

RELACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE RUPTURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO

Andrea Marlen Silva Flores

Cinthia Melissa Pavón Castro

Leticia Sarahi Hernández Melgar

Alumnos de Ingeniería Civil

Mario Humberto Cárdenas Murillo

Héctor Wilfredo Padilla Sierra

Profesores Investigadores, Departamento Postgrado, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), San Pedro Sula, Honduras

(Recibido: Agosto, 2013)

RESUMEN. El módulo de ruptura del concreto hidráulico es crucial para el diseño de losas de pavimento. Este módulo es obtenido teóricamente por medio del producto de un factor "k" y la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del concreto hidráulico. Con este objetivo la investigación se centró en la identificación de este valor "k" por medio del análisis del concreto hidráulico premezclado distribuido por la empresa CONETSA¹. Se inició con el diseño de mezclas con una resistencia a la compresión especificada de 2000 a 7000 psi, por medio del muestreo de estas se realizaron pruebas a compresión y flexión a los 3, 7 y 28 días, con estos datos se identificó que la calidad de las mezclas realizadas es alta y esto permite la optimización del diseño de losas simples para pavimentos rígidos.

Palabras claves: módulo de ruptura, resistencia a la compresión, concreto hidráulico, CONETSA.

ABSTRACT. The modulus of rupture of hydraulic concrete is crucial for the design of pavement slabs. This modulus of rupture is theoretically obtained by the product of a factor "k" and the square root of the compressive strength of hydraulic cement. This research has focused on the identification of this "k" value by analyzing the premixed hydraulic concrete distributed by the company CONETSA. Research began with the mix design with a specified compressive strength of 2000-7000 psi, through sampling of these mixtures were performed tests to know the compressive and flexural strength of each concrete mixtures in 3,7 and 28 days, with these data it was found that the quality of the mixtures carried out is high and this allows the optimization of the design of simple slabs for rigid pavements.

Keywords: modulus of rupture, compressive strength, hydraulic concrete CONETSA.

¹ CONETSA: Concretos Eterna S.A.: Empresa dedicada a la fabricación de elementos constructivos y concreto premezclado.

INTRODUCCIÓN

El concreto hidráulico es el resultado de la mezcla y combinación, en dosificación adecuada de cemento, agregados pétreos finos y gruesos seleccionados y agua, que se utiliza en la construcción de elementos estructural es o decorativos, pavimentos, pisos, tuberías, banquetas y guarniciones. La razón por la cual el concreto hidráulico es preferido en la construcción es porque presenta características significativas de durabilidad, trabajabilidad, impermeabilidad y resistencia. La propiedad más conocida del concreto hidráulico es la resistencia a la compresión, sin embargo, el módulo de ruptura toma un papel muy importante al momento de diseñar pavimentos u otras estructuras apoyadas sobre terrenos.

Para el diseño de pavimentos rígidos, se han realizado investigaciones a diferentes mezclas de concreto con el fin de encontrar relaciones entre sus propiedades, como es el caso de la relación resistencia a la compresión – módulo de rotura. Actualmente, en el país son escasos los laboratorios de concreto dedicados a obtener este tipo de información, sin embargo, para efectos de precisión en los diseños, es importante contar con información certera, es ahí donde la relación de estos dos valores por medio de ensayos.

Por lo tanto en esta investigación, se plantearon los objetivos de diseñar, elaborar y determinar la resistencia a la compresión y el módulo de ruptura de mezclas de concreto de 2000 a 7000 psi utilizando los materiales de la empresa CONETSA. También, observar el efecto que tiene la relación agua-cemento en las resistencias a la compresión y módulo de ruptura del concreto y por último, identificar la relación resistencia a la compresión-módulo de ruptura, es decir, el factor “k” del concreto hidráulico y compararlo con lo propuesto por el PCA a las edades de 3,7 y 28 días. Todos estos datos se analizaron estadísticamente por medio del programa Minitab.

METODOLOGÍA

El diseño de la investigación fue cuantitativo para probar las hipótesis nulas, con respecto a la resistencia a la compresión, “La resistencia a la compresión es igual para todos los niveles de cada factor en estudio (edad y relación agua-cemento)” y con respecto al módulo de ruptura, “El módulo de ruptura es igual para todos los niveles de cada factor en estudio (edad y relación agua-cemento)”. Esta diferenciación de hipótesis se hizo puesto que para identificar el factor “k”, este depende de estas dos variables (resistencia a la compresión y módulo de ruptura) que solo pueden ser estudiadas de manera individual ya que ambas se obtienen por medio de muestreos y se ensayan con métodos diferentes. Se utilizó el método cuantitativo para la recolección y el análisis de datos para contestar las preguntas de investigación y probar las hipótesis establecidas. Todo esto se hizo aplicando la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de la población en estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, Metodología de la Investigación, 2010).

La población objetivo de la tesis era el concreto premezclado elaborado por la empresa CONETSA. Una vez definida la población se establecieron como muestra los especímenes de concreto (cilindros y vigas)² para resistencias a la compresión especificada de 2000 a 7000 psi que fueron ensayados a los 3, 7 y 28 días. De cada mezcla de concreto se tomaron dos especímenes para ser ensayados por compresión y dos para ser ensayados por flexión para cada día establecido, dando así una muestra total de 72 especímenes de concreto (36 cilindros y 36 vigas).

Los instrumentos utilizados para el muestreo fueron los siguientes:

Tabla 1. Instrumentos y procedimientos utilizados.

INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO	INDICADOR
Máquina mezcladora	Elaboración de mezclas de concreto	kg
Moldes para cilindros de concreto	Muestreo de mezcla	-
Moldes para vigas de concreto	Muestreo de mezcla	-
Máquina para compresión	Ensayo de cilindros de concreto	psi
Máquina para flexión	Ensayo de vigas de concreto	psi
Microsoft Excel	Ingreso de datos obtenidos	-
Minitab	ANOVA de dos factores	

Estos instrumentos y procedimientos fueron basados en las normas ASTM (ASTM, 2002).

RESULTADOS

Para poder llegar a obtener el valor “k” planteado y determinar el efecto que tiene el tiempo en la resistencia del concreto, se realizaron mezclas de concreto con diferentes resistencias para así poder notar el comportamiento de la misma.

DISEÑO DE MEZCLAS

Se prosiguió al diseño de mezcla bajo los criterios propuestos por el ACI bajo la norma ACI 211, siguiendo cada uno de los pasos para una mayor confiabilidad en los resultados a obtener. Al obtener las diversas proporciones de materiales para la mezcla de concreto, se realizaron correcciones debido a la humedad que presentaron los agregados al momento de la elaboración de la mezcla, así como a la adición de agua debido a la consistencia presentada. A continuación se presentan las proporciones de los materiales utilizados en las mezclas de concreto elaboradas.

² Los cilindros son utilizados para conocer la resistencia a la compresión y las vigas para conocer el módulo de ruptura.

Tabla 2. Componentes de las mezclas de concreto.

Mezcla	Cemento (lb)	Arena (lb)	Grava 3/4" (lb)	Grava 1/2" (lb)	Agua (lb)	Aditivo (ml)
2000 psi	77.9	319.4	96.5	224.5	47.2	138.3
3000 psi	93.7	306	96.5	224.5	47.5	166.2
4000 psi	118.4	283.2	96.5	224.5	51.8	210
5000 psi	154	255.4	96.6	223.86	52.5	273.2
6000 psi	201.8	188.8	90.8	209.98	66.6	358
7000 psi	250.1	147.3	90.8	209.98	81.6	443.7

Al obtener las distintas proporciones de materiales a emplearse en las mezclas de concreto se puede notar, que a medida se requiera alcanzar una resistencia mayor, la cantidad de cemento aumenta. Las casillas sombreadas en la tabla anterior indican las mezclas a las que se les adicionó agua de la requerida teóricamente debido a la consistencia que presentaban en el momento de la elaboración.

RELACIÓN AGUA-CEMENTO

La relación agua-cemento es importante en todo tipo de mezclas de concreto hidráulico, ya que influye directamente sobre la calidad del producto obtenido para el trabajo en obras de construcción. Se recomienda tener especial cuidado de esta propiedad ya que de ella se obtiene el nivel de resistencia de la mezcla de concreto. Al momento de la elaboración de las mezclas de concreto se puede obtener la relación agua-cemento empleada para cada una de ellas, ya que se cuenta con la cantidad de agua y cemento utilizados, como lo indica el enunciado anterior. En la Tabla 3, se muestra la relación agua/cemento obtenida para cada una de las mezclas.

Tabla 3 Relación agua/cemento para cada mezcla.

Mezcla	Relación Agua-Cemento
2000 psi	0.606
3000 psi	0.507
4000 psi	0.438
5000 psi	0.341
6000 psi	0.330
7000 psi	0.326

Como se observa en la tabla anterior, a medida la resistencia va aumentando, la relación agua-cemento es menor. En otras palabras, lo anterior nos indica que para obtener resistencias altas la cantidad de agua a emplearse debe ser menor en proporción de la cantidad de cemento.

PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El ASTM establece una serie de pruebas que se deben realizar a las mezcla de concreto en estado fresco, con el fin de determinar el comportamiento que este podría tener. Estas pruebas sirven para poder tener una idea de la calidad del concreto que se está produciendo, antes de que éste endurezca para así hacer las posibles correcciones. La siguiente tabla muestra los resultados de las pruebas al concreto fresco realizadas.

Tabla 4. Pruebas al concreto fresco realizadas

Pruebas	2000psi	3000psi	4000psi	5000psi	6000psi	7000psi
Revenimiento	6 3/4"	7"	7"	5 3/4"	7 1/2"	8 1/4"
Peso volumétrico lb/ft3	146	146.8	148	148.8	145.2	144
Contenido de aire %	0.9%	1.0%	1.1%	1.2%	0.8%	0.8%

Estos resultados obtenidos son importantes para ver el comportamiento que tendrán las distintas resistencias de las mezclas como se mencionó anteriormente. Estos resultados obtenidos indican que las mezclas producidas en esta investigación fueron de calidad y cumplían con lo establecidos por las normas ASTM (ASTM, 2002).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

La prueba para determinar la resistencia a la compresión y flexión del concreto se realizó a tres distintas edades, para determinar su comportamiento con el tiempo. Por cada edad, se tomaron dos testigos para cada muestra, obteniendo así un promedio para cada una de las resistencias a los diferentes días como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Resistencias del concreto obtenidas.

F'c diseño (psi)	Relación Agua-Cemento	Edad (días)	F'c (psi)	MR (psi)
2000	0.606	3	1918.7	458.33
		7	2369.63	522.21
		28	2767.52	635.42
3000	0.507	3	2696.79	516.67
		7	3359.93	750.72
		28	3899.29	825
4000	0.438	3	3881.6	552.08
		7	4385.59	630.25
		28	5013.37	850
5000	0.340	3	4429.8	472.92
		7	5437.78	756.25
		28	6277.76	968.75
6000	0.33	3	4668.53	700
		7	5510.73	694.67
		28	6067.77	839.58
7000	0.325	3	5155.9	768.97
		7	6246.82	942.94
		28	7082.38	945.83

Las resistencias del diseño en su mayoría fueron alcanzadas a los 7 días, como se observa en la tabla, esto se debe a que la resistencia de diseño o resistencia característica (f'_{cr}) era bastante conservadora. Para la optimización de recursos en las mezclas se recomienda interpolar los valores obtenidos para conocer con mayor precisión la relación agua-cemento que se debería emplear.

VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para poder determinar si se cumplían las hipótesis de investigación, se utilizó el programa de análisis estadístico Minitab, con el fin de determinar el comportamiento de los resultados, tanto para la resistencia a la compresión como a la flexión, se realizó un ANOVA de dos factores considerando la relación agua-cemento y la edad tanto para la resistencia a la compresión como a la flexión. En la siguiente figura se muestra el análisis realizado a la resistencia a la compresión.

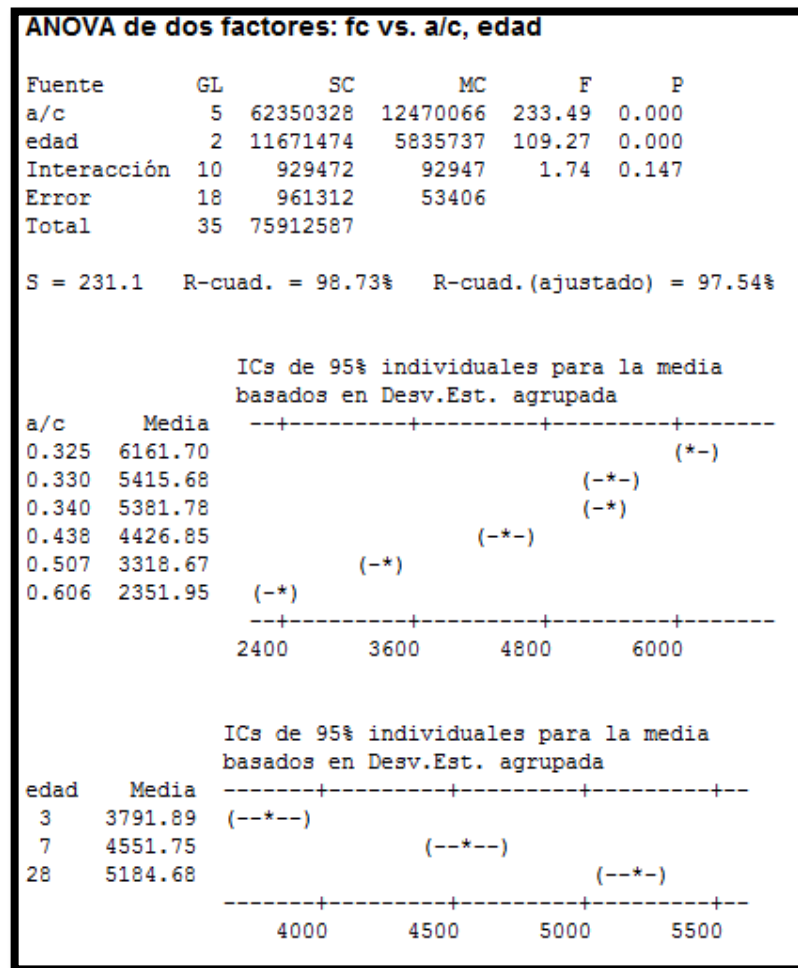


Figura1. ANOVA de dos factores para resistencia a la compresión.

Como se muestra, los valores de la resistencia a la compresión no se traslapan totalmente, estando dispersos tanto para las diferentes relaciones como para las edades. Este mismo análisis se hizo para la resistencia a flexión, notándose el mismo comportamiento. Por lo tanto, se concluye que las resistencias no son iguales para cada factor en estudio (edad y relación agua-cemento), rechazándose así la hipótesis nula.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR “K”.

El factor “k” es el valor de la relación MR entre la raíz cuadrada del F’c, por lo tanto ya teniendo los valores de dichas resistencias se pudo determinar este valor. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos:

Tabla 6. Factor “k” para cada relación a/c.

f'c diseño (psi)	Relación a/c	Edad (días)	k MR/(F'c ^{1/2})	f'c diseño (psi)	Relación a/c	Edad (días)	k MR/(F'c ^{1/2})
2000	0.606	3	10.46	5000	0.34	3	7.11
		7	10.73			7	10.26
		28	12.08			28	12.23
3000	0.507	3	9.95	6000	0.33	3	10.24
		7	12.95			7	9.36
		28	13.21			28	10.78
4000	0.438	3	8.86	7000	0.325	3	10.71
		7	12.95			7	11.93
		28	12			28	11.24

Como se observa en la tabla anterior, el factor “k” está por encima del propuesto por el PCA de 7.5 a la edad de 28 días para cada una de las relaciones agua-cemento. Esto indica que la resistencia a la flexión es mayor, esto se debe a la calidad de los agregados con el que se trabajó. Por medio del ANOVA de dos factores realizado para el factor “k” se encontró que este factor para estos materiales utilizados en la investigación puede ser utilizado como lo muestra la Tabla 7.

Tabla 7. Factor k según ANOVA.

f'c diseño (psi)	Relación a/c	Factor k	Factor k según ANOVA
2000	0.606	11.09	11.19
7000	0.325	11.29	
3000	0.507	12.04	12.04
4000	0.438	11.27	10.42
5000	0.34	9.87	
6000	0.33	10.13	

Según los resultados obtenidos y el análisis de varianza hecho, se observó que para las resistencias especificadas de 2000 y 7000 no hubo diferencia significativa, es decir que el factor “k” puede ser uno mismo, como se muestra en la tabla. Esto mismo se repite para las resistencias de 4000, 5000 y 6000 psi. Sin embargo, para la resistencia de 3000 psi no se puede concluir lo mismo ya que este valor según el ANOVA se presentó de forma aislada. Cabe destacar que estos factores “k” solo pueden ser utilizados y aplican únicamente a los materiales utilizados en esta investigación.

CONCLUSIONES

Como respuesta a los objetivos planteados se presentan las siguientes conclusiones: Se rechaza la hipótesis nula, puesto que la resistencia a la compresión y módulo de

ruptura del concreto presenta diferencias significativas en relación a su edad y a la relación agua-cemento utilizada. En cuanto a las mezclas de concreto hidráulico que fueron diseñadas, elaboradas y con las cuales se determinó la resistencia a la compresión y el módulo de ruptura, debido a que fueron diseñadas con una resistencia característica (f'_{cr}), sabiendo que esta resistencia es mayor a la especificada (f'_c), las resistencias fueron alcanzadas a una edad de 7 días, excepto las mezclas con dosificación de 6000 y 7000 psi ya que al momento de su elaboración se les agregó más agua que la estipulada en el diseño. Haciendo notorio, esto último, que el agua toma un papel muy importante en las mezclas de concreto con respecto a la resistencia que se desea alcanzar.

Se observó que la relación agua-cemento es un factor determinante para la resistencia del concreto. Al momento de hacer el diseño de la mezcla, esta relación se obtiene de una forma teórica, sin embargo puede sufrir cambios según las condiciones en que se encuentren los materiales en el sitio y la consistencia que la mezcla presenta al momento de elaborarla. Al obtener el factor “k” de la relación del módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto, se identificó que este es mayor que el rango propuesto por el PCA de 7.5-10 dando una media de a los 3 días de 9.56, a los 7 días de 10.79, a los 28 días de 11.92. Esto se debe a que el agregado grueso proveniente de CONETSA presenta excelentes características.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM. (2002). *Evaluation of strength test results of concreto (ACI214-R)*.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación.

“LA REVISTA INNOVARE NO SE HACE RESPONSABLE EN NINGÚN CASO DE LOS CONTENIDOS, DATOS, CONCLUSIONES U OPINIONES VERTIDAS EN LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS, SIENDO ESTA RESPONSABILIDAD EXCLUSIVA DEL (DE LOS) AUTOR (AUTORES)”