



Caracterización química y físico-mecánica de cementos adicionados de filer calizo en 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 Marzo de 2015, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 22 de Agosto 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

© 2015 ALCONPAT Int.

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.5219997385893, 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. INTRODUCCIÓN

En los últimos años en Venezuela, se ha presentado una crisis sobre la demanda, comercialización y producción del cemento, principal material de construcción, específicamente para la fabricación de concreto. Esto ha llevado a los fabricantes a buscar alternativas para cubrir esta demanda creciente, por lo cual se ha incluido a la oferta comercial de este material los denominados cementos adicionados; siendo éstos tipo portland con adición de calizas, cuya concentración varía entre 15 y 30% en base al peso de cemento.

Aunque la producción de cementos adicionados es un fenómeno mundial que busca, entre otras cosas, reducir el impacto ambiental de la producción de cemento portland y disminuir las emanaciones de CO₂ en la industria de la construcción, en Venezuela se ha evidenciado el uso indiscriminado de este producto; ya que no se han considerado las limitaciones técnicas de estos tipos de cemento, fundamentalmente en lo referente a la resistencia mecánica y su comportamiento ante la corrosión del concreto armado. Esto último motivado a nuestra hipótesis sobre la base de la composición química de estos cementos, lo que prevé no solo una menor reserva alcalina lo que haría que fuese menos resistente a la acción de agentes ambientales, en específico la carbonatación, sino a su incapacidad de garantizar resistencias mecánicas adecuadas para diseños de mezclas convencionales.

Los cementos adicionados (o compuestos), son mezclas de clinker de cemento Portland, sulfato de calcio (yeso) y adiciones. Estos cementos pueden ser producidos por molienda conjunta de esos componentes o por la mezcla de los componentes finamente molidos (Salamanca 2000). Los cementos adicionados tipo CPCA 1 y CPCA 2, están formulados para su uso en la producción de concretos y morteros que requieren mejorar la trabajabilidad, capacidad de retención de agua, resistencias adecuadas a su uso y mayor durabilidad (Salamanca 2000). De acuerdo a la norma Venezolana COVENIN (COVENIN 3134-2004/ASTM C-150), el CPCA 1 es aquel cuyo contenido de caliza u otro material calcáreo es menor o igual al 15 % del peso total. En cuanto al CPCA 2, se indica que el contenido de caliza u otro material calcáreo es mayor al 15 % y menor o igual al 30 % del peso total.

Como ya se ha mencionado es de gran importancia conocer la naturaleza y las características físico mecánicas de estos cementos, puesto que de ellas dependerá el logro de las condiciones establecidas para su uso como concreto estructural que permitan garantizar un concreto resistente y durable. Los problemas surgidos por el uso inadecuado de concretos elaborados con distintos tipos de cementos sin tomar medidas de precaución, hacen necesario profundizar en el conocimiento de los materiales a utilizar y los productos de transformación generados en la fabricación de concretos.

La legislación venezolana no designa condiciones particulares para las características de estos cementos con adiciones de caliza, y no regula los requerimientos químicos como lo hace con un cemento portland normalizado. Para los cementos adicionados la norma COVENIN 3134-04 /ASTM C-150 establece los requisitos físicos, químicos y mecánicos mínimos a ser cumplidos, exigiendo como requisitos físico-mecánicos los mismos establecidos para cementos portland tipo I y en referencia a los requisitos químicos sólo tres parámetros entre los cuales se encuentran: pérdida al fuego, residuos insolubles y contenido de trióxido de azufre (SO₃). Sin embargo, estos componentes no son los únicos que garantizan la calidad del cemento. Por esta razón se correspondería aplicar para los cementos adicionados los parámetros químicos existentes en la norma vigente COVENIN 109-90/ASTM C-114, la cual contempla los métodos de ensayo que se emplean para efectuar los análisis químicos de cementos hidráulicos, fundamentales para la determinación a través del método de Bogue de los componentes químicos principales: silicato

tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminato ferritotetracálcico. Por todo esto, se requiere con urgencia determinar las limitaciones técnicas sobre el uso de estos cementos en la fabricación de concreto para elementos estructurales, lo cual indudablemente contribuirá a mejorar la durabilidad de las edificaciones del país. Así, el presente trabajo se orienta en la determinación de las características químicas y físico-mecánicas de los cementos adicionados de las distintas empresas que elaboran este material en Venezuela, que permitan estimar su comportamiento como concreto estructural.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados fueron los siguientes: Cemento Portland Tipo I, Cemento Adicionado con filer calizo CPCA de seis diferentes empresas del país (identificados como CEMA, CEMCA, CEMCO, CEMLI, CEMVEN y CEMMA), arena de sílice normalizada cumpliendo la norma Venezolana COVENIN 2503/ASTM C-778, Para el diseño de mezcla se empleó el recomendado por la ACI 211.

Para la evaluación de las propiedades químicas y físico-mecánicas se utilizaron los criterios de validación para cementos con adiciones descritos en la Norma COVENIN 3134-04 (ASTM C-150), mediante los siguientes ensayos: análisis químico (COVENIN 109-90/ASTM C-114); finura Blaine (COVENIN 487/ASTM C-204); tiempo de fraguado (COVENIN 493:1992/ASTM C-191) y resistencia a la compresión (COVENIN 484:1993/ASTM C-109). En relación al número de muestras en cada ensayo se utilizó, como mínimo, la cantidad establecida en cada normativa.

Para el análisis químico de cementos adicionados, la norma COVENIN 109-90/ASTM C-114 establece que se deben usar crisoles de platino. Una de las limitaciones de este trabajo fue la no disposición de estos crisoles, por lo que se decidió trabajar con crisoles convencionales cerámicos con una capacidad entre 15 cm³ y 30 cm³.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización físico-mecánica del cemento adicionado CPCA:

Se presentan los resultados más relevantes de la caracterización físico-mecánica realizada a seis marcas comerciales de cementos tipo CPCA fabricados en Venezuela.

En la Tabla 1 se muestran los resultados promedios de la finura mediante el permeabilímetro de Blaine, de seis (6) muestras por cada tipo de cemento ensayado en relación a la finura de un cemento normalizado. En esta tabla se observa que en todos los casos evaluados, los valores de finura determinados de los Cementos Portland con Adiciones CPCA superan el valor normativo mínimo establecido (3000 cm²/gr); lo cual además indica una mayor superficie específica para una mejor hidratación a la superficie específica requerida para su hidratación.

Es importante resaltar que una de las últimas etapas en la fabricación de cemento es la mezcla del clinker molido con el sulfato de calcio hidratado. Ahora bien dado que la hidratación comienza sobre la superficie de los granos de cemento, su área superficial constituye el material de hidratación. De este modo, la velocidad de hidratación depende de la finura de las partículas del cemento; por lo tanto, para un desarrollo rápido de la resistencia se precisa un alto grado de finura. No obstante, moler las partículas del cemento para obtener más finura representa un costo considerable. Lo requerido es que el cemento alcance sus debidas resistencias, a las distintas edades por razón de calidad de clinker más bien que por razón de finura de molido.

Tabla 1. Resultados de la determinación de la Finura (superficie específica) de los Cementos Portland con Adiciones CPCA, Valor Normativo (mínimo) de 3000 cm²/gr.

DETERMINACIÓN DE LA FINURA BLAINE (SUPERFICIE ESPECIFICA)	
TIPO DE CEMENTO	FINURA
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 en Venezuela los cementos usuales se muelen a una finura Blaine del orden de 2800 a 3500 cm²/gr. Cuando se sobrepasan los 4000 cm²/gr, y dependiendo de la composición química del cemento, pueden presentarse en el concreto problemas secundarios, como son dificultades de mezclado y mayor retracción. De tal manera que estos resultados se consideran aceptables, debido a que los valores obtenidos de los cementos Portland con Adiciones CPCA en estudio, superan el mínimo establecido según la Norma COVENIN 3134:2004, sin exceder a valores de finura inadecuados (> 4000 cm²/gr).

En la Tabla 2 se muestran los resultados promedios de nueve (9) muestras por cada tipo de cemento ensayado obtenidos de la determinación del tiempo inicial y tiempo final del fraguado de la pasta de cemento. Como es bien conocido, el tiempo de fraguado es aquel en el cual un aglomerante cambia su plasticidad inicial a un estado pétreo; siendo esta una propiedad fundamental para este tipo de materiales, motivado a que establece el tiempo promedio de trabajabilidad y colocación sin afectar el desarrollo de sus propiedades finales. En esta tabla se observa que para los cementos Portland con adiciones CPCA, en todos los casos evaluados, los valores de tiempo inicial mínimo de fraguado determinados no alcanzan el valor normativo establecido. Esto tiene como resultado la no conformidad de esta característica del material, infiriendo además potenciales dificultades en la fabricación de concretos y morteros dado el poco tiempo de fraguado determinado. Caso contrario al comportamiento del cemento control Portland Tipo I el cual arrojó resultados acordes a los esperados.

Aunque las características antes mencionadas reflejan de cierta manera que el cemento evaluado presenta discrepancias con los valores normativos a satisfacer, en la práctica constructiva la calidad de un cemento es medida sobre la base de la resistencia a la compresión que es capaz de desarrollar una vez fraguado y endurecido; siendo esta característica mecánica el principal factor de evaluación del aglomerante. Por lo tanto, se evaluó esta propiedad a los cementos estudiados; confeccionando 18 probetas cubicas de mortero de cemento (cemento a evaluar y arena de sílice normalizada) de 50,8 mm de lado para cada tipo de cemento y a cada edad de ensayo (7 y 28 días).

Tabla 2. Resultados de la caracterización de los Cementos Portland con Adiciones CPCA, Determinación del tiempo de fraguado.

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO				
Cemento	Tiempo Inicial (min)	Tiempo Final (min)	Valor Normativo	
			Tiempo Inicial mínimo (min)	Tiempo 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

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para dicho ensayo, obteniendo en general resultados que confirman el no cumplimiento de los valores normativos para los cementos evaluados.

Tabla 3. Resistencia a la compresión de cementos Portland con Adiciones CPCA, 7 y 28 días.

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

Al observar los resultados, se evidencia que la resistencia ensayada promedio más baja para la edad en estudio (7 días) viene dada por el Cemento CEMCO con un valor de 46,29 kg/cm², mientras que la más alta la proporciona el Cemento CEMCA (149,06 kg/cm²), No obstante, ninguno de los cementos evaluados alcanzó los 170 kg/cm²; valor recomendado según la Norma COVENIN 3134:2004/ASTM C-150 para los cementos Portland con Adiciones CPCA1. Igual comportamiento se obtuvo al evaluar la resistencia a la compresión a los 28 días donde ninguno de los cementos evaluados alcanzó el valor normativo esperado de 280 kg/cm² valores; estos superados por el cemento control Portland Tipo I. Esto, indudablemente que compromete su desempeño como concreto estructural. Si se parte de la premisa que el material no posee las condiciones mínimas, su evolución no debería alcanzar los valores esperados. Es por ello que se consideró caracterizarlos químicamente; para así determinar los compuestos que están contribuyendo a que no se alcancen altas resistencias a la compresión.

3.2. Caracterización química de los componentes mayoritarios y minoritarios de los cementos adicionados CPCA.

3.2.1 Componentes mayores de los cementos adicionados

Dióxido de Silicio (SiO₂): En este ensayo se llevó a cabo la doble calcinación de la muestra, y el residuo que se deriva de este estudio se utilizó posteriormente en la determinación del grupo de los hidróxidos de amonio. La Figura 1 presenta el promedio de los resultados obtenidos.

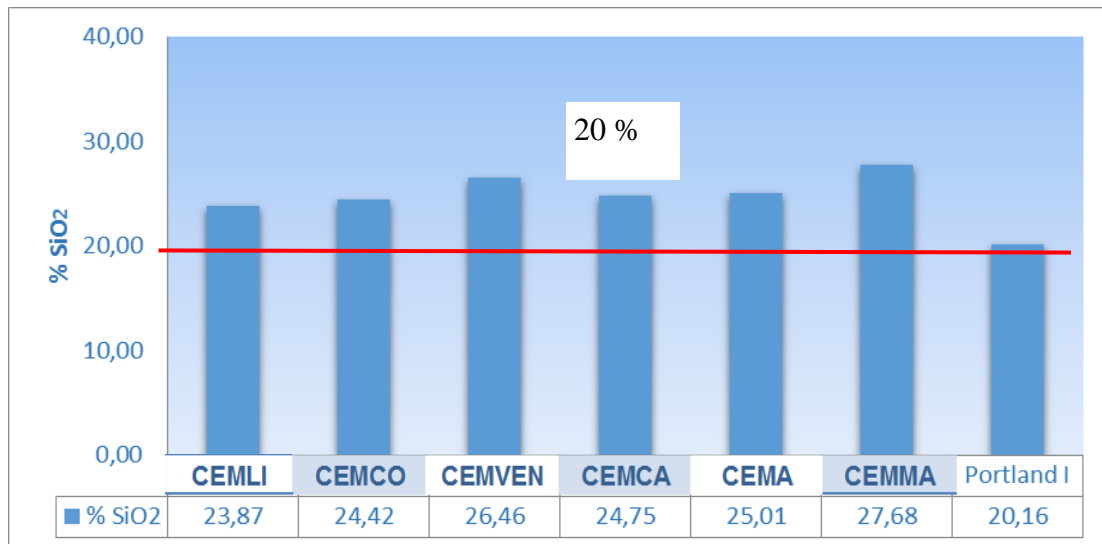


Figura 1. Porcentaje de SiO₂ en los diferentes cementos evaluados.

Los valores obtenidos indican que para el cemento Portland I se obtuvo un valor de 20,16% y todas las demás muestras poseen más del 20% de dióxido de silicio que es el parámetro establecido como mínimo en la norma COVENIN 28-93/ASTM C-150 para el cemento Portland tipo II; ya que para el Portland I la norma no especifica el contenido de este compuesto. Todos los valores se encuentran en un rango entre 20% y 30% siendo el de más bajo porcentaje el cemento Portland tipo I.

Oxido de Aluminio (Al₂O₃): En esta determinación, como lo indica la norma COVENIN 109-90/ASTM C-114, se le resta al valor obtenido del estudio de hidróxido de amonio la cantidad de óxido férrico. Todos los ensayos cumplieron con el parámetro de variación permitido por la norma para asegurar la confiabilidad del ensayo. Los resultados totales de % de Al₂O₃ se muestran en la Figura 2.

Los resultados obtenidos indican que todas las muestras están por encima del valor aceptado por la norma para cementos Portland tipo II, la cual debe ser menor al 6%. Las muestras de Portland tipo I y CEMLI son las más cercanas a este valor de 6,8% y 8,3%, respectivamente; Por su parte, el CEMCO y el CEMVEN son los que poseen el mayor porcentaje de Al₂O₃ (20,15% y 19,96%, respectivamente). Porrero (2004) hace referencia que los valores para este parámetro de los cementos Portland están entre 3,5 y 8% con lo cual los cementos adicionados sobrepasan este parámetro.

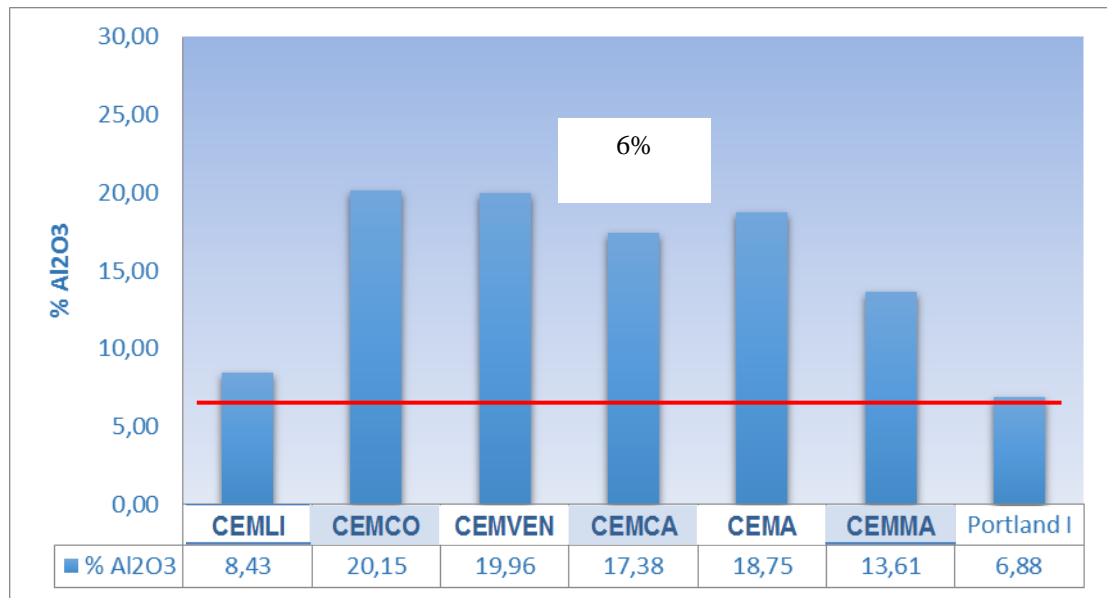


Figura 2. Porcentaje de Al₂O₃ en los diferentes cementos evaluados.

Oxido Férrico (Fe₂O₃): Los porcentajes de óxido férrico para cada una de las muestras estudiadas se detallan en la Figura 3.

Todas las muestras analizadas se encuentran por debajo del valor máximo estipulado en la norma COVENIN 28-93/ASTM C-150; siendo la muestra de cemento CEMA la que mayor porcentaje de óxido férrico presenta con 5,10% y la muestra de cemento CEMLI es la que posee el porcentaje más pequeño de este componente con 3,18%.

Oxido de Calcio (CaO): Los resultados del ensayo se ajustan a la diferencia de 0,2 entre los duplicados que permite la norma COVENIN 109-90. La Figura 4 presenta los resultados obtenidos del % de óxido de calcio.

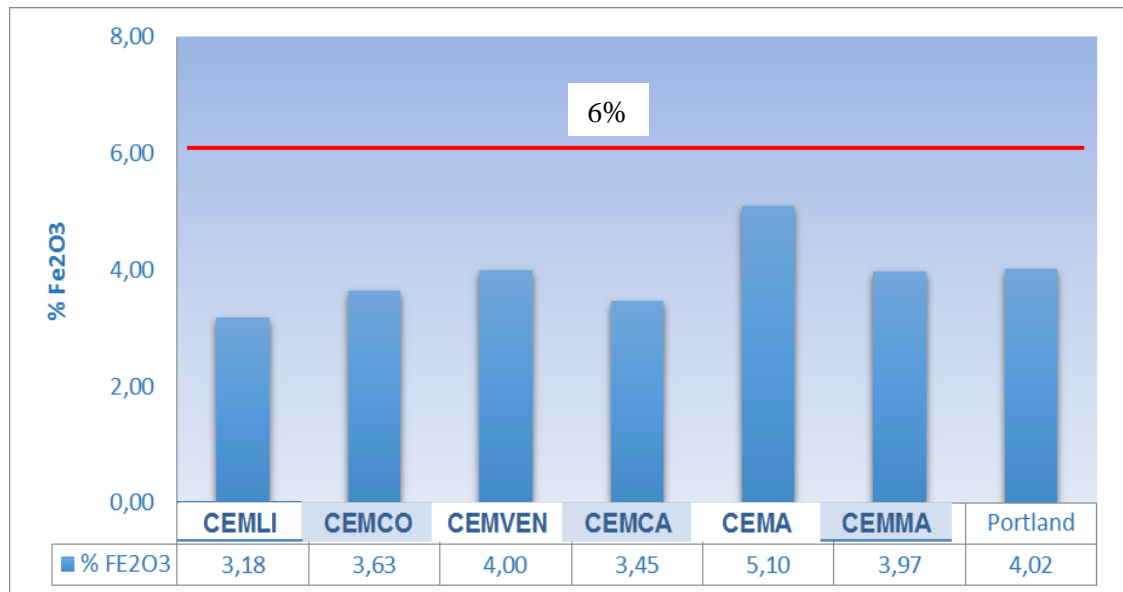


Figura 3. Porcentaje de Fe₂O₃ en los diferentes cementos evaluados.

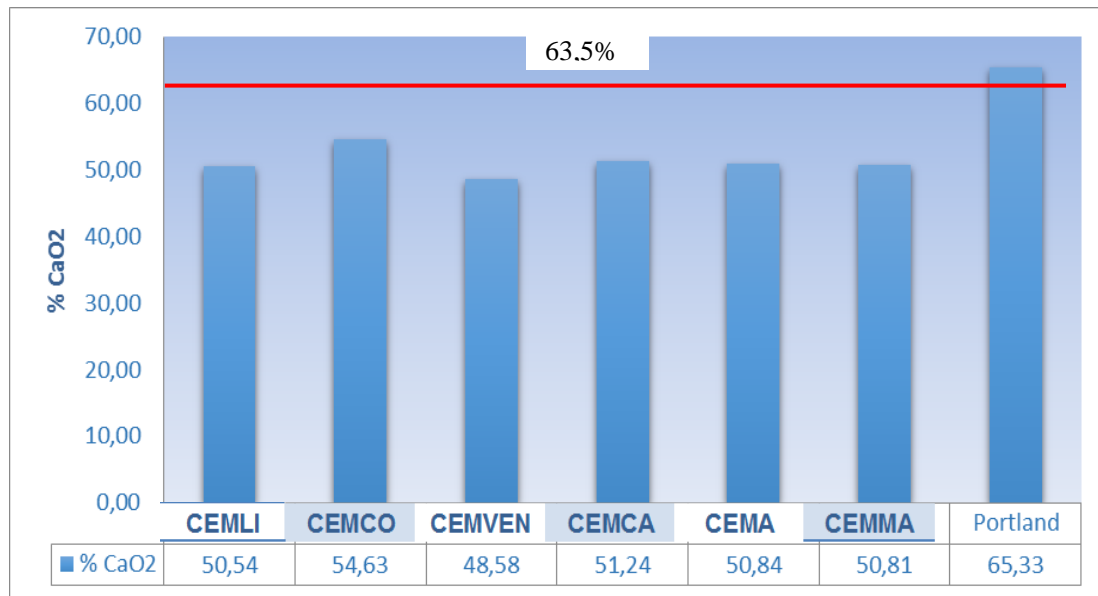


Figura 4. Porcentaje de CaO en los diferentes cementos evaluados.

Este ensayo no posee un valor normalizado para comparar, sin embargo Porrero (2004) indica valores entre 60% y 67% CaO para cementos Portland tipo I de excelente calidad; estando los cementos adicionales evaluados por debajo de estos valores, entre 48,58 % y 54,63 %.

Oxido de Magnesio (MgO): Este ensayo se realiza con los filtrados de la determinación de Oxido de Calcio, y para este se obtuvieron los valores que se muestran en la Figura 5.

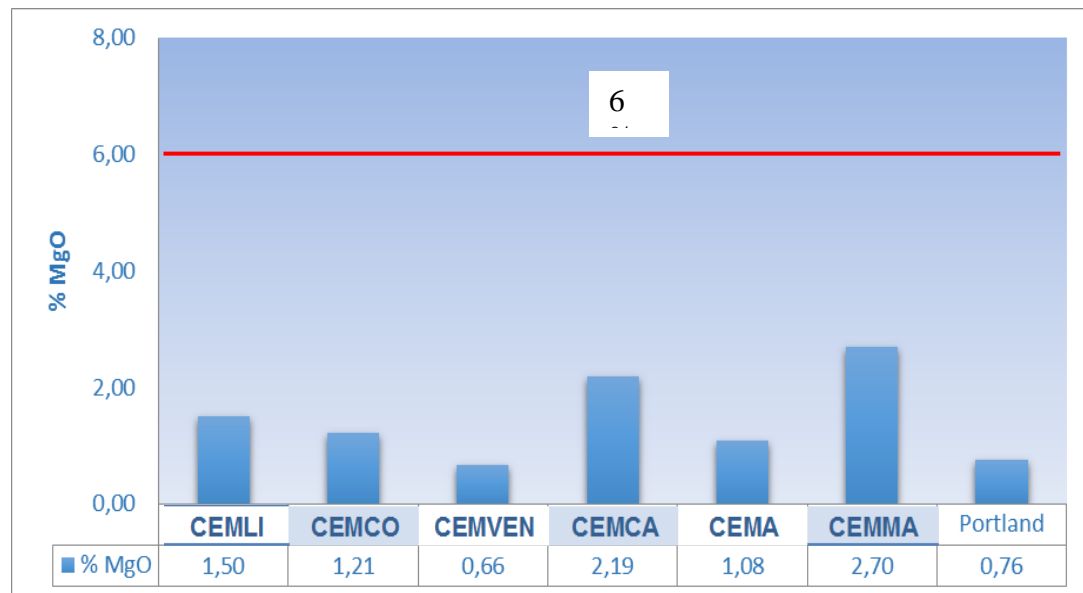


Figura 5. Porcentaje de MgO en los diferentes cementos evaluados.

Todos los valores se encuentran por debajo del límite (6%) estipulado en la norma COVENIN 109-90/ASTM C-114. Se observa que los porcentajes de Oxido de Magnesio están comprendidos entre 0,66% para la muestra de CEMVEN y 2,70% para la muestra CENMA.

Trióxido de Azufre (SO₃): Los resultados obtenidos para los valores duplicados se pueden observar en la Figura 6.

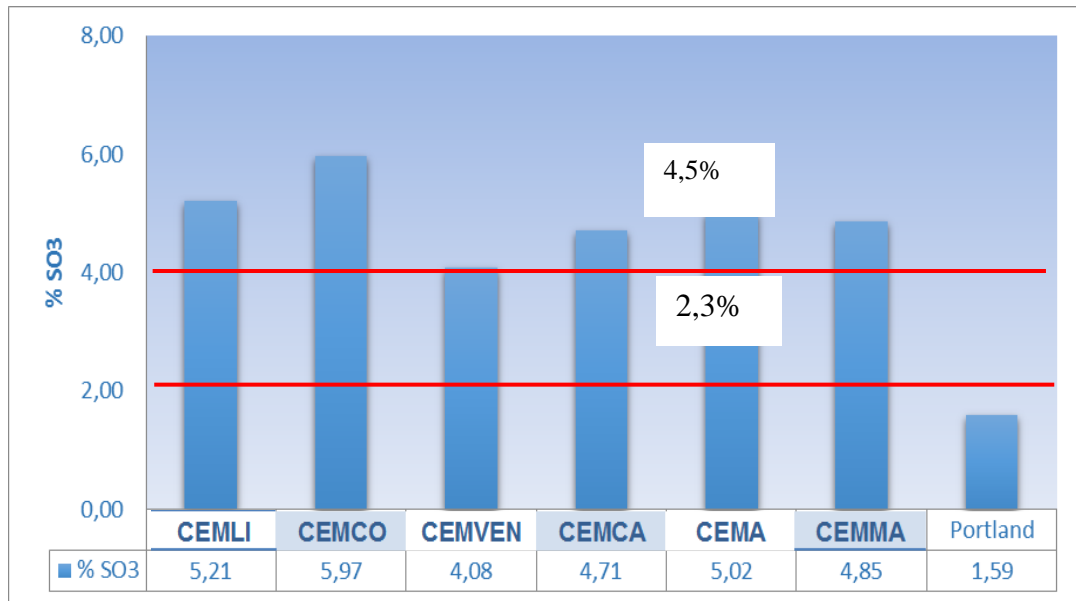


Figura 6. Porcentaje de SO₃ en los diferentes cementos evaluados.

Los requisitos químicos establecidos en la norma COVENIN 28-93/ASTM C-150 establecen el porcentaje de Trióxido de Azufre presente en cementos tipo portland no mayor a un rango entre 2,3% y 4,5%. La Figura 6 muestra que solo el CEMVEN (4,08%) y el Portland (1,59%) cumplen con esta norma, ya que el resto de las muestras contienen mayores cantidades, comprendidas entre 4,85% y 5,97%.

3.2.2 Ensayos especiales

Pérdida al fuego (P.F) del cemento: Este ensayo representó uno de los más sencillos a realizar debido a que solamente se calcinaba la muestra a 950 °C procediendo luego a calcular la diferencia de peso. La Figura 7 muestra los porcentajes de pérdida al fuego obtenidos en el ensayo.

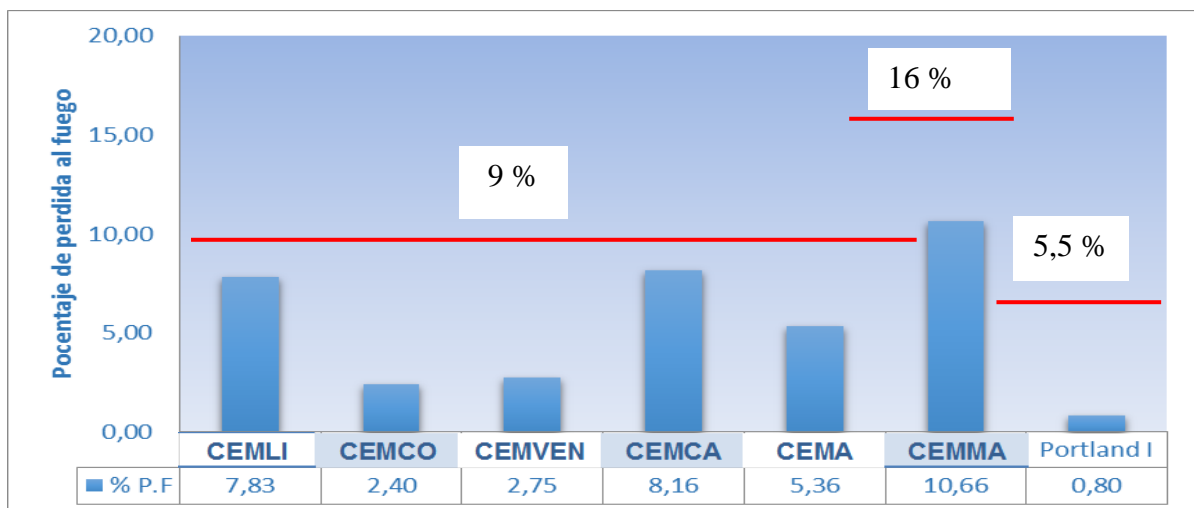


Figura 7. Porcentaje de pérdida al fuego de los diferentes cementos evaluados.

Todas las muestras analizadas cumplen con los parámetros establecidos por las normas COVENIN. Para cementos CPCA1 los valores deben ser menores al 9%, para CPCA2 menores al 16% y para cementos Portland tipo I la pérdida al fuego debe ser menor al 5,5%. Los cementos CEMLI y CEMCA con 7,83% y 8,16%, respectivamente, presentan los mayores porcentajes de P.F en comparación con las demás muestras.

3.2.3 Componentes menores

Oxido de Sodio (Na_2O) y Oxido de potasio (K_2O).- Para la determinación de este componente se realizó en todas las muestras una dilución 1:10 para que la lectura entrara en la recta de calibración del fotómetro de llama. La curva de calibración para la determinación se en la Figura 8.

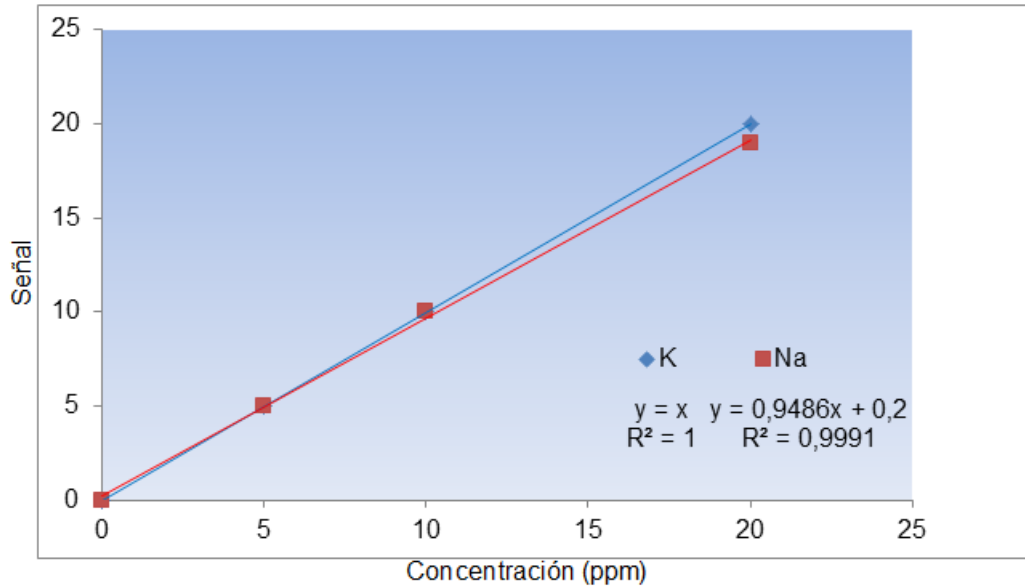


Figura 8. Curva de calibración para la determinación del Na y K en los diferentes cementos evaluados.

Como se observa en la Figura 8 tanto el Na como el K muestran un excelente índice de linealidad. Los resultados obtenidos (Tabla 4) para los valores límites de duplicados indican que todas las concentraciones de Na están por debajo de la desviación máxima permitida que es de 0,03%. En cuanto al K, el 72 % de los resultados se encuentran por debajo de 0,03% que es el valor aceptado, solo CEMCO Y CENMA no cumplen, con un porcentaje de 0,04%; sin embargo, no duplican el límite aceptado con lo cual cumplen con la norma.

La Tabla 4 también indica que el mayor % de Na_2O lo presenta el cemento CEMVEN con 0,17% y el menor CEMLI, CEMCO Y CEMA con 0,11%. Por su parte el cemento Portland presenta un 0,16% de Na_2O que se encuentra en el rango antes mencionado. El mayor % de K_2O lo presentan los cementos CEMVEN Y CEMA con 0,67% y el menor el CEMCO con 0,31%. Por su parte el cemento Portland presenta un 0,52% de K_2O que se encuentra en el rango antes mencionado.

Tabla 4. Resultados obtenidos en la determinación de Na₂O y (K₂O) en los diferentes cementos evaluados.

Muestra	σ^*Na	σ^*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

* Desviación estándar entre duplicados, ** Norma COVENIN 109-90/ASTM C-114, *** Media aritmética del %.

3.2.4 Residuo Insoluble (R.I).

En este caso de estudio más del 70% de los ensayos por duplicado cumple con el parámetro establecido por la norma COVENIN 109-90/ASTM C-114; ya que la variación de dichos ensayos no es mayor a 0,1%, solo en las muestras de CEMAN y Portland I se obtuvieron porcentajes mayores, de 0,12% y 0,15%, respectivamente. La Figura 9 muestra estos resultados.

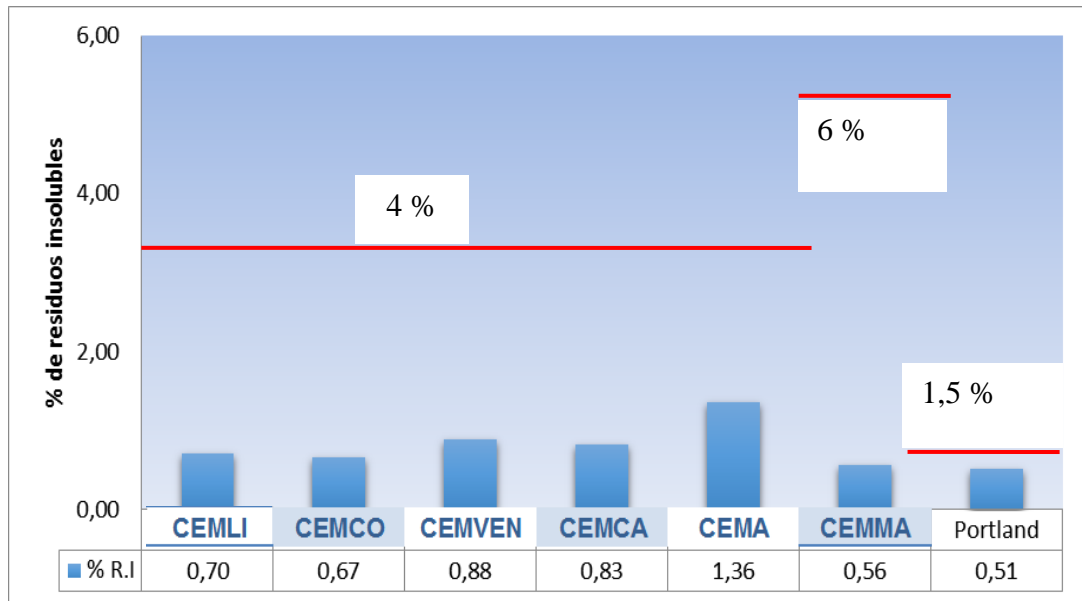


Figura 9. Porcentaje de residuos insolubles en los diferentes cementos evaluados.

En base a los resultados obtenidos se observa que todas las muestras cumplen con los parámetros establecidos por las normas COVENIN en cuanto a residuos insolubles como lo es para cementos CPCA1 porcentajes menores a 4 % para CPCA2 menores al 6% y para cemento Portland tipo I un porcentaje menor al 1,5%. Entre los datos se puede observar que en su mayoría el % R.I de las muestras se encuentra por debajo del 1% a excepción del cemento CEMAN el cual superó por poco el 1%. Si todas las muestras se compararan respecto a la norma COVENIN 3134-04/ASTM C-150 para cemento Portland también cumplirían a cabalidad con este parámetro.

La Tabla 5 muestra todos los resultados de la caracterización química de los diferentes cementos evaluados; donde se puede observar, como ya se indicó, que las concentraciones de algunos de estos compuestos se encuentran fuera de lo especificado en las normas COVENIN.

Es importante destacar los altos y bajos contenidos de Óxido de Aluminio y Óxido de Calcio, respectivamente, en la mayoría de los cementos evaluados; lo cual, en las proporciones obtenidas generarán ciertas limitantes para la elaboración de concreto estructural, particularmente lo relacionado con la resistencia a la compresión, la cual en todos los casos siempre fue inferior a la obtenida con el cemento Portland I. La baja proporción CaO no permite la formación de C₃S y el C₂S en cantidad suficiente como para generar una resistencia a la compresión igual o superior a obtenida con el Portland I.

Tabla 5. Características químicas de los cementos adicionados CPCA1 y CPCA2

Muestra	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

Además, el alto contenido de Al₂O₃ está relacionado con el bajo tiempo de fraguado determinado para los diferentes tipos de cementos adicionados, debido a la potencial formación de altos contenidos de C₃A; el cual también incrementaría la susceptibilidad al ataque por sulfatos, lo cual es muy importante en construcciones en ambientes marinos.

Finalmente, es importante indicar que parece contradictorio que las normas exijan a los cementos adicionados requisitos fisico-mecánicos similares a los del cemento Portland I, cuando su composición química difiere sensiblemente como se demuestra en los resultados de este trabajo.

4. CONCLUSIONES

1. Los cementos adicionados tipo CPCA fabricados en Venezuela y evaluados en este trabajo de investigación no cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la norma venezolana para su uso en la elaboración de concreto estructural.
2. El uso de estos cementos en la elaboración de concretos de uso estructural podrá degenerar en manifestaciones patológicas prematuras.
3. Los contenidos de óxido de aluminio, óxido de calcio y trióxido de azufre de los cementos adicionados están fuera de especificación.
4. Los porcentajes de adición empleados en la fabricación de estos cementos afectan directamente sus propiedades.
5. Los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de Al₂O₃ pudieran estar relacionados con los resultados de tiempo de fraguado.

5. REFERENCIAS

- 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.
- García 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, Kocaba 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.