



Caracterização química e físico-mecânica de cimentos com adições de fíller calcário na Venezuela

H. Bolognini¹, N. Martínez¹, O. Troconis de Rincón²

¹ Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”, Barquisimeto, Venezuela, Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción – Capítulo Venezuela, hbolognini@ucla.edu.ve

² Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, Centro de Estudios de Corrosión oladis1@yahoo.com

Información del artículo

Artículo recibido el 15 de Noviembre de 2014, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 18 de Julio de 2015. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2016 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2016.

RESUMEN

En los últimos años en Venezuela, se ha presentado una crisis sobre la demanda, comercialización y producción del cemento, principal material de construcción. En este trabajo se presentará la caracterización química y físico- mecánica realizada a las principales marcas comerciales de cementos adicionados en el país, caracterizándolos de acuerdo a: composición química, finura Blaine, tiempo de fraguado y resistencia mecánica a compresión. Los resultados demuestran que estos cementos no cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la norma venezolana para su uso en la elaboración de concreto estructural.

Palabras clave: Cemento Adicionado, Corrosión, Concreto Armado.

ABSTRACT

In recent years in Venezuela, there has been a crisis on demand, production and marketing of cement, primary building material. In this work the chemical and physical mechanical characterization made a Top Trademark blended cements in the country, characterizing them according to: chemical composition, Blaine fineness, setting time and compressive strength. The results show that these cements do not meet the minimum requirements established in the Venezuelan standard for use in the manufacture of structural concrete.

Keywords: Blended cement, Corrosion, Reinforced Concrete.

RESUMO

Nos últimos anos na Venezuela, tem-se apresentado uma crise sobre a demanda, comercialização e produção de cimento, um dos principais materiais de construção. Este artigo apresentará a caracterização química e físico-mecânica realizada nas principais marcas de cimentos com adições comercializados no país, caracterizando-os de acordo com a sua composição química, finura Blaine, tempo de pega e resistência à compressão. Os resultados demonstram que estes cimentos não cumprem com os requisitos mínimos estabelecidos na norma venezuelana para a sua aplicação na elaboração de concreto estrutural.

Palavras-chave: Cimento com adições, Corrosão, Concreto Armado.

Autor de correspondencia: Humberto Bolognini

Información Legal
Revista ALCONPAT, Año 5, No. 3, Septiembre – Diciembre 2015, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.521997385893 , alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de última modificación: 01 de septiembre de 2015.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, na Venezuela, tem-se apresentado uma crise sobre a demanda, comercialização e produção do cimento, um dos principais materiais de construção, especificação para a fabricação de concreto. Este fato levou os fabricantes a buscar alternativas para atender esta demanda crescente, sendo então incluída a oferta comercial dos materiais denominados cimentos com adições, sendo estes do tipo Portland com adições de calcário, cuja concentração varia entre 15 e 30% em relação ao peso do cimento.

Embora a produção de cimentos com adições seja um fenômeno mundial que busca, entre outras coisas, reduzir o impacto ambiental da produção de cimento Portland e diminuir as emissões de CO₂ na indústria da construção, na Venezuela se tem evidenciado o uso indiscriminado deste material, uma vez que não são consideradas as limitações técnicas destes tipos de cimentos, fundamentalmente no que se refere à resistência mecânica e o seu comportamento frente à corrosão das armaduras. Este último item conduziu a hipótese deste trabalho, sobre a base da composição química destes cimentos, que não proporciona somente uma menor reserva alcalina, tornando-os menos resistentes às ações dos agentes ambientais, especificamente à carbonatação, mas a sua incapacidade de garantir resistências mecânicas adequadas para traços convencionais.

Os cimentos com adições (ou compostos) são misturas de clínquer de cimento Portland, sulfato de cálcio (gesso) e adições. Estes cimentos podem ser produzidos através da moagem conjunta destes componentes ou pela mistura destes componentes finamente moídos (Salamanca, 2000). Os cimentos compostos do tipo CPCA 1 e CPCA 2 foram formulados para serem empregados na produção de concretos e argamassas que demandam uma melhoria em sua trabalhabilidade, capacidade de retenção de água, resistências adequadas ao seu uso e maior durabilidade (Salamanca, 2000). De acordo com a norma Venezolana COVENIN (COVENIN 3134-2004/ASTM C-150), o CPCA 1 é aquele cuja quantidade de calcário ou de outro material calcário é igual ou inferior a 15% do peso total. Enquanto o CPCA 2 apresenta uma quantidade de calcário ou outro material calcário superior a 15% e igual ou inferior a 30% do peso total.

Conforme mencionado, é de grande importância conhecer a natureza e as características físico-mecânicas destes cimentos, uma vez que depende das mesmas alcançar as condições para o uso como concreto estrutural que garantam um concreto forte e durável. Os problemas observados pelo uso inadequado de concretos elaborados com distintos tipos de cimentos, sem que sejam tomadas as devidas medidas de prevenção, torna necessário o aprofundamento no conhecimento dos materiais a utilizar e nos produtos de processamento gerados na fabricação dos concretos.

A norma venezolana não estabelece condições particulares para as características dos cimentos com adição de calcário, e não regulamenta os seus requisitos químicos, como é feito com um cimento Portland normalizado. Para os cimentos compostos, a norma COVENIN 3134-04/ASTM C-150 estabelece os requisitos físicos, químicos e mecânicos mínimos a serem atendidos, exigindo como requisitos físico-químicos os mesmos estabelecidos para o cimento Portland tipo I e com referência aos requisitos químicos, apenas três parâmetros, entre os quais se encontram a perda ao fogo, resíduos insolúveis e quantidade de enxofre (SO₃). Porém, estes componentes não são os únicos que garantem a qualidade do cimento. Por esta razão, é adequado aplicar, para cimentos compostos existentes, parâmetros químicos existentes na norma vigente COVENIN 109-90/ASTM C-114, a qual contempla os métodos de ensaio que se empregam para se efetuar as análises químicas de cimentos hidráulicos, fundamentais para a determinação dos principais componentes químicos através do método de Bogue: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminato ferritotetracálcico. Contudo, se faz necessária e urgente a determinação das limitações técnicas sobre o uso destes cimentos na fabricação de concretos para elementos estruturais, a qual

certamente contribuirá para melhoria da durabilidade das edificações do país. Desta forma, este artigo visa a determinação das características químicas e físico-mecânicas dos cimentos compostos das diversas empresas que fabricam este material na Venezuela, que permitam estimar o seu comportamento como concreto estrutural.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os materiais utilizados foram os seguintes: Cimento Portland Tipo I, Cimento com adição de fíller calcário CPCA de seis empresas distintas do país (identificadas como CEMA, CEMCA, CEMCO, CEMLI, CEMVEN e CEMMA), areia silicosa de acordo com a norma venezuelana COVENIN 2503/ASTM C-778. Para o estudo de traço foi adotada as recomendações do ACI 211.

Para a avaliação das propriedades químicas e físico-mecânicas, foram utilizados os critérios de validação para cimentos compostos descritos na Norma COVENIN 3134-04 (ASTM C-150), mediante os seguintes ensaios: análise química (COVENIN 109-90/ASTM C-114); finura Blaine 9COVENIN 487/ASTM C-204); tempo de pega (COVENIN 493:1992/ASTM C-191) e resistência à compressão (COVENIN 484:1993/ASTM C-109). Em relação ao número de amostras em cada ensaio, foi utilizada, no mínimo, a quantidade estabelecida em cada norma.

Para a análise química dos cimentos compostos, a norma COVENIN 109-90/ASTM C-114 estabelece que devem ser utilizados recipientes de platina. Uma das limitações deste trabalho foi a indisponibilidade destes recipientes, onde foi decidido trabalhar com recipientes cerâmicos convencionais com uma capacidade entre 15cm³ e 30cm³.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização físico-mecânica do cimento composto CPCA

Apresentam-se os resultados mais relevantes da caracterização físico-mecânica realizada nas seis marcas de cimentos comercializadas do tipo CPCA, fabricadas na Venezuela.

Na tabela 1 se mostram os resultados médios da finura obtida com o permeabilímetro de Blaine, de seis amostras para cada tipo de cimento ensaiado, em relação à finura de um cimento normalizado. Nesta tabela se observa que em todos os casos avaliados, os valores de finura determinados dos cimentos Portland compostos CPCA superam o valor mínimo estabelecido pela norma (3000 cm²/g); que também indica uma maior área superficial do que a mínima efetivamente necessária para a hidratação.

É importante ressaltar que uma das últimas etapas da fabricação do cimento é a mistura do clínquer moído com o sulfato de cálcio hidratado. Uma vez que a hidratação começa na superfície dos grãos de cimento, sua área superficial constitui o principal acesso para as reações de hidratação. Deste modo, a velocidade da hidratação depende da finura das partículas de cimento, portanto, para uma evolução rápida da resistência, é necessário um alto grau de finura. Entretanto, a moagem das partículas de cimento visando a obtenção de uma maior finura representa um custo considerável. O que se requer é que o cimento alcance suas resistências adequadas, a idades distintas, através da alta qualidade do clínquer mais do que pela sua finura de moagem.

Tabela 1. Resultados da determinação da Finura (superfície específica dos cimentos Portland compostos CPCA, valor normativo (mínimo) de 3000 cm²/g)

DETERMINACIÓN DE LA FINURA BLAINE (SUPERFICIE ESPECIFICA) DETERMINAÇÃO DA FINURA BLAINE (SUPERFÍCIE ESPECÍFICA)	
TIPO DE CEMENTO	FINURA
TIPO DE CIMENTO	
CEMA	3534,06 cm ² /gr
CEMCA	3602,17 cm ² /gr
CEMCO	3093,08 cm ² /gr
CEMLI	3827,47 cm ² /gr
CEMVEN	3246,46 cm ² /gr
CEMMA	3588,06 cm ² /gr
PORTLAND I	3867,06 cm ² /gr

Cabe destacar que na Venezuela os cimentos usuais são moídos a uma finura Blaine da ordem de 2800 a 3500cm²/g. Quando ultrapassam os 4000cm²/g, e dependendo da composição química do cimento, o concreto pode apresentar problemas secundários, como dificuldades na sua mistura e maior retração. De modo que estes resultados são considerados como aceitáveis, devido ao fato de que os valores obtidos nos cimentos Portland compostos CPCA deste estudo superam o mínimo estabelecido na norma COVENIN 3134:2004, porém não excedem os valores de finura considerados inadequados (>4000cm²/g).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados médios de nove amostras de cada tipo de cimento ensaiado, obtidos através da determinação do tempo de início e fim de pega da pasta de cimento. Com é bem conhecido, o tempo de pega é aquele no qual um aglomerante altera sua plasticidade inicial a um estado pétreo, sendo esta uma propriedade fundamental para este tipo de material, a qual estabelece o tempo médio de trabalhabilidade e lançamento, sem afetar o desenvolvimento de suas propriedades finais. Observa-se nesta tabela que para os cimentos Portland composto CPCA, em todos os casos avaliados, os valores de tempo de pega inicial mínimo determinados não atingem o valor normativo estabelecido. Isto resulta na não conformidade desta característica do material, acarretando potenciais dificuldades na elaboração de concretos e argamassas devido ao curto tempo de pega determinado. Por outro lado, o comportamento do cimento Portland Tipo I apresentou resultados de acordo com o esperado.

Embora as características anteriormente mencionadas reflitam de alguma forma para que o cimento avaliado apresente discrepâncias em relação aos valores normativos a serem satisfeitos, na prática construtiva a qualidade de um cimento é medida com base na sua resistência à compressão, desenvolvida no seu estado endurecido, sendo esta característica mecânica o principal fator de avaliação do aglomerante. Portanto, esta propriedade foi avaliada nos cimentos estudados, sendo confeccionados 18 corpos de prova cúbicos de argamassa cimentícia (cimento a avaliar e areia silicosa normalizada) de 50,8mm de lado, para cada tipo de cimento e para cada idade de ensaio (7 e 28 dias).

Tabela 2. Resultados da caracterização dos cimentos Portland compostos CPCA, determinação do tempo de pega.

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PEGA				
Cemento Cimento	Tiempo Tempo Inicial (min)	Tiempo Tempo Final (min)	Valor Normativo	
			Tiempo Tempo Inicial mínimo (min)	Tiempo Tempo Final máximo (min)
CEMA	30	255	45	480
CEMCA	30	165	45	480
CEMCO	40	180	45	480
CEMLI	40	165	45	480
CEMVEN	15	240	45	480
CEMMA	15	240	45	480
PORTLAND I	90	290	45	480

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos de resistência à compressão que confirmam a não conformidade com as normas pertinentes.

Tabela 3. Resistência à compressão de cimentos Portland compostos CPCA, 7 e 28 dias.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CEMENTOS CON ADICIONES CPCA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CIMENTOS COMPOSTOS CPCA (kg/cm²)							
Cemento Días Cimento Dias	CEMAN	CEMCA	CEMCO	CEMLI	CEMVE	CEMMA	PORTLAND I
7 días días (Promedio)Média	117,73	149,06	46,29	93,06	127,75	132,89	296,63
Desviación Desvio padrão	+/- 4,50	+/- 4,00	+/- 7,76	+/- 3,88	+/- 4,83	+/- 3,43	+/- 3,21
28 días días (Promedio)Média	145,12	213,45	178,45	176,87	216,85	157,77	394,08
desviación Desvio padrão	+/- 5,03	+/- 4,07	+/- 4,83	+/- 3,76	+/- 4,14	+/- 4,73	+/- 4,03

Observando os resultados obtidos, é evidente que a resistência média mais baixa aos 7 dias foi obtida com o cimento CEMCO, com um valor de 46,29 kgf/cm², enquanto a mais alta foi obtida com o cimento CEMCA (149,06 kgf/cm²). Entretanto, nenhum dos cimentos avaliados atingiram 170 kgf/cm², valor recomendado pela norma COVENIN 3134:2004/ASTM C-150 para os cimentos Portland compostos CPCA I. Um comportamento semelhante foi observado ao avaliar a resistência à compressão aos 28 dias, onde nenhum dos cimentos avaliados alcançou o valor de 280 kgf/cm², superado apenas pelo cimento Portland de referência Tipo I. Este fato, sem dúvida, compromete o seu desempenho no concreto estrutural. Se partirmos da premissa de que o material não apresenta as condições mínimas, a sua evolução não deve atingir os valores esperados. Por este motivo, foi

considerado caracterizá-los quimicamente, para assim determinar os compostos que estariam contribuindo para que os mesmos não alcancem altas resistências à compressão.

3.2. Caracterização química dos componentes majoritários e minoritários dos cimentos compostos CPCA

3.2.1 Principais componentes de cimentos compostos

Dióxido de Silício (SiO₂): Este ensaio foi realizado através da calcinação dupla da amostra, e o resíduo deste estudo foi utilizado posteriormente na determinação do grupo dos hidróxidos de amônio. A Figura 1 apresenta os valores médios dos resultados obtidos.

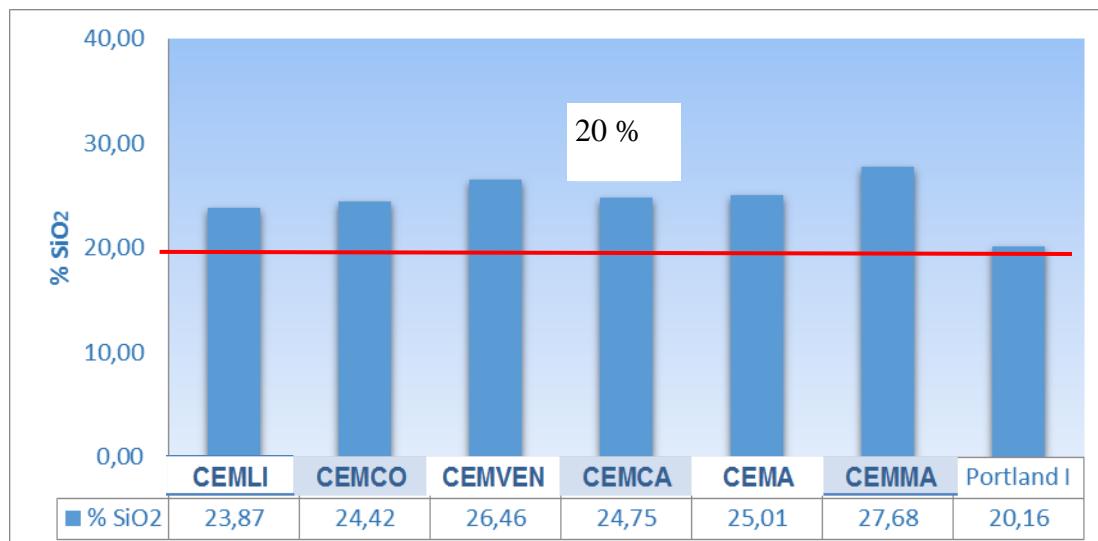
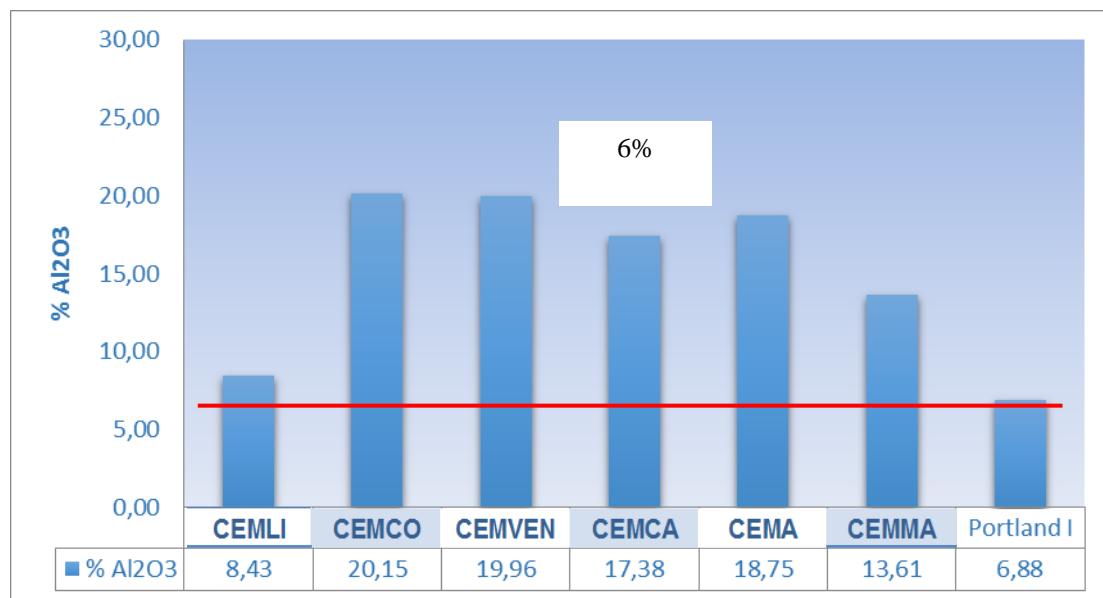


Figura 1. Porcentagem de SiO₂ dos diferentes tipos de cimentos avaliados

Os valores obtidos indicam que o cimento Portland I apresentou um valor de 20,16% e todas as outras amostras mais de 20% de dióxido de silício, que é o parâmetro adotado como mínimo pela norma COVENIN 28-93/ASTM C-150 para o cimento Portland tipo II, já que a norma não especifica a quantidade deste componente para os cimentos Portland Tipo I. Todos os valores se encontram num intervalo entre 20% e 30%, sendo o cimento Portland Tipo I o de menor porcentagem.

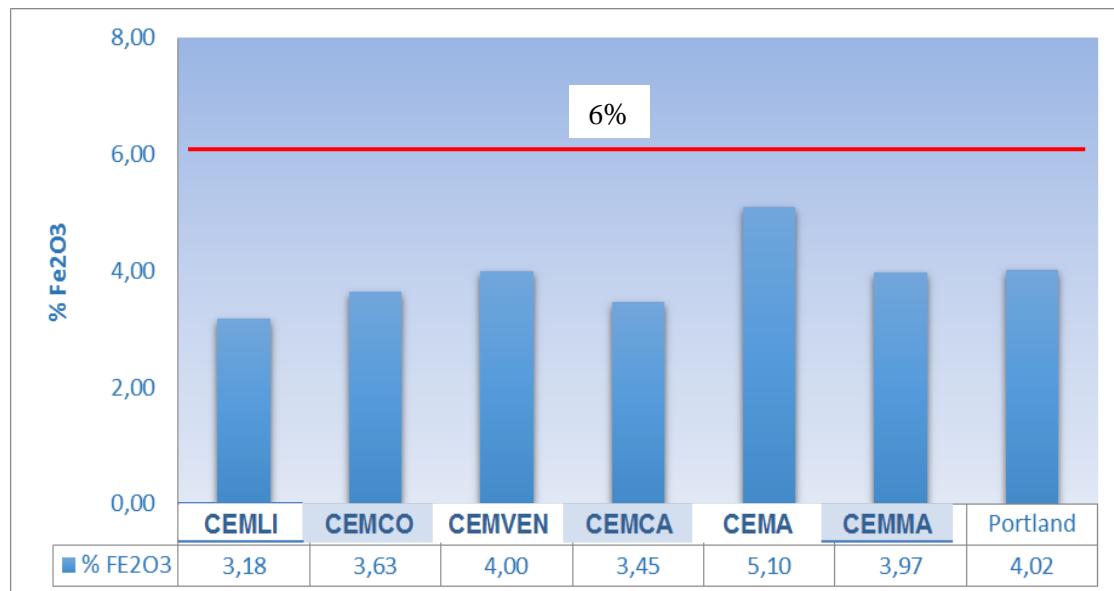
Óxido de Alumínio (Al₂O₃): Nesta determinação, como indica a norma COVENIN 109-90/ASTM C-114, é subtraído do valor obtido no estudo do hidróxido de amônia a quantidade de óxido férreo. Todos os ensaios realizados cumpriram com o parâmetro de variação permitido pela norma para assegurar a confiabilidade do ensaio. Os resultados totais de % de Al₂O₃ se apresentam na Figura 2.

Os resultados obtidos indicam que todas as amostras estão acima do valor permitido pela norma de cimentos Portland tipo II, a qual estabelece um limite inferior a 6%. As amostras de cimento Portland tipo I e CEMLI apresentam 6,8% e 8,3%, respectivamente, que os valores mais próximos do limite estabelecido. Por sua vez, os cimentos CEMCO e CEMVEN são os que possuem a maior porcentagem de Al₂O₃ (20,15% e 19,96%, respectivamente). Porrero (2004) ressalta que os valores deste parâmetro para os cimentos Portland estão entre 3,5% e 8%, em que os cimentos compostos excedem esse parâmetro.

Figura 2. Porcentagem de Al₂O₃ nos diferentes cimentos avaliados.

Óxido férrico (Fe₂O₃): As porcentagens de óxido férrico para cada uma das amostras estudadas estão detalhadas na Figura 3. Todas as amostras analisadas se encontram abaixo do limite estabelecido na norma COVENIN 28-93/ASTM C-150, sendo a amostra de cimento CEMA a que apresentou a maior porcentagem de óxido férrico, 5,10%, e a amostra de cimento CEMLI a que apresentou a menor porcentagem deste componente, 3,18%.

Óxido de Cálcio (CaO): Os resultados do ensaio se apresentaram, em conformidade com a norma COVENIN 109-90. A Figura 4 apresenta os resultados de % de óxido de cálcio obtidos.

Figura 3. Porcentagem de Fe₂O₃ nos diferentes cimentos avaliados.

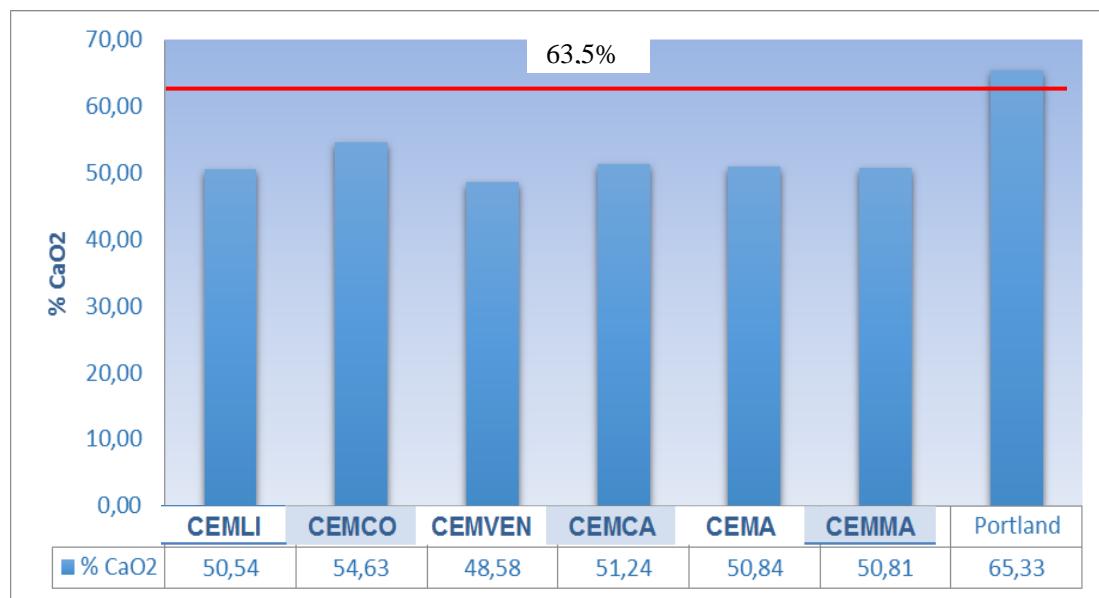


Figura 4. Porcentagem de CaO nos diferentes cimentos avaliados.

Este ensaio não possui um valor normalizado para comparação, entretanto Porrero (2004) indica valores entre 60% e 67% de CaO para cimentos Portland tipo I de excelente qualidade, estando os cimentos compostos avaliados abaixo destes valores, entre 48,58% e 54,63%.

Óxido de Magnésio (MgO): Este ensaio é feito com os resíduos da filtragem da determinação de Óxido de Cálcio, obtitendo-se os valores apresentados na Figura 5.

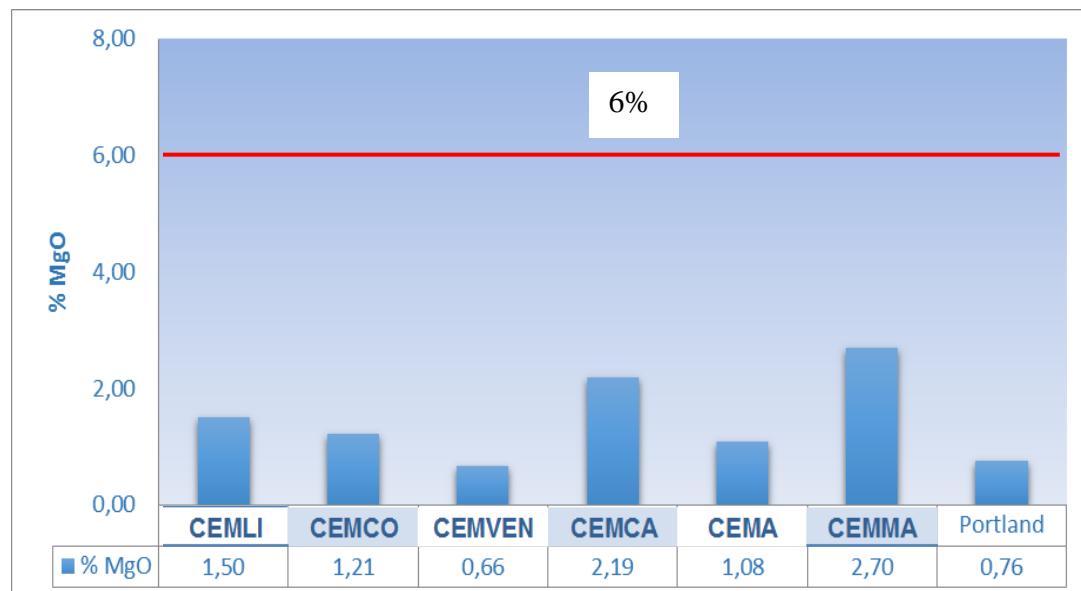


Figura 5. Porcentagem de MgO nos diferentes cimentos avaliados.

Todos os valores se encontram abaixo do limite de 6%, estabelecido na norma COVENIN 109-90/ASTM C-114. Observa-se que as porcentagens de Óxido de Magnésio estão compreendidas entre 0,66% para as amostras de CEMVEN e 2,7% para as amostras de CEMMA.

Trióxido de Azufre (SO₃): Os resultados obtidos para as amostras podem ser observados na Figura 6.

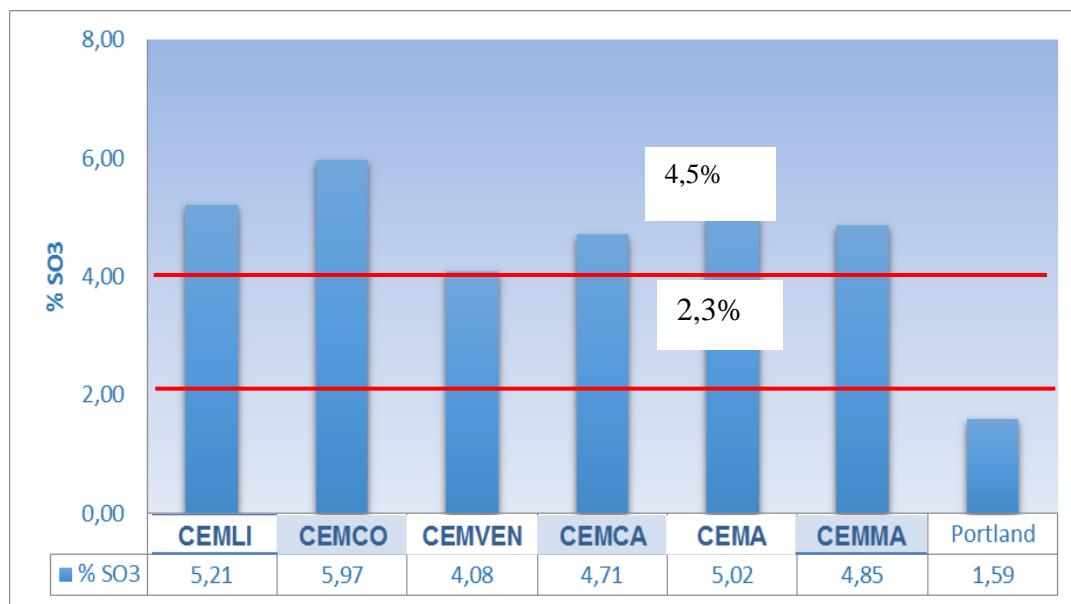


Figura 6. Porcentagem de SO₃ nos diferentes cimentos avaliados.

Os requisitos químicos estabelecidos na norma COVENIN 28-93/ASTM C-150 estipulam a porcentagem de Trióxido de Azufre presente nos cimentos tipo Portland como inferior a um intervalo entre 2,3% e 4,5%. A Figura 6 mostra que somente o CEMVEN (4,08%) e o Portland (1,59%) estão de acordo com esta norma, visto que as demais amostras apresentam maiores porcentagens, entre 4,85% e 5,97%.

3.2.2 Ensaios especiais

Perda ao Fogo (PF) do cimento: Este ensaio se mostrou um dos mais simples de realizar, pois envolve somente a calcinação da amostra a 950°C, seguida pelo cálculo da diferença de peso. A Figura 7 apresenta as porcentagens de perda ao fogo obtidas no ensaio.

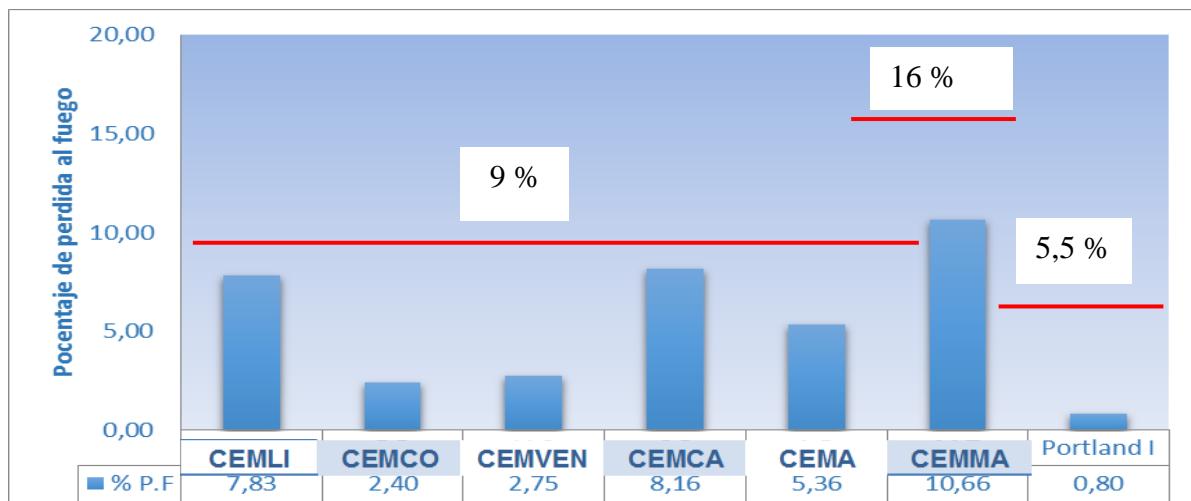


Figura 7. Porcentagem de perda ao fogo dos diferentes cimentos avaliados.

Todas as amostras analisadas atenderam aos parâmetros estabelecidos nas normas COVENIN. Para os cimentos CPCA1, os valores devem ser inferiores a 9%, para o CPCA2 inferiores a 16% e para os cimentos Portland tipo I inferiores a 5,5%. Os cimentos CEMLI e CEMCA, com 7,83% e 8,16%, respectivamente, apresentam as maiores porcentagens de PF em relação às demais amostras.

3.2.3 Componentes menores

Óxido de Sódio (Na₂O) e Óxido de Potássio (K₂O) – Para a determinação destes componentes, foi realizada em todas as amostras uma diluição de 1:10 para possibilitar a leitura na reta de calibração do fotômetro de chama. A curva de calibração para estas determinações pode ser observada na Figura 8.

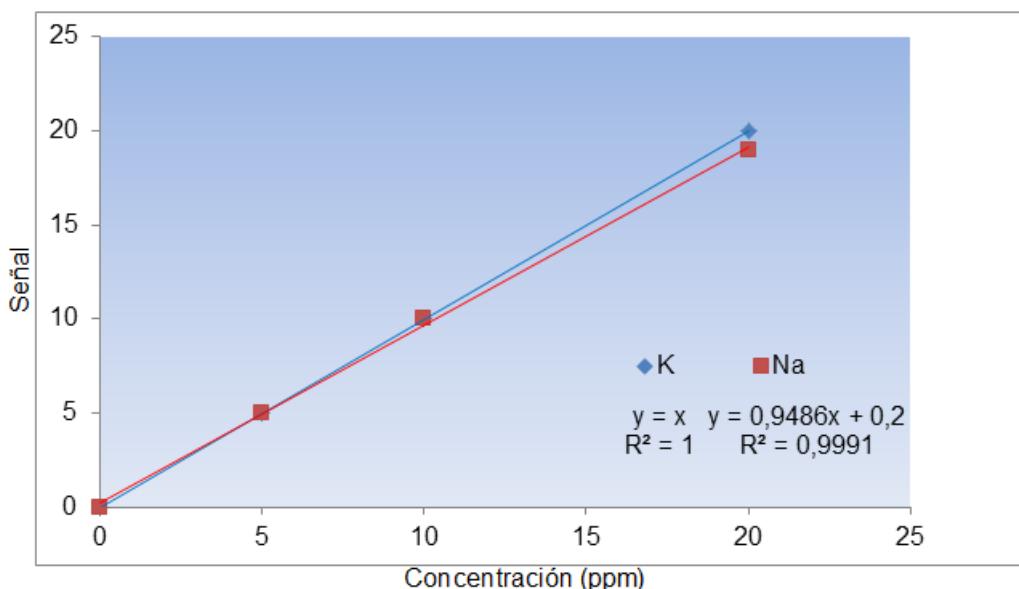


Figura 8. Curva de calibração para a determinação do Na e do K nos diferentes cimentos avaliados.

Como se observa na Figura 8, tanto o Na como o K apresentam um excelente comportamento linear. Os resultados obtidos (Tabela 4) para os valores limites das amostras indicam que todas as concentrações de Na estão abaixo do desvio máximo admitido, que é de 0,03%. Em relação ao K, 72% dos resultados se encontram abaixo de 0,03%, que é um valor aceitável, apenas CEMCO e CENMA estão em aparente desacordo, com uma porcentagem de 0,04%, mas também podem ser considerados como conformes com a norma.

A Tabela 4 também indica que a maior % de Na₂O se encontra no cimento CEMVEN, com 0,17%, e a menor % nos cimentos CEMLI, CEMCO e CEMA, com 0,11%. Por sua vez, o cimento Portland apresenta 0,16%, estando dentro do limite anteriormente mencionado. As maiores porcentagens de K₂O são observadas nos cimentos CEMVEN e CEMA, com 0,67%, e as menores porcentagens no cimento CEMCO, com 0,31%. Por sua vez, o cimento Portland apresenta 0,52% de K₂O, estando dentro dos limites anteriormente mencionados.

Tabela 4. Resultados obtidos na determinação de Na₂O e K₂O nos diferentes cimentos avaliados.

Muestra Amostra	$\sigma^* \text{Na}$	$\sigma^* \text{K}$	N.C 109-90**	%Na ₂ O***	%K ₂ O***
CEMLI	0,00	0,02	0,03	0,11	0,38
CEMCO	0,00	0,04	0,03	0,11	0,31
CEMVEN	0,00	0,00	0,03	0,17	0,67
CEMCA	0,01	0,02	0,03	0,12	0,36
CEMA	0,00	0,00	0,03	0,11	0,67
CEMMA	0,01	0,04	0,03	0,12	0,45
Portland I	0,00	0,00	0,03	0,16	0,51

* Desvio padrão entre as amostras, ** Norma COVENIN 109-90/ASTM C-114,

*** Média aritmética das %.

3.2.4 Resíduo Insolúvel (R.I)

No caso deste estudo, mais de 70% dos ensaios realizados nas amostras cumprem com o parâmetro estabelecido na norma COVENIN 109-90/ASTM C-114, já que a variação destes ensaios é inferior a 0,1%, apenas nas amostras de CEMAN e Portland I foram obtidas porcentagens maiores, de 0,12% e 0,15%, respectivamente. A Figura 9 apresenta estes resultados.

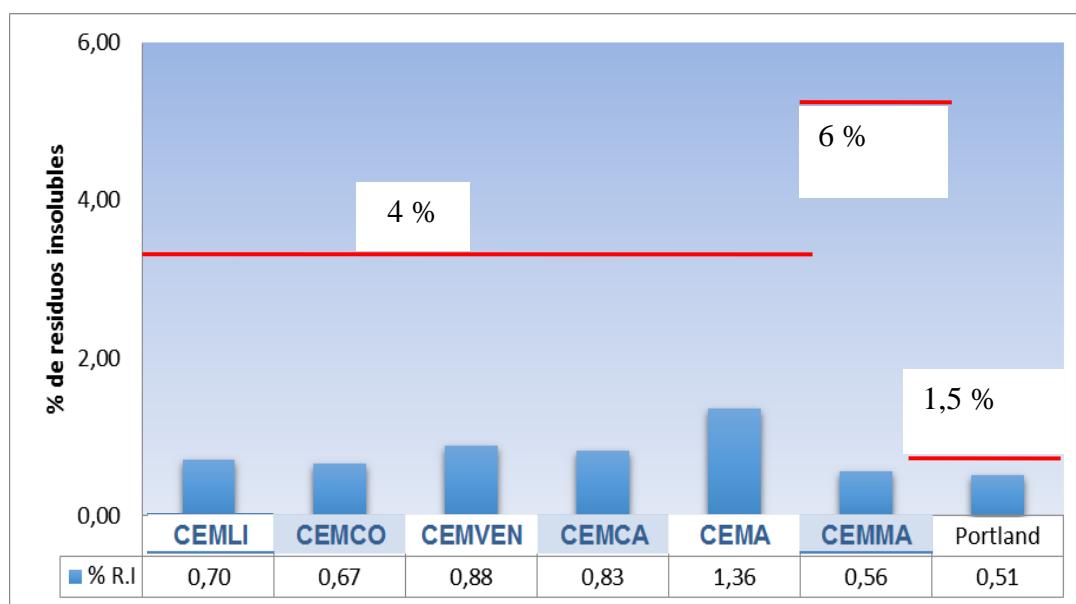


Figura 9. Porcentagem de resíduos insolúveis nos diferentes cimentos avaliados.

Com base nos resultados obtidos, observa-se que todas as amostras cumprem com os parâmetros estabelecidos nas normas COVENIN. Em termos de resíduos insolúveis, os cimentos CPCA1 apresentaram porcentagens inferiores a 4%, os CPCA2 porcentagens inferiores a 6% e o cimento Portland tipo I uma porcentagem inferior a 1,5%. Nos resultados pode-se observar que em sua maioria, a % de RI das amostras se encontram abaixo de 1%, com exceção do cimento CEMAN, o qual apresentou % levemente superior a 1%. Como todas as amostras foram comparadas com as

normas COVENIN 3134-04/ASTM C-150, o cimento Portland também atendeu integralmente a todos estes parâmetros.

A Tabela 5 apresenta todos os resultados da caracterização química dos diferentes cimentos avaliados, onde pode-se observar, conforme já mencionado, que as concentrações de alguns destes componentes se encontram em desacordo com os especificados nas normas COVENIN.

É importante destacar as quantidades superiores e inferiores de Óxido de Alumínio e Óxido de Cálcio, respectivamente, na maioria dos cimentos avaliados; nos quais as proporções obtidas resultaram em certos limitantes para seu uso no concreto estrutural, particularmente em relação à resistência à compressão, a qual em todos os casos se apresentou inferior à obtida nas amostras de referência (cimento Portland I). A baixa porcentagem de CaO não permite a formação de C₃S e C₂S em quantidade suficiente para desenvolver uma resistência à compressão igual ou superior à obtida com o cimento Portland I.

Tabela 5. Características químicas dos cimentos compostos CPCA1 e CPCA2

Muestra Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P.F	K ₂ O	Na ₂ O	R.I
CEMLI	23,87	8,43	3,18	50,54	1,50	5,21	7,83	0,38	0,11	0,70
CEMCO	24,42	20,15	3,63	54,63	1,21	5,97	2,40	0,31	0,11	0,67
CEMVEN	26,46	19,96	4,00	48,58	0,66	4,08	2,75	0,67	0,17	0,88
CEMCA	24,75	17,38	3,45	51,24	2,19	4,71	8,16	0,36	0,12	0,83
CEMA	25,01	18,75	5,10	50,84	1,08	5,02	5,36	0,67	0,11	1,36
CEMMA	27,68	13,61	3,97	50,81	2,70	4,85	10,66	0,45	0,12	0,56
Portland I	20,16	6,88	4,02	65,33	0,76	1,59	0,80	0,51	0,16	0,51

Além disso, a alta porcentagem de Al₂O₃ está relacionada com o baixo tempo de pega obtido nos diferentes cimentos compostos, devido a potencial formação de altas quantidades de C₃A; o que também aumenta a susceptibilidade ao ataque de sulfato, o que é muito importante em construções em ambientes marinhos.

Finalmente, é importante destacar que parece ser contraditório que as normas exijam aos cimentos compostos requisitos físico-mecânicos similares aos do cimento Portland I, quando sua composição química difere sensivelmente, como se demonstra nos resultados deste artigo.

4. CONCLUSÕES

1. Os cimentos compostos tipo CPCA fabricados na Venezuela e analisados neste artigo não atendem aos requisitos mínimos estabelecidos na norma venezuelana para seu uso no concreto estrutural.
2. O uso destes cimentos na elaboração de concretos estruturais poderá resultar em manifestações patológicas prematuras.
3. As quantidades de óxido de alumínio, óxido de cálcio e trióxido de enxofre dos cimentos compostos estão em desconformidade com o especificado nas normas.
4. As porcentagens de adição empregadas na fabricação destes cimentos afetam diretamente suas propriedades.
5. Os resultados obtidos sobre a determinação de Al₂O₃ podem estar relacionados com os resultados de tempo de pega.

5. REFERÊNCIAS

- Bolognini, H y Colaboradores (2011) "Prevención de daños y rehabilitación de estructuras de concreto armado Un Enfoque integral..." Venezuela. p 196
- Bolognini H., Martínez N., Loizaga M., Castellar D., Troconis O. (2013) "Caracterización química de cementos adicionados comercializados en Venezuela" in: V Conpat Nacional, Alconpat Venezuela: pp 1-12
- De la Torre A, Aranda M. (2005) Análisis mineralógico por difracción de rayos X y el método de Rietveld en la industria cementera. Cemento-hormigón (877) 489-505.
- Garcia M, Blanco-Varela M, De la Torre A, Bruque S, Zuñigua F. (2003) Cuantificación mineralógica directa de cementos portland por el método de Rietveld. Cemento-hormigón (850) 4-5.
- Le Saoût G, Kocabi V, Scrivener K (2011) Application of the Rietveld method to the analysis of anhydrous cement. Cement and concrete research (41) 2, 133-148.
- McLaren D, White MA (2003) Cement: Its chemistry and properties. Journal of chemical education. (80) 623-635
- Norma COVENIN 109-90. Cementos hidráulicos. Métodos de ensayo para análisis químico.
- Norma COVENIN 3134-04. Cemento Portland con adiciones. Requisitos.
- Norma COVENIN 487:1993 (3era Revisión). Determinación de la Finura Blaine del Cemento.
- Norma COVENIN 493:1992 (3era Revisión). Determinación del Tiempo de Fraguado (Vicat)
- Norma COVENIN 484:1993 (3era Revisión). Determinación de la Resistencia a la Compresión del Cemento.
- Joaquín Porrero (2004) Manual del concreto estructural. Caracas Venezuela
- Salamanca R, Aplicación de los cementos portland y adicionados. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, (010) 2000, 33-38
- Solís Carcaño Romel; Moreno I. Éric (2006): "Análisis de la porosidad de concreto con agregado calizo", Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Tobón J, Kazes-Gómez R (2008) Desempeño del cemento portland adicionado con calizas de diferentes grados de pureza. Dyna (156) 177-184.
- Troconis, O., y Otros. (1997). "Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de concreto armado". Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.