

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTO TIPO CPCA

TECHNICAL EVALUATION OF RESISTANCE TO COMPRESSION IN CONCRETES MADE WITH CPCA CEMENT

M. Rincon¹, H. Bolognini², L. Vela³, D. Meza⁴, C. Angulo⁵

Recibido 09/07/2016: Aprobado: 25/10/2016

RESUMEN

En los últimos años en Venezuela se ha presentado una crisis en la demanda, comercialización y producción del cemento, material necesario para la construcción, por lo cual se han venido utilizando cementos adicionados sin ningún tipo de regulación. En este trabajo se presenta la caracterización físico-mecánica de tres mezclas de concreto con relación agua/cemento de 0,45 y relación agua/cemento de 0,60 con diferentes tipos de cemento Portland, Tipo I, Tipo CPCA1, y la tercera mezcla corresponde a Tipo CPCA1 retribuyéndole el 15% de adición en su propio peso, desarrollando una mezcla de mejor calidad. Estos concretos se caracterizaron según: asentamiento, tiempo de fraguado, porcentaje de porosidad total, porcentaje de absorción de agua y resistencia mecánica a la compresión. Los resultados demostraron que la mezcla de concreto elaborada con CPCA1 no cumple con los requisitos mínimos establecidos en la norma venezolana para su uso en la elaboración de concreto estructural, ya que entre otros parámetros su resistencia a la compresión está por debajo del valor de diseño. En cuanto al CPCA1 retribuyéndole el 15% de adición en su propio peso cumple con los requisitos establecidos, y puede ser utilizado en la fabricación de elementos estructurales de concreto.

Palabras clave: Resistencia a la compresión, Cemento Portland Tipo I, Cemento Adicionado

¹Docente Investigador de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Correo: mrincon@ucla.edu.ve

²Docente Investigador de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Doctor en Ingeniería Universidad del Zulia. Correo: hbolognini@ucla.edu.ve

³Ingeniero civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Correo: lilianap800@gmail.com

⁴Ingeniero civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Correo: dannye221@hotmail.com

⁵Estudiante ingeniería civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Correo: carmeniangulo@gmail.com

ABSTRACT

In recent years Venezuela has presented a crisis on the demand, commercialization and production of cement, the material needed for construction, therefor additive cements are being used without any type of regulations. This work presents the physical-mechanical characterization of three concrete mixtures with water / cement ratio of 0.45 and water / cement ratio of 0.60 with different types of Portland cement, Type I, Type CPCA1, and the third mixture corresponds to Type CPCA1 Rewarding it with a 15% addition in his own weight, developing a mixture of better quality. These concretes were characterized by: settling, setting time, percentage of total porosity, percentage of water absorption and mechanical resistance to compression. The results showed that the concrete mixture produced with CPCA1 does not meet the minimum requirements established in the Venezuelan standard for use in the elaboration of structural concrete, because among other parameters its resistance to compression it's below the design value. As for the CPCA1 giving it 15% addition in its own weight meets the requirements, and can be used in the manufacture of concrete structural elements.

Keywords: *Compressive strength, Portland cement Type I, ADDED Cement*

1. INTRODUCCIÓN

Durante décadas, el cemento Portland ha sido el más utilizado y conocido en todo el mundo. Sin embargo, con el pasar de los años los países se han visto en la necesidad de producir cementos que permitan el ahorro de energía y eliminación de materiales de desecho, modificando así las propiedades químicas, mecánicas y físicas de las mezclas de concreto. Existen grandes ventajas en la utilización de éstos últimos, denominados cementos adicionados ya que están fabricados para mejorar características específicas de la mezcla original, aportando nuevas cualidades al concreto fresco y endurecido, dependiendo del uso requerido.

De acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN [1], se define el Cemento Portland con adiciones, como el producto obtenido por la pulverización conjunta de clinker Portland y otros materiales como caliza, cenizas volantes, puzolanas, con la adición de agua y sulfato de calcio, para ser usados en la producción de concretos y morteros para usos específicos. La piedra caliza ha sido históricamente, el material más disponible para lograr la sustitución del clinker y por lo tanto se ha utilizado comúnmente en la industria del cemento para tal efecto.

En los últimos años se ha observado el incremento del uso de estos tipos de cemento adicionados en la industria de construcción de Venezuela en especial el tipo CPCA, en muchos casos desconociendo sus características y el uso para el cual han sido fabricados, utilizándose en elementos estructurales, en los cuales no es recomendado, esto como consecuencia directa de la crisis existente de demanda, comercialización y producción del cemento Portland Tipo I.

Por esto es necesario ampliar el conocimiento de las propiedades físico mecánicas de los concretos elaborados con este tipo de cemento, ya que de ellas dependerá el cumplir con las exigencias para su uso estructural que permitan garantizar un concreto resistente, durable y por tanto edificaciones de calidad. Así mismo, esta norma define el CPCA 1 como aquel cuyo contenido de caliza u otro material calcáreo es menor o igual al 15 % del peso total. En cuanto al CPCA 2, indica que el contenido de caliza u otro material calcáreo es mayor al 15 % y menor o igual al 30 % del peso total. Estos tipos, están formulados para su uso en la producción de concretos y morteros que requieren mejorar la estabilidad, durabilidad, plasticidad, adherencia y capacidad de retención de agua.

El cemento adicionado Portland Tipo CPCA1 es elaborado en Venezuela por las principales empresas cementeras del país, para su venta a un precio inferior al Portland tipo I, cumpliendo con la carta técnica exigida por la norma COVENIN 3134:04, pero sin especificar su uso más adecuado en construcción; por ejemplo su uso estructural y/o bajo condiciones ambientales agresivas [2]. Como se puede observar a pesar de su amplio uso, la normativa venezolana no designa condiciones particulares para las características de estos cementos con adiciones de caliza, ni indica el uso específico para los diferentes elementos constructivos, solo exige como requisitos físico-mecánicos los mismos establecidos para cementos Portland tipo I [3]. Con lo cual, evidentemente, no es posible realizar sin un cambio en la proporción del cemento adicionado.

Por estas razones es relevante evaluar las limitantes técnicas sobre el uso de éstos en la fabricación de concreto para elementos estructurales, lo que contribuirá en gran medida a mejorar la calidad, durabilidad y resistencia de las edificaciones en Venezuela. Así, el presente trabajo se orienta en la evaluación técnica de la resistencia a la compresión en concretos elaborados utilizando cementos tipo CPCA, que permitan mostrar una alternativa para mantener los estándares de resistencia en concretos utilizados en elementos estructurales.

2. DESARROLLO Y METODOLOGÍA

De acuerdo con Bolognini “El tipo de cemento puede determinar la vida útil de las estructuras de concreto. El uso de cementos adicionados tiene ventajas, desventajas, características y propiedades donde el secreto del éxito radica en saberlos usar y conocer los criterios técnicos para emplearlos” [4]. Igualmente, “El cemento con adiciones puede influir en la resistencia del concreto y por ende, en la vida útil de la estructura” [4]. De esta forma, es determinante realizar una adecuada mezcla de concreto para garantizar resistencia, durabilidad y seguridad en la obra.

En Venezuela, entre otros sistemas constructivos, se utiliza el de muros de mampostería confinada, en las que el esqueleto estructural está conformado principalmente por las columnas, las cuales se encargan de soportar la mayor parte de la carga de la estructura, conjuntamente con los muros de mampostería. En este tipo de construcción se ha utilizado el cemento adicionado Portland CPCA1, más no se ha verificado si representa un uso adecuado del mismo. Por esto se hace necesario realizar estudios de prueba para comprobar si demuestra ser apto para estos tipos de construcciones estructurales [2].

En la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado se han realizado diversos estudios siguiendo una línea de investigación referentes a estos tipos de cementos adicionados, evaluando sus características mecánicas, físicas y químicas, arrojando resultados comunes que evidencian un comportamiento diferente al característico de los concretos realizados con cemento Portland tipo I, especialmente en las propiedades mecánicas y de resistencia siendo menores a las establecidas por la norma. En relación a estos estudios se puede citar a Gonzalez a [5] quienes concluyeron que la caracterización de los tres tipos de cementos adicionados utilizados, en sus propiedades físicas se cumplió a cabalidad, mientras que en las mecánicas no. Por lo que se recomendó continuar la investigación, con el propósito de estudiar su composición química de manera de poder orientar en el tipo de adición y su proporción.

Igualmente en [2] se expresó en función de los resultados obtenidos, que las mezclas de concreto hechas con este tipo de cemento, no cumplen con los requisitos exigidos por las normas venezolanas, en términos de durabilidad y resistencia, por lo cual no es recomendado para la elaboración de concreto armado de uso estructural, especialmente en ambientes agresivos. Por otra parte, es necesario utilizar un criterio para el diseño de mezclas de concreto con la utilización de cementos CPCA, por ser diferente en su composición, en este sentido en [6] se expuso que los resultados obtenidos determinaron que el método de diseño de mezcla que se adapta mejor a la caracterización de mezclas utilizando cementos adicionados CPCA1 es el de la American Concrete Institute (ACI), ya que mecánicamente se obtienen mejores resistencias y es óptimo para el consumo, pero a la misma vez resultó muy poroso en comparación con el método porrero. Tomando esto en consideración se utilizaron dos diseños de mezclas por el método ACI uno para relación agua/cemento 0,45 y otro con relación agua/cemento 0,60.

Los materiales utilizados fueron: Cemento Portland Tipo I, Cemento Adicionado tipo CPCA1, agregado grueso, agregado fino, y el agua de mezclado que cumplió los requisitos

establecidos en la norma venezolana COVENIN 2385:2000 [7]. El estudio realizado se divide en su metodología en cuatro fases fundamentales: caracterización de los agregados, diseño de mezcla, caracterización del concreto en estado fresco y caracterización del concreto en estado endurecido.

2.1 Fases del Estudio

Fase I. Caracterización de los agregados

La caracterización de los agregados se realizó mediante ensayos técnicos apegados al cumplimiento de las especificaciones de la Norma Venezolana COVENIN 277-2000 [8].

Fase II. Diseño de mezcla

Se requirió el diseño de dos mezclas patrón, las cuales fueron elaboradas con cemento Portland Tipo I y con relaciones agua/cemento 0,45 y 0,60 respectivamente, las cuales sirvieron como base de comparación para un conjunto de 4 mezclas elaboradas con cemento Portland Tipo CPCA1 sujetas a las mismas condiciones de diseño. Se utilizó el método de diseño ACI [9], el cual consiste en la determinación de las proporciones de los componentes de la mezcla de concreto siguiendo una secuencia lógica, mediante pasos de avance que se adaptan a las características de los materiales a emplear, con la única finalidad de diseñar una mezcla que se adapte a dichas características que sea adecuada para cumplir con las especificaciones del trabajo a ejecutar.

Para este tipo de diseño es necesario conocer ciertas características de los componentes de la mezcla tales como:

- Tipo de Miembro Estructural: se eligieron columnas por ser uno de los elementos estructurales que soporta mayor carga de la edificación.
- Relación agua cemento (a/c): se utilizó una relación de a/c de 0,45 y 0,60 por ser los valores extremos en el diseño de las mezclas de concreto, el primero muy bueno y el segundo deficiente, enmarcados en los ensayos realizados por el Proyecto DURACON [10].
- Tamaño máximo
- Peso unitario compacto del agregado grueso (PUC)
- Peso específico aparente del agregado grueso (Gg)
- Peso específico aparente del agregado fino (Gf)

- Peso específico del cemento

En la Tabla 1 se muestran los valores calculados por este método para dos relaciones de agua cemento.

Tabla 1. Valores calculados del método ACI para diseño de mezcla basado en relaciones $a/c = 0,45$ y $a/c = 0,60$

Parámetros del diseño de mezcla patrón	a/c: 0,45	a/c: 0,60
Selección del asentamiento	4 pulgadas (T) de 10,00 cm	4 pulgadas (T) de 10,00 cm
Estimación del agua de mezclado y del contenido del aire	A = 195 lt % aire atrapado = 1,5	A = 195 lt % aire atrapado = 1,5
Selección de la relación agua cemento	$a/c = 0,45$ (Fc')= 380,00 kgf-f/cm ² .	$a/c = 0,60$ (Fc')= 264,00 kgf-f/cm ² .
Cálculo del contenido de cemento	433,33 kgf/m ³	325,00 kgf/m ³
Estimación del contenido de agregado grueso	826,34 kgf	826,34 kgf
Estimación del contenido de agregado fino	886,75 kgf	979,26 kgf

Fase III. Caracterización del concreto en estado fresco

- Medición del Asentamiento, Norma COVENIN [11].
- Elaboración de las probetas: se elaboraron y ensayaron a compresión 36 probetas estandarizadas de 15,00 cm de diámetro y 30,00 cm de altura según la norma COVENIN [12] las cuales corresponden a 6 mezclas elaboradas con los diferentes tipos de cemento y las diferentes relaciones agua/cemento. Con estos ensayos a compresión se evaluó el comportamiento mecánico de cada una de las mezclas según sus condiciones.
- Tiempo de fraguado, Norma COVENIN [13].

Fase IV. Caracterización del concreto en estado endurecido

- Resistencia a la compresión [14].
- Absorción de agua y porosidad: Estos ensayos se realizaron según la metodología descrita en el manual DURAR [15].

3. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados para la caracterización de los agregados, así como la evaluación física y mecánica de cada una de las mezclas de concreto.

3.1. Caracterización de los Agregados

El siguiente resumen (ver Tabla 2) refleja los resultados provenientes de la caracterización del agregado grueso y del agregado fino, aportando la información necesaria para su comparación

con los valores mínimos aceptables reseñados en la norma COVENIN [8] para cada uno de los ensayos.

Tabla 2. Resultados de la caracterización del agregado grueso.

Caracterización del agregado grueso		
Ensayo	Valor obtenido	Valores Normativos
Peso específico (grs/cm³)	2,56	2,5– 2,7
% Absorción	0,726	< 5
% más fino que el cedazo 200	1,8	< 1
Peso Unitario Suelto (kgf/cm³)	1420,14	1450 - 1650
Peso Unitario Compacto (kgf/cm³)	1541, 69	1650 - 1850
% Desgaste	21,94	< 40
Tamaño Máximo	2,54 cm	2,54 cm

Se observa que el valor del peso específico del agregado grueso se encuentra dentro del límite señalado, el porcentaje de absorción es menor a 5%, el porcentaje más fino que el cedazo 200 es de 1,8% superando el límite de 1% lo que significa que el agregado cuenta con mayor cantidad de finos; el peso unitario suelto y el peso unitario compacto presentaron valores dentro del rango normalizado, el porcentaje de desgaste es menor al 40% y su tamaño máximo es 1", lo cual indica que es un agregado resistente al desgaste, absorbe una pequeña cantidad de agua que no afecta la plasticidad y cumple con la norma COVENIN.

En cuanto a la granulometría del agregado grueso, se realizaron las respectivas curvas granulométricas y la misma se encontró dentro de los valores establecidos por la norma COVENIN 277:2000, por lo cual tiene una buena gradación y trabajabilidad. En la Tabla 3 se muestran los resultados de la caracterización del agregado fino.

Tabla 3. Resultados de la caracterización del agregado fino

Caracterización del agregado fino		
Ensayo	Valor obtenido	Valores Normativos
Peso específico (grs/cm³)	2,69	2,5 - 2,7
% Absorción	2,04	< 5
% más fino que el cedazo 200	5,59	<15
Peso Unitario Suelto (kgf/cm³)	1719,49	1500 - 1600
Peso Unitario Compacto (kgf/cm³)	1996,11	1600 - 1900
Módulo de finura	4,14	Gruesa > 3,1
Impurezas orgánicas	No presenta	No presenta
Cloruros	Si presenta	Ensayar en laboratorio
Sulfatos	Si presenta	Ensayar en laboratorio

Se evidencia que el valor del peso específico del agregado fino se encuentra dentro del límite establecido, el porcentaje de absorción es menor a 5%, el porcentaje más fino que el cedazo

200 es menor que 15%, el peso unitario suelto y el peso unitario compacto se encuentran por encima del rango normalizado, el módulo de finura es mayor que 3,1. Hay ausencia de impurezas orgánicas, los cuales se ensayaron cualitativamente en el laboratorio con resultados dentro de los parámetros de aceptación de la norma, sin embargo, si presenta cloruros y sulfatos. Estos valores indican que es un agregado que absorbe poca agua, considerándose como arena gruesa, permitiendo baja trabajabilidad en la mezcla. Se observa que en su mayoría los valores se encuentran dentro del rango establecido por la norma COVENIN [1], sin embargo por ser arena gruesa un pequeño porcentaje quedó retenido en el tamiz 1,91 cm, lo cual no afecta la granulometría y es apropiada para la elaboración de concretos.

Es necesario resaltar que uno de los factores que en la práctica debe considerarse como variable importante, es la calidad granulométrica de los agregados, entendiéndose por tal la granulometría y el tamaño máximo. Los agregados, son fragmentos o granos, usualmente pétreos, cuya finalidad es abaratar la mezcla de concreto y dotarla de ciertas características que la favorezcan, como la disminución de la retracción de fraguado. Estos agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, alcanzan a representar entre el 70% y el 85% de su peso, por esto son de gran importancia sus propiedades para la calidad final de la mezcla.

Las características de los agregados empleados deberán ser aquellas que beneficien el desarrollo de ciertas propiedades en el concreto, como la trabajabilidad, adherencia con la pasta, y el desarrollo de resistencias mecánicas. Además, existe una relación entre las características de los agregados y la trabajabilidad, la dosis de cemento, y la relación agua/cemento. Además las impurezas pueden afectar el fraguado y la granulometría a la exudación y retracción [16].

3.2. Descripción del Método de Diseño

Método de diseño ACI

El método consiste en la determinación de las proporciones de los componentes de la mezcla de concreto siguiendo una secuencia lógica, mediante pasos de avance que se adaptan a las características de los materiales a usar, con la única finalidad de diseñar una mezcla que se adapte a dichas características y que sea la adecuada para cumplir con las especificaciones del trabajo a ejecutar. Las dosificaciones obtenidas de los diseños de mezcla según el método American Concrete Institute (ACI) [9] para cada tipo de cemento y cada relación agua/cemento se presentan en la Tabla 4:

Tabla 4. Dosificaciones obtenidas según el método American Concrete Institute (ACI). Fuente: [9]

Dosificaciones obtenidas según el método American Concrete Institute (ACI)					
Tipo de cemento	Relación agua/cemento	Componentes de la mezcla en kg/cm ³			
		Piedra	Arena	Cemento	Agua
PTI	0,45	826,34	886,75	433,33	195
PTI	0,60	826,34	979,26	325,00	195
CPCA1	0,45	826,34	886,75	433,33	195
CPCA1	0,60	826,34	979,26	325,00	195

Es resaltante exponer que las dosificaciones para cada relación agua/cemento no varían con respecto al tipo de cemento usado en las mezclas, esto debido a que para la realización de un análisis comparativo deben estar sometidas a las mismas condiciones variando solo el tipo de cemento para que de esa manera las conclusiones tengan la sustentabilidad adecuada. Adicionalmente se realizaron dos mezclas utilizando cemento Portland tipo CPCA1 con las mismas relaciones agua/cemento y bajo las mismas condiciones de las anteriores, solo que a la dosificación de cemento se le retribuyó el 15% de adición que posee en su propio peso, resultando las siguientes dosificaciones (ver Tabla 5).

Tabla 5. Dosificaciones obtenidas al sustituir el 15% de adición en peso propio

Dosificaciones obtenidas según el método American Concrete Institute (ACI)					
Tipo de cemento	Relación agua/cemento	Componentes de la mezcla en kg/cm ³			
		Piedra	Arena	Cemento	Agua
CPCA1 ADC	0,45	826,34	886,75	509,80	195
CPCA1 ADC	0,60	826,34	979,26	382,35	195

En la Figura 1 se muestra la cantidad de cemento Portland tipo CPCA1 utilizado en la mezcla con relación agua/cemento 0,45 y 0,60 vs., la cantidad de cemento Portland tipo CPCA1 utilizado en la misma mezcla retribuyéndole el 15% de adición en peso propio.

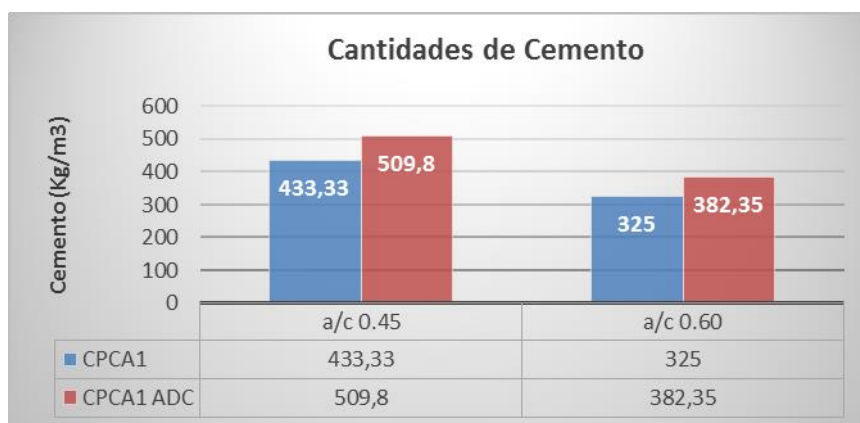


Figura 1. Cantidades de cemento CPCA 1 para a/c 0,45 y a/c 0,60

En la figura se observa que para cada relación agua/cemento al retribuir el 15% de adición que posee el cemento Portland tipo CPCA1 en su propio peso, la cantidad de cemento se aumenta en un 17,65%, en comparación a las mezclas anteriores, manteniendo los valores de las dosificaciones de los demás componentes. Este porcentaje aumentado se obtuvo mediante la incorporación progresiva del 15% de cada peso de CPCA1 adicionado, esta técnica se realizó para garantizar un aumento de 15% basado en la cantidad de Clinker en el cemento. A continuación se muestra el proceso iterativo para llegar a estas cantidades de cemento incrementado (ver Tabla 6)

Tabla 6. Proceso de incremento del 15% en peso propio de CPCA1

Proceso de incremento del 15% en peso propio de CPCA1			
Relación a/c		0,45	0,60
Iteraciones	Peso Inicial kgf/m ³	433,33	325
1	15%	65,00	48,75
2	15%	9,75	7,31
3	15%	1,46	1,10
4	15%	0,22	0,16
5	15%	0,03	0,02
Peso Incrementado kgf/m ³		76,46	57,35
Peso Final kgf/m ³		509,80	382,35
% Incrementado		17,65	17,65

Se aprecia en la tabla que las dos mezclas convergen a una misma cantidad de iteraciones (cinco), la última e reconoce al observar que el valor del peso es prácticamente despreciable, dando igual cantidad de porcentaje de cemento adicionado 17,65% para las dos relaciones de a/c estudiadas. Observando la relación a/c 0,45 se parte de un peso inicial de CPCA1 de 433,33 kgf/m³ y se obtiene un peso final de 509,80 kgf/m³ de CPCA1 ADC.

Es necesario acotar, que el diseño de mezcla es el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades que debe haber de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto. Los requisitos que una dosificación apropiada deben cumplir son: economía y manejabilidad en estado fresco, resistencia, aspecto y durabilidad en estado endurecido. En este caso se utilizó el método ACI para el diseño de mezcla patrón debido a estudios previos que evidenciaron un mejor comportamiento en concretos elaborados con cemento CPCA en relación a la resistencia mecánica.

3.3. Caracterización de Concreto en Estado Fresco

Asentamiento COVENIN 339-2003

Se midió el grado de trabajabilidad (asentamiento) mediante el ensayo del cono de Abrams para cada mezcla de concreto elaborada, resultando los valores mostrados en la Tabla 7:

Tabla 7. Valores de asentamiento para cada mezcla de concreto

Relación agua/cemento	Asentamiento obtenido (cm)			Asentamiento Esperado (cm)
	Portland tipo I	CPCAI	CPCAI ADC	
0,45	6	8	6	10
0,60	9	10	8	10

Se distingue, que en las seis mezclas con cada tipo de cemento el valor del asentamiento para la relación agua/cemento 0,45, fue menor que el valor obtenido para la relación agua/cemento 0,60 debido a que en la aplicación del método ACI el valor del agua fue constante, mientras que el valor del cemento fue mayor para a/c 0,45 en comparación con la cantidad que se usó con a/c 0,60. Así mismo, se puede destacar que los valores de los asentamientos aumentaron al usar cemento Portland tipo CPCAI con respecto a las mezclas en las que se usó cemento Portland Tipo I dejando en claro que al usar CPCAI se obtienen mezclas con mejor trabajabilidad. En cuanto a las mezclas donde se retribuyó el 15% de adición al cemento CPCAI, los valores de asentamiento disminuyeron en comparación con las mezclas en las que se usó el mismo cemento, ya que la cantidad usada fue superior a la cantidad de agua se mantuvo constante. Cabe destacar que todas las mezclas cumplieron con valor establecido de asentamiento de diseño el cual se tomó como valor máximo 10,00 cm.

Tiempo de fraguado COVENIN 352-1979

El tiempo de fraguado se midió para cada mezcla y tipo de cemento desde el momento en que el agua entró en contacto con el cemento de la mezcla, y siguiendo lo establecido en la norma COVENIN [12]. Los resultados se muestran a continuación (ver Tabla 8):

Tabla 8. Tiempo de fraguado final e inicial para cada tipo de cemento a/c 0,45 y a/c 0,60

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO					
a/c	Cemento	Tiempo Inicial (min)	Tiempo Final (min)	Valor Normativo	
				Tiempo Inicial mínimo (min)	Tiempo Final máximo (min)
0.45	PORTLAND I	317	446	45	480
	CPCA 1	347	473	45	480
	CPCAI ADC	315	419	45	480
0.60	PORTLAND I	453	568	45	480
	CPCA 1	458	623	45	480
	CPCAI ADC	427	509	45	480

En los valores de tiempo de fraguado que presenta la Tabla 8 se evidencia que el tiempo de fraguado inicial aumenta al usar cemento Portland tipo CPCAI, en comparación cuando se emplea cemento Portland Tipo I. Lo mismo ocurrió con los valores del tiempo de fraguado final. Sin embargo, en el caso de la mezcla en la que se retribuyó el 15% de adición al cemento Portland tipo CPCAI en su propio peso, se observó que los tiempos de fraguado inicial y final disminuyeron en comparación a los valores registrados en las mezclas anteriores para las dos relaciones de a/c, siendo menores las de 0,45.

3.4. Caracterización del Concreto en Estado Endurecido

Porosidad y absorción de agua (fagerlund)

El ensayo de porosidad se realizó para cada una de las mezclas de concreto, para un total de 36. A continuación se muestra en la Tabla 9 el resumen con los resultados promedios de porosidad obtenidos por relación agua/cemento.

Tabla 9. Porcentaje de porosidad total promedio para diseños de mezcla con a/c 0,45 y a/c 0,60

Cemento	%Porosidad Total Promedio	%Porosidad Total Promedio
	a/c = 0,45	a/c = 0,60
Portland Tipo I	16,24	17,67
Portland CPCA1	17,09	17,87
Portland CPCA1 ADC	15,78	17,55

De acuerdo a los valores obtenidos se evidencia que el concreto con mayor porosidad total es el Portland tipo CPCA1, y el de menor porcentaje el Portland tipo CPCA1 ADC, colocándolo como el más favorable en cuanto a la porosidad total, siendo menor la correspondiente a la relación a/c de 0,45, aunque el resultado se encuentra por encima del 15%, lo cual implica “durabilidad inadecuada” según lo establecido en el Manual DURAR [15]. Lo que indica que las mezclas de concreto elaboradas son muy porosas, estos resultados eran de esperarse por el método de diseño utilizado, cabe destacar que éste parámetro depende de la fluidez de la mezcla y la calidad de compactación del concreto. Sin embargo la diferencia de porcentaje entre los tres tipos de concretos elaborados no es significativa, no representando un cambio en el comportamiento de los mismos.

En cuanto al porcentaje de absorción de agua sigue el mismo comportamiento que el porcentaje de porosidad total, y la diferencia entre estos resultados es poca por tanto tendrán el mismo comportamiento (ver Tabla 10).

Tabla 10. Porcentaje de absorción de agua promedio para diseños de mezcla con a/c 0,45 y a/c 0,60.

Cemento	%Absorción de agua Promedio	%Absorción de agua Promedio
	a/c = 0,45	a/c = 0,60
Portland Tipo I	7,26	8,00
Portland CPCA1	7,69	8,03
Portland CPCA1 ADC	6,97	7,96

Medida a la resistencia a la compresión COVENIN 338-2002

Para la evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas elaboradas con ambos tipos de cementos se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días [18], sometiendo los resultados obtenidos de cada mezcla a lo que establece la norma COVENIN 1976-03, la cual establece los siguientes dos criterios de aceptación y rechazo que deben

cumplirse simultáneamente.

- La media de la resistencia entre tres ensayos de compresión consecutivos debe ser mayor a la resistencia de diseño.
- La resistencia de cada ensayo individual a compresión debe ser mayor a la resistencia de diseño menos 35 kgf/cm².

Se ensayaron 6 probetas cilíndricas para cada mezcla realizada midiendo la resistencia para cada cilindro, los resultados se presentan a continuación según el tipo de cemento usado (ver Tabla 11).

Tabla 11. Resistencia a la compresión a 28 días para mezclas con cemento PTI, CPCA1, CPCA1 ADC

Portland Tipo I							Media	F'c Diseño	F'c Diseño -35
a/c 0,45	414,86	410,27	394,97	398,53	398,53	379,81	399,33	380,00	345,00
Prom	412,57		396,75		388,68				
a/c 0,60	289,22	246,39	277,24	252,00	279,70	265,35	268,3	264,28	229,28
Prom	267,81		264,62		272,53				
CPCA1							Media	F'c Diseño	F'c Diseño -35
a/c 0,45	366,79	288,03	305,91	323,97	317,31	301,57	317,26	380,00	345,00
Prom	327,41		314,94		309,44				
a/c 0,60	213,17	189,85	201,85	228,54	200,04	220,91	209,06	264,28	229,28
Prom	201,51		215,20		210,48				
CPCA1 ADC							Media	F'c Diseño	F'c Diseño -35
a/c 0,45	383,78	382,25	460,53	387,86	424,35	384,87	403,94	380,00	345,00
Prom	383,02		424,20		404,61				
a/c 0,60	288,93	274,57	307,32	296,01	271,34	281,30	286,58	264,28	229,28
Prom	281,75		301,67		272,32				

En la Tabla 11 se muestra que los valores de resistencia a la compresión al usar cemento Portland Tipo I fueron aceptables, satisfaciendo los criterios de aceptación y rechazo establecidos en la norma COVENIN 1976-03. En los valores correspondientes a la relación a/c 0,45 todos los resultados estuvieron por encima de los requeridos, sin embargo en la resistencia de la relación a/c 0,60 se observaron dos valores que fueron ligeramente inferiores a la resistencia de diseño.

Mientras que al evaluar los resultados del cemento CPCA1 fueron no aceptables debido a que no cumplieron el doble criterio de aceptación que establece la norma COVENIN, solo un

valor individual estuvo por encima de $f'c$ Diseño – 35. Por lo tanto el concreto obtenido de esta mezcla es rechazado para su uso estructural. Sin embargo, al observar las resistencias dadas al usar el cemento CPCA1 ADC, éstas en varios casos son mayores a los valores del cemento Portland tipo I, y el concreto cumplió satisfactoriamente con lo establecido en la norma COVENIN.

En las Figuras 2 y 3 se observa que los valores de la resistencia a la compresión para las relaciones agua/cemento mostradas tienen una variación en función del tipo de cemento usado, las resistencias al utilizar cemento Portland Tipo I (PTI) superaron los valores de la resistencia de diseño para cada caso, mientras que al usar el cemento Portland tipo CPCA1 los valores de la resistencia disminuyeron considerablemente hasta el punto en que fueron inferiores a las resistencias de diseño.

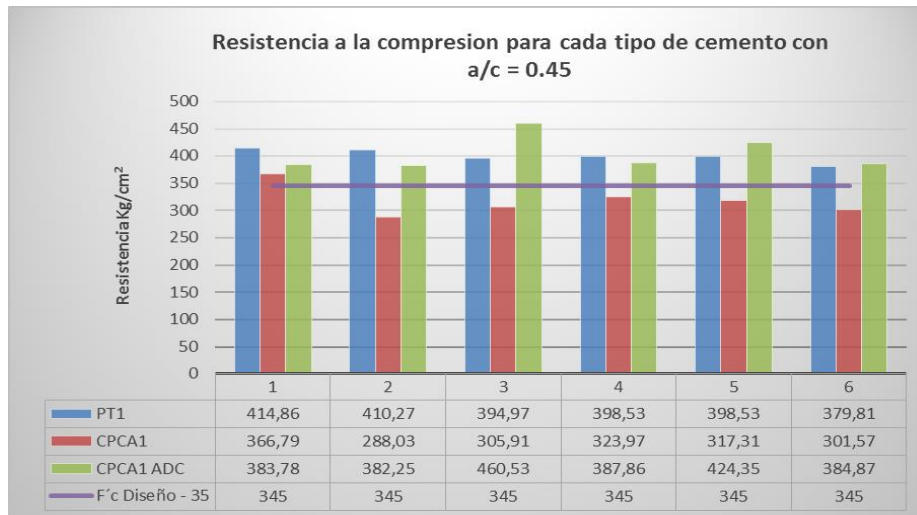


Figura 2. Resistencia a la compresión de ensayos individuales para cada tipo de cemento con a/c 0,45.

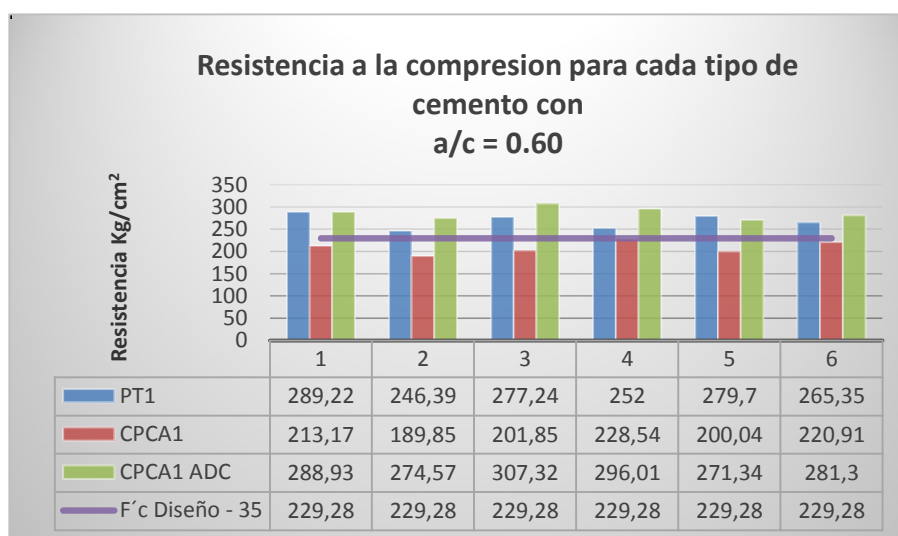


Figura 3. Resistencia a la compresión de ensayos individuales para cada tipo de cemento con a/c 0,60.

Al utilizar de nuevo el cemento Portland tipo CPCA1 pero ahora retribuyéndole al 15% de

adición que posee por ser un cemento adicionado en su propio peso (CPCA1 ADC) los valores de las resistencias tuvieron un incremento considerable hasta el punto en que superaron las resistencias de diseño para ambas relaciones agua/cemento.

De acuerdo a la Figura 4 se puede apreciar que las resistencias obtenidas para la relación a/c de 0,60 son considerablemente menores a las obtenidas para la relación a/c de 0,45, además de observar que los valores para CPCA1 resultaron deficientes en ambas relaciones, y el concreto elaborado con CPCA1 ADC logró desarrollar resistencias mayores al Portland Tipo I. Se debe destacar que la resistencia a la compresión sufrió una variación en función del tipo de cemento usado, ya que las condiciones de las mezclas fueron las mismas manteniendo las dosificaciones y variando solamente el tipo de cemento, sin embargo en la mezcla de CPCA1 ADC la cantidad de cemento empleado fue superior (17%) para cumplir con el 15% de adición en peso propio.

En base a los resultados obtenidos de asentamiento, tiempo de fraguado, porcentaje de porosidad y de absorción de agua, se observa que fueron menores para CPCA1 ADC; y al evaluar la resistencia a la compresión fue aceptable siendo una de las mayores. Por lo que, se puede decir que el cemento CPCA1 ADC, a pesar de ser una mezcla con un cemento adicionado, presento en algunos casos mejor comportamiento que el PT1, debido al aumento en la dosificación de cemento, lo que puede considerarse como la transformación de un cemento CPCA1 a un cemento PT1 mejorado, al aumentar la cantidad de cemento CPCA1.

Por otra parte, se puede ver que los resultados más deficientes fueron obtenidos por el cemento CPCA1, el cual no logro la resistencia a la compresión esperada, descartándose para su uso. Evaluando el comportamiento de las mezclas con relación a/c 0,45 y 0,60 se puede decir que los mejores resultados para tiempo de fraguado, porcentaje de porosidad, absorción de agua y resistencia a la compresión, son derivados por la relación con mayor cantidad de cemento correspondiente a la de a/c 0,45.

4. CONCLUSIONES

El concreto elaborado con cemento adicionado Portland tipo CPCA1 fabricado en Venezuela y evaluado en este trabajo de investigación, no cumple con los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en la norma COVENIN, por lo cual no se recomienda su uso para la construcción de elementos estructurales.

El concreto elaborado con cemento adicionado Portland tipo CPCA1 al cual se le retribuyó el 15% de adición que posee en 17,65% de peso propio de cemento sin adición, reflejó

resultados satisfactorios en cuanto a asentamiento, tiempo de fraguado, porcentaje de porosidad total, porcentaje de absorción de agua y resistencia a la compresión, por lo cual se acepta su uso en la elaboración de elementos estructurales.

La resistencia a la compresión del concreto elaborado con cemento Portland Tipo I fue superada en algunos casos por la resistencia del concreto en el cual se utilizó cemento adicionado Portland tipo CPCA1 al cual se le retribuyó el 17,65% en peso propio.

5. REFERENCIAS

- [1] COVENIN 3134-2004, Cemento Portland con Adiciones Requisitos, FONDONORMA, 2004
- [2] I. Figueira y E. Meléndez, “Evaluación de las propiedades físico- mecánicas de mezclas de concreto elaboradas con cemento adicionado portland tipo CPCA1 con relaciones agua/cementante y agua/cemento de 0.45 y 0.60”, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Lara, Venezuela, 2014.
- [3] H. Bolognini, N. Martínez, O. Troconis de Rincón “Caracterización química y físico-mecánica de cementos adicionados de filer calizo en Venezuela” Revista Alconpat, Mexico, 2015.
- [4] H. Bolognini, “El tipo de cemento puede determinar la vida útil de las estructuras” Diario El Impulso. Barquisimeto, Venezuela, 2011.
- [5] J. C. González, “Comparación de las propiedades físicas, mecánicas de los cementos adicionados y portland tipo I producidos en la región centroccidental” Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Lara, Venezuela, 2009.
- [6] G. Mujica, “Caracterización físico mecánica de concretos elaborados con cementos adicionados CPCA1” Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Lara, Venezuela, 2012.
- [7] COVENIN 2385:2000 Concreto y Mortero. Agua de Mezclado. Requisitos. (1ra Revisión) FONDONORMA, 2000
- [8] COVENIN 277-2000 Concreto. Agregados. Requisitos (3ra Revisión) FONDONORMA, 2000
- [9] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05) Producido por el Comité ACI 318, 2005
- [10] O. Troconis y col, “Impacto del ambiente tropical en la durabilidad de las estructuras de concreto armado” Revista de la Universidad del Zulia 3ª época, Año 2 N° 2, 100 – 154, 2011.
- [11] COVENIN 339-2003 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams” (2da Revisión) FONDONORMA, 2003
- [12] COVENIN 338-2002, “Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto” FONDONORMA, 2002
- [13] COVENIN 352-1979 “Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración” FONDONORMA., 1979
- [14] COVENIN 338-2002 “Medida de la Resistencia a la Compresión” FONDONORMA, 2002

- [15] Durar, Manual para la inspección, evaluación y diagnóstico de la corrosión en estructuras de concreto reforzado, CYTED, Maracaibo, Venezuela, 1998.
- [16] J. Porrero, C. Ramos, J. Graces, G. Velazco, Manual del Concreto Estructural, Caracas, Venezuela, 2004.
- [17] COVENIN 1976-03 Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayo (3ra Revisión) FONDONORMA, 2003
- [18] H. Bolognini, Capítulo IV, Ensayos de Evaluación de Concreto Armado, en Un Enfoque integral. Prevención de daños y rehabilitación de estructuras de concreto armado, Dirección Técnica M. Dickdan, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2013