a la tensión, esta última tanto por compresión (f_c) como por flexión (f_t). Se hace la observación que para obtener el promedio de la resistencia a la compresión se probaron cuatro probetas cilíndricas, para obtener el promedio de la resistencia a la tensión por compresión se probaron ocho probetas cilíndricas, y para obtener el promedio de la resistencia a la tensión por flexión se probaron tres vigas prismáticas.

Tabla 5: Resistencia a la compresión (f_c), a la tensión por compresión (f_t) y por flexión (f_f), a los 28 días

Trituradora	Relación a/c	f_c promedio kg/cm ² (MPa)	f_t promedio kg/cm ² (MPa)	f_f promedio kg/cm ² (MPa)
A	0.4	401.5 (39.3)	31.3 (3.1)	38.7 (3.8)
	0.6	228.2 (22.4)	29.0 (2.8)	39.6 (3.9)
	0.8	170.7 (16.7)	22.7 (2.2)	32.4 (3.2)
B	0.4	407.2 (39.9)	37.1 (3.6)	50.8 (50.0)
	0.6	295.7 (29.0)	32.9 (3.2)	46.1 (4.5)
	0.8	208.0 (20.4)	28.4 (2.8)	36.5 (3.6)
C	0.4	298.0 (29.2)	33.4 (3.3)	45.3 (4.4)
	0.6	246.0 (24.1)	31.7 (3.1)	39.8 (3.9)
	0.8	143.4 (14.1)	20.6 (2.0)	27.1 (2.7)

Los mejores resultados de la resistencia a la compresión se obtuvieron con los agregados de la trituradora B ya que alcanzaron los valores de diseño para las tres relaciones a/c. Los peores resultados se obtuvieron con los agregados de la trituradora C con los que se alcanzaron el 85, 98 y 95% de los valores de diseño para las relaciones a/c de 0.40, 0.6 y 0.8, respectivamente. Con los agregados de la trituradora A se obtuvieron resultados intermedios, ya que se alcanzó el valor de diseño para las relaciones a/c de 0.40 y 0.8; mientras que se obtuvo el 91% para la relación a/c de 0.6. Estos resultados son consistentes con la calidad relativa de los agregados provenientes de los tres bancos, que fue comentada anteriormente (Tablas 1 y 2).

En la Tabla 6 se presentan los rangos de variación de las resistencias a tensión por compresión (f_t) y por flexión (f_f), calculados como el cociente entre esos valores y la resistencia a compresión axial. Los rangos estuvieron entre 7.8 y 14.4 %, y 9.6 y 19.0 % para cada propiedad en el orden que se mencionan arriba.

Tabla 6: Variación de las resistencias a tensión por compresión y por flexión del concreto en función de la resistencia a compresión axial a 28 días

Trituradora	Relación a/c	f_t/f_c (%)	$f_t/f_c^{1/2}$	f_f/f_c (%)	$f_f/f_c^{1/2}$
A	0.4	7.8	1.56	9.6	1.93
	0.6	12.7	1.92	17.3	2.62
	0.8	13.3	1.74	19.0	2.48
B	0.4	9.1	1.84	12.5	2.52
	0.6	11.1	1.91	15.6	2.68
	0.8	13.7	1.97	17.5	2.53
C	0.4	11.2	1.94	15.2	2.63
	0.6	12.9	2.02	16.2	2.54
	0.8	14.4	1.72	18.9	2.26

En las Figuras 1 y 2 se comparan los datos obtenidos en este estudio con las curvas que corresponden a las ecuaciones propuestas por las NTC6 y el ACI 318² para las resistencias a tensión por compresión y por flexión, respectivamente; en la Tabla 7 se presentan las ecuaciones de estos dos reglamentos. Los datos experimentales presentados en estas dos figuras tuvieron, en general, mayores valores que los puntos definidos por las ecuaciones de los reglamentos.

Tabla 7: Ecuaciones propuestas por las NTC y el ACI 318

Reglamento	Tensión por flexión f_f		Tensión por compresión f_t	
	Clase 1	Clase 2	Clase 1	Clase 2
NTC	$f_f = 2\sqrt{f'c}$	$f_f = 1.4\sqrt{f'c}$	$f_f = 1.5\sqrt{f'c}$	$f_t = 1.2\sqrt{f'c}$
ACI	$f_r = 2\sqrt{f'c}$		$f_t = 1.8\sqrt{f'c}$	

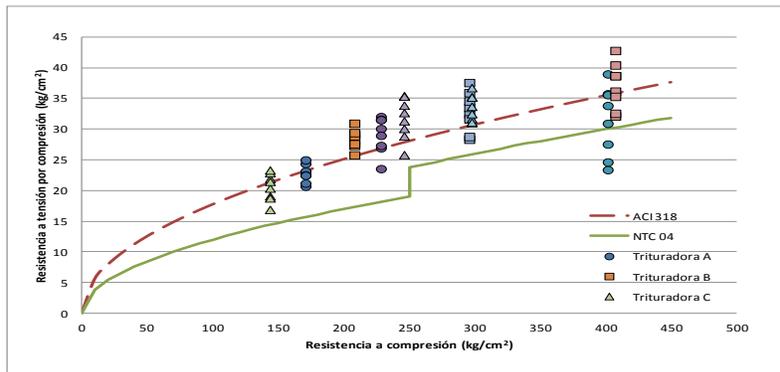


Figura 1: Datos experimentales y curvas propuestas en los reglamentos ACI y NTC para la resistencia a tensión por compresión

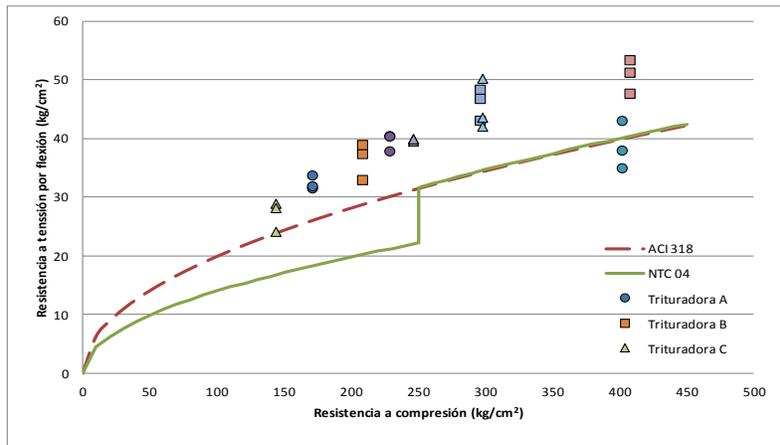


Figura 2: Datos experimentales y curvas propuestas en los reglamentos ACI y NTC para la resistencia a tensión por flexión

En la Figura 3 se presenta la curva de tendencia exponencial que siguieron los valores medios de la resistencia a tensión por compresión (f_t); se tuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 0.6098. La Ecuación 4 corresponde a la curva calculada.

$$f_t = 2.1265 (f_c)^{0.4731} \tag{4}$$

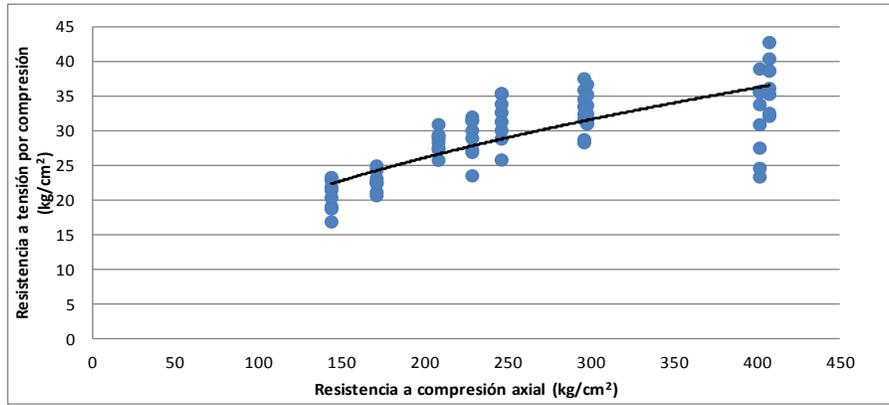


Figura 3: Tendencia ajustada de datos experimentales de resistencia a tensión por compresión

En la Figura 4 se presenta la curva de tendencia exponencial que siguieron los valores medios de la resistencia a tensión por flexión (f_t); se tuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 0.6488. La Ecuación 5 corresponde a la curva calculada.

$$f_t = 3.1555 (f_c)^{0.454} \tag{5}$$

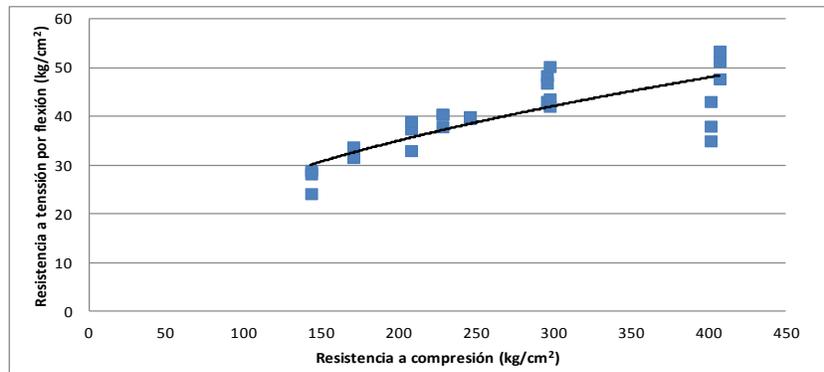


Figura 4: Tendencia ajustada de datos experimentales de la resistencia a tensión por flexión

Debido a que los exponentes de la f_c de las ecuaciones 4 y 5 se aproximaron a 0.5, se realizó también un ajuste por el método de mínimos cuadrados para proponer ecuaciones con radical, las cuales se presentan como ecuaciones 6 y 7.

$$f_t = 1.795 \sqrt{f_c} \tag{6}$$

$$f_t = 2.374 \sqrt{f_c} \tag{7}$$

En la Figura 5 se presenta la gráfica lineal de $f_c^{1/2}$ vs. f_t en la que el término independiente es igual a cero, ya que cuando la resistencia a compresión axial es cero la resistencia a tensión por compresión también es cero. El análisis de significancia del modelo arrojó un valor F de 574.96 y un valor crítico correspondiente a un 95% de confianza de 9.83E-38, por lo que el modelo fue significativo. El coeficiente de determinación calculado (r^2) fue de 0.8805.

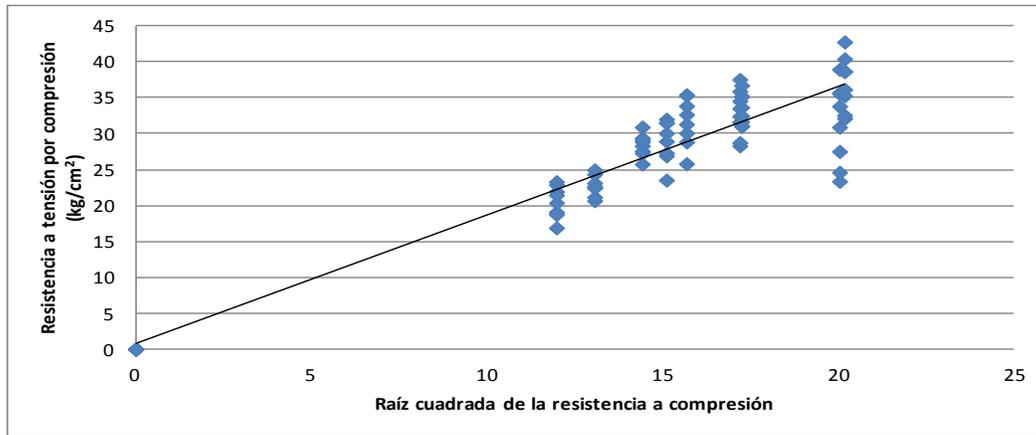


Figura 5: Relación entre la resistencia a tensión por compresión y la raíz cuadrada de la resistencia a compresión axial

En la Figura 6 se presenta la gráfica lineal de $f_c^{1/2}$ vs. f_t en la que se consideró que el término independiente es igual a cero, por la misma causa explicada antes. El análisis de significancia del modelo arrojó un valor F de 240.84 y un valor crítico correspondiente a un 95% de confianza de 2.77E-15, por lo que el modelo fue significativo. El coeficiente de determinación (r^2) fue de 0.8959.

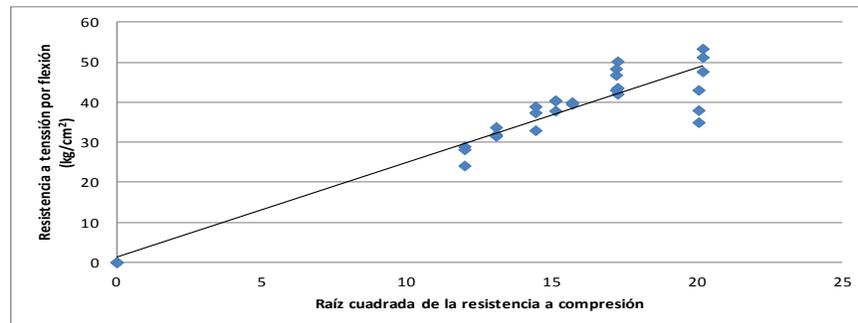


Figura 6: Relación entre la resistencia a tensión por flexión y la raíz cuadrada de la resistencia a compresión axial

DISCUSIÓN

El agregado grueso utilizado presentó un porcentaje de absorción considerablemente mayor a 3.50% que fue el límite propuesto en este trabajo para considerar a los agregados como de alta absorción; sus valores variaron entre 6.00 y 9.38%. El porcentaje de absorción del agregado fino también presentó valores superiores a 3.50%, estando entre 3.60 y 6.04%. Los valores del módulo de finura del agregado fino fueron altos, por lo que se considera como una arena gruesa.

También se observó una densidad del agregado relativamente baja, comparada con las densidades especificadas para concreto Clase 1 de las NTC4. De las características de los agregados, se infiere que se trata de un agregado relativamente ligero y con una alta absorción.

El contenido de aire de las mezclas varió entre 2.5 y 3%; éstos son valores muy cercanos al 2% que se consideró en el proceso de diseño como el porcentaje de aire irreductible. El peso volumétrico de las mezclas varió entre 2100 y 2200 kg/m³; estos valores relativamente bajos se atribuyen a la baja densidad del agregado. Lo anterior influyó en la resistencia a compresión axial, ya que los concretos fabricados con agregados con las mejores propiedades alcanzaron

los valores de diseño. Se observó que el límite superior que se obtuvo para los agregados de las trituradoras A y B fue cercano a los 400 kg/cm², pero para el caso de la trituradora C fue de sólo 300 kg/cm².

La resistencia a tensión por compresión del concreto varió entre 8% y 15% de la resistencia a compresión axial. Se realizó una comparación entre varias ecuaciones encontradas en la literatura para estimar f_t^{9-12} . La Figura 7 presenta esas curvas y en ella se puede observar que el modelo propuesto en este trabajo se comporta de manera muy similar a la ecuación del ACI 318.

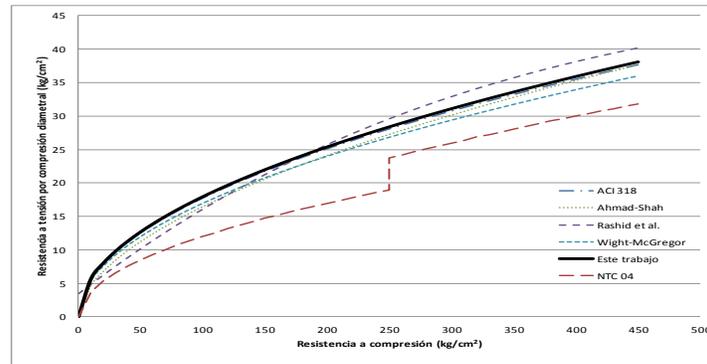


Figura 7: Comparación de las curvas propuestas para la obtención de la resistencia a tensión por compresión

La resistencia a tensión por flexión del concreto varió entre 10% y 20% de la resistencia a compresión. Se realizó también una comparación entre las ecuaciones encontradas en la literatura para estimar f_f^{9-12} . La Figura 8 presenta esas curvas y en ella se puede observar que el modelo propuesto en este trabajo es muy similar a la ecuación de Wight y McGregor¹¹ y a la que Cañas y Retana¹² presentan como límite superior. El trabajo publicado por Wight y McGregor se apoyó en un gran número de pruebas realizadas en varios países, con la diversidad de materiales que eso representa. Mientras que el trabajo de Cañas y Retana fue realizado utilizando agregados que tuvieron los siguientes valores promedio: gravedad específica 2.56 y absorción 1.88 % para las gravas; y gravedad específica 2.33 y absorción 4.52 % para las arenas.

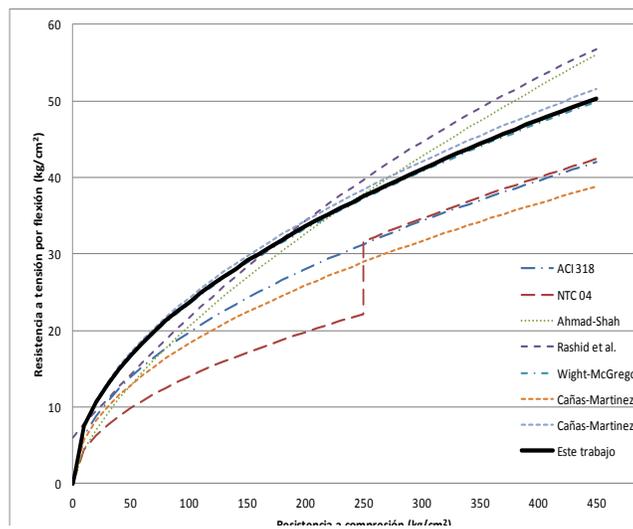


Figura 8: Comparación de las curvas propuestas para la obtención de la resistencia tensión por flexión

CONCLUSIONES

Las fórmulas propuestas en este trabajo, desarrolladas a partir de la tendencia de datos experimentales, fueron (en kg/cm²):

Tensión por compresión:

$$f_t = 1.795 \sqrt{f_c}$$

Tensión por flexión:

$$f_t = 1.795 \sqrt{f_c}$$

Los modelos propuestos en este trabajo para las resistencias a tensión por compresión y tensión por flexión fueron similares a las ecuaciones del ACI 318; estos modelos representan valores de resistencias que son superiores en al menos un 20 % a los que propone el Reglamento del DF. Lo anterior implica que, en tanto no se realicen otros estudios con una mayor muestra de agregados calizos de alta absorción, podrían seguir utilizándose de manera conservadora las especificaciones del Reglamento del DF.

REFERENCIAS

ACI-211-91 (1991), Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass Concrete, American Concrete Institute, Farmington, MI, USA.

ACI 318M (2011), Building Code Requirements for structural concrete and Commentary, Cap. 8, Farmington, MI, USA.

Cañas, M. A. y M. E. Retana (1999), “Establecimiento de una relación entre el módulo de ruptura (f_r) y la resistencia a la compresión (f_c) para mezclas de concreto hidráulico en el Salvador” 1999. Recuperado el 12 de mayo de 2008 en: http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/07_Hormigon/Canas.pdf. Recuperado el 24 de agosto de 2016 en: <http://xa.yimg.com/kq/groups/13240622/1408231372/name/RELACI>.

Dobrowolski, J. (1988), Concrete Construction Handbook, fourth edition, McGraw-Hill, USA.

González O. y F. Robles (2005), Aspectos fundamentales de concreto reforzado, cuarta edición, Limusa, México.

Leet, K. (1991), Reinforced Concrete Design, second edition, Mc Graw-Hill, USA.

Meli, R. (1985), Diseño Estructural, segunda edición, Limusa, México.

NTCC-04 (2004), Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto 2004, Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. pp. 103-104, Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Rashid, M. A., M. A. Mansur y P. Paramasivam (2002), “Correlations between mechanical properties of high-strength concrete”, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 230-238.

Shah, S. P. y S. H. Ahmad (1985), “Structural properties of high strength concrete and its implications for precast prestressed concrete”, PCI Journal, Vol. 30, No. 6, pp. 92-119.

Wight, J. K. y J. G. McGregor (2009), Reinforced Concrete. Mechanics and Design, Fifth Edition, Prentice Hall.