

VALORIZACIÓN DE EFLUENTES LÍQUIDOS PROVENIENTES DE TANQUES DE SEDIMENTACIÓN DE EMPRESAS CEMENTERAS PARA SU REUTILIZACIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO

NEIL JESUS MARTÍNEZ ¹, FRANCIS CORDERO ², CARLA SEIJAS ¹, JOALBERT JESUS MIJARES ¹,
THIERRY POIRIER ¹, ARMIGCE PINTO ¹, EMILIO LEONI MARIO ACOSTA ³, MIGUEL OREA ⁴

¹ Universidad Simón Bolívar. Departamento de Ciencia de los Materiales.

emails:neilmartinez@usb.ve/francis.cordero@gmail.com/seijascarla@usb.ve/joalbertmijareslopez@gmail.com/
tpoiriers@usb.ve/armigce@gmail.com/emiloleon@gmail.com

² ISS International SpA,

³ Federación Nacional de Cemento (FNC), División Concreto y Agregados.

⁴ Universidad Central de Venezuela Laboratorio de Físico Química de Hidrocarburos. Escuela de Química.
e-mail:oraamig@gmail.com

Recibido: febrero 2017

Aprobado para publicación: abril 2017

RESUMEN

En esta investigación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de las aguas residuales provenientes de los tanques de sedimentación de dos empresas premezcladoras de concreto. Se demuestra que los parámetros comunes se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa COVENIN 2385 (2000) y EN 1008 de calidad de agua de mezclado en concreto. El efecto de parámetros como: cloruros, contenido de sólidos totales, sulfatos y pH, en las características del concreto en estado fresco y endurecido, no fue del todo evidente. Se mantuvieron las propiedades físicas como resistencia mecánica uniaxial, y características reológicas del concreto, en relación al patrón, con porcentajes de error cercanos al 2%. En consecuencia y a pesar de que los niveles permisibles de pH se encuentran fuera de los niveles aceptables, los resultados obtenidos de resistencia uniaxial y tiempo de fraguado inicial están dentro de los valores aceptados por la norma COVENIN 2385 (2000).

Palabras claves: agua de reciclada, concreto, premezclado, reciclado

VALORIZATION OF LIQUID EFFLUENTS ORIGINATED IN SEDIMENTATION TANKS OF CEMENT COMPANIES FOR REUSE IN MIX CONCRETE

ABSTRACT

This contribution presents the results obtained from the evaluation of wastewater from the sedimentation tanks of two concrete premixing companies. It becomes apparent, that the common parameters inside the regulations according to COVENIN 2385, ASTM C94 and EN 1008 of water quality of concrete mixing are the chlorides, content of total solids and sulphates. The effect of these physical-chemical parameters of the water on the characteristics of the concrete in a fresh and hardened state was not completely evident. The conditions of physical parameters such as uniaxial mechanical strength and rheological characteristics of the concrete were maintained, with respect to the taken standard with error rates close to 2%. Consequently, and despite the fact that the permissible levels of pH, the results obtained of uniaxial resistance and initial setting time are within accepted values by Covenin 2385: 2000 regulation.

Keywords: Wash water, Concrete, Cement Premix, Admixtures, Recycling

INTRODUCCIÓN

Una práctica común en todas las empresas de premezclado de concreto, es la limpieza o eliminación del exceso de material hidráulico (cementicio) de las unidades de

producción y sistemas de transporte conocidos como trompos o trucks. Se estima que estos sistemas transportan por lo general 9 m³ de concreto premezclado, de esta cantidad, entre el 1-4 % permanece adherido a las paredes del transporte, por lo que se necesitan entre 560 y 1130

litros de agua de lavado para limpiar los sistemas. Estos fluidos presentan alta alcalinidad (contenido de soda y potasa cáustica), porcentajes altos de sedimentos disueltos y sólidos suspendidos, entre otros contaminantes, que están considerados por la EPA (Agencia de Protección Ambiental Americana), como líquidos altamente corrosivos y peligrosos. Es por ello que todos estos efluentes líquidos deben tener tratamientos previos, antes de ser descargados a los drenajes municipales. El tratamiento primario se basa fundamentalmente en la separación de los sólidos más gruesos mediante tanques de sedimentación (Chini y Mbwanbo, 1996).

A causa de los impactos agresivos que ha creado el efecto invernadero, así como las malas políticas sociales de planeamiento urbano, a lo cual habría que sumarle la ausencia de políticas de control ambiental por parte de los entes gubernamentales, se han originado en muchos países problemas graves en cuanto a la disponibilidad de agua potable per cápita. Es por ello, que en los últimos años se han planteado soluciones ambientales compatibles a esta problemática con el fin de mejorar la disposición de estos efluentes. Una alternativa para mejorar no solo la disposición de agua potable en producción, sino además de reducir efluentes líquidos como los que hemos señalado, es la de reincorporar estas aguas tratadas con sistemas de recirculación dentro del proceso productivo. En este trabajo se resumen los resultados de los estudios de factibilidad de la reutilización de los efluentes líquidos provenientes de los tanques de sedimentación (solo a escala de laboratorio), los análisis de caracterización de los efluentes y la evaluación de propiedades en estado fresco y endurecido en mezclas de concreto en estos cuerpos de agua residual en dos empresas de premezclado en Venezuela.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se eligieron para este estudio dos empresas premezcladoras que, en lo sucesivo, serán identificadas como empresa uno (1) y dos (2). Las mismas poseen tanques de sedimentación para el tratamiento primario de las aguas provenientes de los lavados de los procesos de producción, de los patios de premezclado y limpieza de los trompos de transporte. El tratamiento primario consiste fundamentalmente en procesos de sedimentación por gravedad del material particulado más grueso, y quedan en el efluente líquido los sedimentos más finos, los cuales se descargan, bajo regulaciones ambientales, en los sistemas de drenajes municipales. Para este estudio se tomó solo una muestra del efluente líquido (sobrenadante en el tanque de sedimentación) con sólidos suspendidos en cada una de los sistemas de tratamiento de aguas, junto al agua potable necesaria para la formulación

de los cilindros normalizados de concreto 10X20 empresa (1) y 15X30 empresa (2). En la empresa (1) los trabajos se realizaron en dos fases de evaluación, por razones de disponibilidad de cilindros normalizados. En la primera fase, se prepararon doce mezclas (288 cilindros), y en la segunda fase tres mezclas (72 cilindros). En la primera fase cuatro mezclas se realizaron con un 100% de agua potable (96 cilindros), cuatro mezclas con un 50% (96 cilindros), y cuatro mezclas con 100% de agua tratada (96 cilindros); todas se evaluaron entre siete y veintiocho días de curado. En la segunda fase se formularon: una mezcla de veinticuatro cilindros, ocho probetas curado a siete días, y dieciséis para veintiocho días de curado, por tipo de mezcla, 100% agua tratada, 50 % agua tratada, 100 % agua potable.

En la empresa (2) se procedió a realizar treinta mezclas, de ciento cincuenta cilindros 15X30 en total, diez mezclas con 100% de agua potable (50 cilindros), diez mezclas con 50% de agua tratada (50 cilindros), y diez mezclas con 100% de agua tratada (50 cilindros). El curado se realizó tomando dos cilindros a siete días y tres cilindros a veintiocho días. Para las dos empresas las evaluaciones del agua provenientes de los tanques de sedimentación se realizaron siguiendo la normativa de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), Covenin 2385 (2000). Tomando como referencia la mínima cantidad de mezclas exigidas y probetas vaciadas por esta norma.

Caracterización de efluentes líquidos

Para la caracterización de los efluentes líquidos se utilizaron diferentes técnicas espectroscópicas. La toma de las muestras, así como la determinación de los contaminantes se realizó bajo normativa del SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, (APHA, AWWA, WEF, 2012), y EPA 60074782-029, USEPA (2002) y tomando como límites permisibles los establecidos en la norma COVENIN 2385 (2000) y de la American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM C1602 (2006). Otros análisis determinados en este proyecto, cuyos niveles están limitados por las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (1995), (Decreto N° 883), y no así en normativas vigentes como la COVENIN 2385(2000), se proponen como posible ampliación para la norma anteriormente mencionada.

A las muestras provenientes de las empresas en control se les realizaron análisis físico-químicos, tomando en cuenta variables que influyen en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Los estudios realizados fueron los siguientes: pH, conductividad eléctrica, DBO, DBO, DQO, NO₂;

NO₃⁻, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃²⁻, SO₄²⁻, OH⁻, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Co²⁺, Cu²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, Ni²⁺, V³⁺, Cr³⁺, Cd²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺, Ag⁺, fósforo total, alcalinidad, sólidos disueltos, dureza cálcica y magnésica, dureza total, alcalinidad, detergentes, fenoles, grasas y aceites.

Caracterización de sólidos disueltos y suspendidos

Para la caracterización de los sólidos se efectuaron los siguientes ensayos:

Difracción de Rayos X (DRX). Este estudio se realizó con la ayuda de un equipo Siemens D500 con una longitud de onda de Cu $\lambda = 1.54\text{\AA}$ a un paso de 0.01° y tiempo estimado de 96 horas. En los cálculos del análisis Rietveld se utilizó el Software Match Versión 2.

Granulometría laser (DLS). Los ensayos se efectuaron mediante un equipo Malvern, modelo Mastersizer 2000.

Microscopía electrónica de barrido con detector EDS (MEB/EDS). Se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido marca Jeol, modelo JSM 6390, con detector EDS marca Oxford modelo Inca.

Caracterización de los agregados finos y gruesos. La materia prima utilizadas para la realización de las mezclas se caracterizaron según normas que a continuación se mencionan:

Caracterización granulométrica de los agregados. Los Agregados gruesos y finos se caracterizaron bajo normas COVENIN 277(2000) y ASTM C33 (2003). Granulometría COVENIN 255(2006), partículas menores 75 μm COVENIN 258(2009), partículas en suspensión COVENIN 0259(2009), partículas planas y alargadas COVENIN 0264(2007), densidad y adsorción de agua COVENIN 268(1998) y 269(2006), humedad COVENIN 1375(2008), colorimetría COVENIN 256(2009).

Formulación, preparación y control de propiedades del concreto fresco y endurecido. Todas las mezclas en estudios se realizaron bajo los requerimientos de la norma COVENIN 2385(2000) sobre evaluación de agua de mezclado en concreto premezclado, en un trompo de normalizado de 150 l de capacidad según norma COVENIN 1680 (1980). Las probetas se prepararon bajo la norma COVENIN 338 (2002). En la empresa (1) se utilizaron probetas de 10X20, y en la empresa (2) probetas normalizadas 15X30. La evaluación de sus parámetros físicos y químicos en estado fresco y endurecido, se expone a continuación:

Asentamiento. Los asentamientos de las mezclas se determinaron mediante el cono de Abrams según lo específica COVENIN 339 (2003).

Tiempo de Fraguado. Esta propiedad del concreto fresco se determinó según norma COVENIN 352 (1979).

Medición de la resistencia a la compresión. La evaluación de la resistencia a la compresión se evaluó según norma COVENIN 338 (2002), en equipos con controles de certificaciones anuales.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Caracterización de los efluentes líquidos

En el siguiente apartado se presenta la caracterización de los efluentes residuales a utilizar. En la Tabla 1 se observan los datos obtenidos de los distintos análisis realizados. Se debe resaltar que el uso del decreto N° 883, en este trabajo, obedece a que uno de los objetivos específicos del proyecto era determinar analitos que pudieran influir en las características del concreto y utilizar estos límites, según los resultados, en trabajos posteriores. Los resultados de los parámetros determinados se encuentran dentro los límites aceptables comparados con los apreciados en el decreto N° 883. La conductividad eléctrica, DBO, DQO, metales pesados, fósforos y fenoles se encuentran dentro de los límites según esta normativa. Estos resultados eran los esperados, dado que en ninguna etapa del proceso de producción se utiliza materia prima con contaminantes que podrían modificar estos analitos. Los parámetros físicos- químicos que determinan la actividad bacteriana se presentan en niveles aceptables, según este decreto 883 (ejemplo: nitritos, nitratos). Los índices comunes en los que se esperaba variabilidad significativa con valores normales a los aceptados, son los derivados de metales alcalinos, y alcalinos térreos formados fundamentalmente por el origen: cálcico/sódico/magnésico/férrico del clinker que constituye la mezcla de cemento Portland, los cuales se encuentran limitados en la norma COVENIN 2385(2000) y ASTM C 1602(2006). Las reacciones de hidratación de las fases constituyentes del cemento Portland, originan la alta alcalinidad presentada y pH, por la presencia fundamental de la portlandita (CaOH) y brucita (MgOH). Parámetros como aceites y grasas, hidrocarburos que por reacciones de saponificación en medios alcalinos pueden causar influencia en las reacciones de hidratación y, en consecuencia, el tiempo de fraguado de cemento se encuentra dentro de los límites permisible según el decreto 883.

Es por ello que se plantean como índices claves para la valorización y control de estos efluentes –en la posible reutilización en mezclas de concreto–: la determinación del pH, sólidos totales disueltos y suspendidos, nitritos y nitratos, alcalinidad, aceites y grasas, además de lignosulfonatos, DBO y DQO, de los cuales, según referencia bibliográfica, se ha evidenciado su influencia en el tiempo de fraguado de concreto. El contenido de sulfatos es otro índice interesante que podría afectar en la formación de especies de etringita, trisulfato y mono sulfato (ASTM International C1602/C1602M, 2006).

La determinación de las concentraciones en el orden de los ppm de metales pesados Pb/Hg/Cd/Cr/V/Zn, catalogados por organismos internacionales de regulación y control ambiental, como peligrosos, y los cuales son originarios de los sistemas de aleaciones de aceros metálicos, que componen la unidades productivas, y que por efecto de degradación, corrosión, desgaste por abrasión, pueden migrar a los productos finales, efectivamente, fue verificada. Se encontró que sus niveles de concentración están dentro de los límites admisibles, según el decreto N° 883, constituye un gran aporte para los objetivos de la presente investigación.

Se debe acotar que debido a la inexistencia de normativa nacional, en relación a la evaluación de aguas de mezcla para concreto, y de algunos de los parámetros determinados en esta contribución, los cuales no se mencionan en la normativa COVENIN 2385 (2000), los límites permisibles del decreto número 883, pudieran ser la base para ampliar la norma COVENIN 2385(2000).

Tabla 1. Análisis físico-químico de aguas residuales

Parámetro	Emp 1	Emp 2	Dec 883	Cov 2385
pH	12.11	12.6	5 – 7.5	5 – 7.5
σ	1346	4600		
*Det.	0.10	0.23	2	
*Ac. y Gr.	0.45	9.17	150	
*Hidro.	≤ 0.11	≤ 4	≤ 20	
DBO	2	8	60	
DQO	46	30	250	
SO_4^{2-}	236.3	126.3	3000	3000
NO_2^-	0.2	0.5	10	
NO_3^-	2.8	3.3	10	
Cl^-	11.9	36.8	500	500
CO_3^{2-}	0.04	67.5	400	
HCO_3^-	≤ 0.01	≤ 0.01		
OH^-	1.46	344.3	10000	
S^{2-}	0.2	4.8	2	
Na^+	92.8	54	200	
Ca^{+2}	665.7	572		
Mg^{+2}	0.3	0.11	500	
Co^{+2}	≤ 0.05	≤ 0.05	0.5	
Cu^{+2}	≤ 0.05	≤ 0.05	1	
Fe^{+3}	0.4	0.29	25	
Mn^{+2}	≤ 0.05	≤ 0.05	10	
Ni^{+2}	0.1	0.09	2	
V^{+3}	≤ 0.05	≤ 0.05	10	
Cr^{+3}	0.7	0.23	2	
Cd^{+3}	≤ 0.05	≤ 0.05	0.2	
Pb^{+2}	≤ 0.05	≤ 0.05	500	
Zn^{+2}	0.1	0.07	10	
Ag^+	≤ 0.05	≤ 0.05	0.1	
K^+	151.3	130		
P total	0.5	056	10	
Fenol	≤ 0.1	≤ 0.1	0.5	
N total	≤ 1.51	≤ 0.5	40	
D.Cál	1662.3	1428		
D.Mag	1.2	0.5		
D total	1663.5	1428		

Emp: Empresa, Dec: Decreto, Cov: COVENIN, Ac: Aceite, Gr: Grasa, Hidr: Hidrocarburo, Cationes y Aniones (ppm) P: Fosforo N: Nitrógeno, D: Dureza (CaCO₃/l), Cal: Cálcula, Mag: Mágnesica, σ : Conductividad ($\mu S/cm$)*:ppm. DBO, DQO (O₂/L): demanda química y bioquímica de oxígeno.

Caracterización de sólidos suspendidos y disueltos

Difracción de Rayos X(DRX) Análisis Rietveld. En las Figuras 1 y 2 se representan los patrones de difracción correspondientes a los sólidos disueltos y suspendidos de los efluentes residuales de las empresas (1) y (2), respectivamente. La determinación semicuantitativa de las fases cristalina presentes en estos sólidos se calcularon con la aplicación del método Rietveld. En las mismas se determinaron que las fases que mayormente estuvieron presentes fueron: calcita, cuarzo y muscovita, las cuales son originarias de la materia prima utilizada en las mezclas de concreto, como lo son arenas silíceas y rocas calcáreas. Las fases derivadas de los productos de hidratación, como lo son la portlandita, tobermorita y la etringita, fueron también identificadas y cuantificadas en los sedimentos (Tabla 2). La influencia de estos minerales en las reacciones de hidratación y en las resistencias mecánicas uniaxial, se podrían interpretar desde un punto de vista: por dispositivos de efecto mecánico, a consecuencia de los diámetros de partículas presentes en los mismos (acción filler). Las reacciones puzolánicas debido a la presencia de sílice también pueden influir de manera de ganancia sinérgica en la resistencia mecánica a la compresión.

Las determinaciones se realizaron con el apoyo del Software Macht 2, y la base de datos PDF2: el Chi cuadrado (χ^2) en las dos determinaciones está en el orden (χ^2)= 7:5 para los sedimentos de la empresa (2) y para los sedimentos de la empresa (1) (χ^2)= 10.7, y se indica, que el modelado de la curva experimental y la simulada, son aceptadas por sus similitudes al comparar la distribución observada a una esperada. Las refinaciones de los parámetros que intervinieron en el análisis fueron de forma y estructurales (celda unidad).

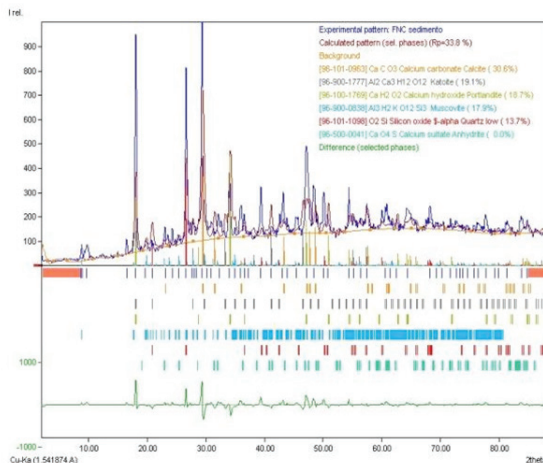


Figura 1 Análisis Rietveld del patrón de difracción de los sedimentos empresa 1

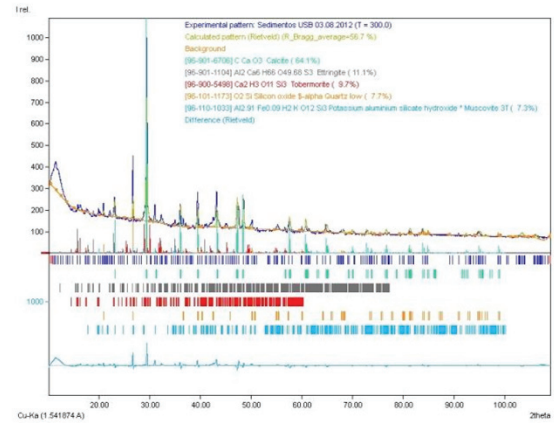


Figura 2 Análisis Rietveld del patrón de difracción de los sedimentos empresa 2

Tabla 2. Composición de fases en los sedimentos.

PDF	Compuesto	Emp 1	Emp 2
96-900-0966	Calcite	45.4%	61.1%
96-101-1173	Quartz low	17.4%	8.1%
96-100-1769	Portlandite	16.1%	
96-900-0106	Dolomite	7.3%	
96-900-9462	Muscovite	6.2%	12.3%
96-901-1577	Etringite	5.3%	2.4%
2.496-900-0506	Periclase	2.4%	
96-901-6706	Tobermorite		16.1%

Granulometría Laser (DLS) El efecto que podrían tener los sólidos suspendidos y/o disueltos en la resistencia a la compresión en las mezclas, sería de tipo mecánico. Se presentan en la Figura 3 y 4, la distribución granulométrica de los sólidos disueltos y/o suspendidos, destaca el comportamiento bimodal del mismo, observado en la Figura 3, para la empresa (1). Se determina el d_{50} promedio en 34 μ m.

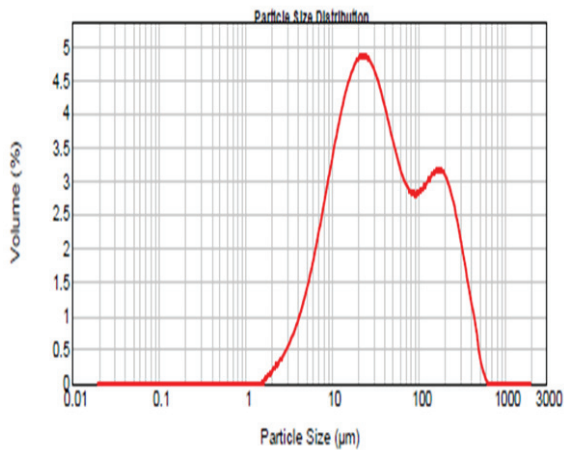


Figura 3. Granulometría promedio de sedimentos de agua reciclada empresa 1

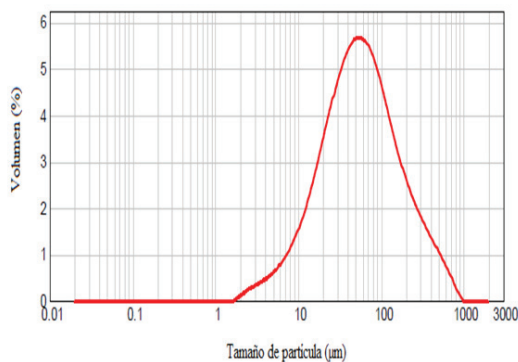


Figura 4. Granulometría promedio de sedimentos del agua reciclada empresa 2

En la Figura 4 se representa la distribución granulométrica para la empresa (2) con comportamiento monomodal y diámetros de partículas mayoritarias d_{50} 58 μm , estando estos promedios por debajo a los reportados para el cemento. La influencia del tamaño de partículas de los sedimentos, también podría tener algún efecto en la fluidez de la mezcla en estudio.

Microscopía electrónica de barrido con análisis EDS

A causa de las diferentes fases que pudieran estar presentes en los sólidos suspendidos, se complementaron los estudios de DRX, con la técnica de MEB/EDS, con el fin de identificar y cuantificar eficientemente por el método Rietveld las fases presentes.

En la Figura 5 se observa una fotomicrografía correspondiente a la muestra de sedimentos totales, en la misma se pueden apreciar formaciones aciculares delgadas que corresponden a agujas de etringita.

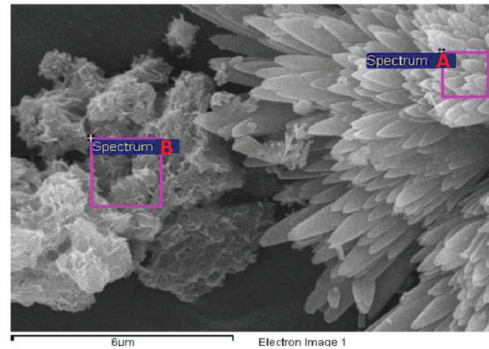


Figura 5. Fotomicrografía de la muestras de sedimentos empresa 1

La composición por EDS del punto identificado como espectro A en la figura 5, se aprecia en la tabla 3, aquí se identifica una alta proporción de calcio (24,54%), carbono (10,09%) y oxígeno (53,86%), con elementos de menor concentración de Al, S, Si valores que confirman la tendencia apreciable de cristales de etringita.

Tabla 3. Elementos determinados por MEB en la empresa (1). (Espectro A).

Elemento	% en peso	% atómico
C	30,28	41,21
O	46,93	47,95
Al	5,44	3,30
Si	1,76	1,03
S	1,67	0,85
Ca	13,91	5,67

Tabla 4. Elementos determinados por MEB en la empresa (2). (Espectro 1)

Elemento	% peso	% atómico
O	38,27	58,16
Al	4,23	3,82
Si	16,25	14,07
Ca	34,98	21,23
Fe	6,26	2,73

En el espectro B, correspondiente a la Figura 5, se observa un aglomerado de estructuras fibrosas de silicatos cálcicos hidratados. Los elementos encontrados en esta formación fueron: oxígeno, calcio, aluminio, silicio y hierro (Tabla 4) que corresponden a los componentes mineralógicos del cemento Portland.

En la figura 6 se observa una muestra de los sólidos disueltos y/o suspendidos presentes en el agua reciclada, de la

empresa (2), en la misma se pueden apreciar las similitudes en la morfología de estos sedimentos. Las formaciones aciculares delgadas y silicato cálcico hidratado (C-S-H), están presentes también en la empresa (1).

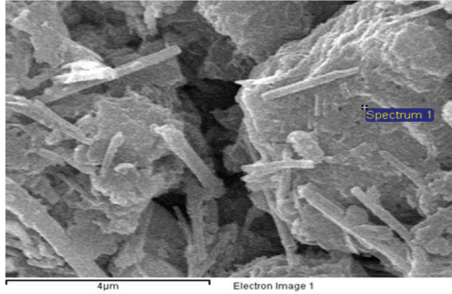


Figura 6. Fotomicrografía de la muestras de sedimentos empresa 2

Caracterización de los agregados finos y gruesos

En la Tabla 5 se resumen los resultados obtenidos en la caracterización físico-química de los agregados gruesos y finos. Todos los resultados están dentro de los rangos permitidos por las normas ASTM y COVENIN, para la utilización de los mismos en mezclas de concreto, con el fin obtener un material con condiciones reológicas y de resistencia mecánica a la compresión óptimas

Tabla 5. Caracterización física de agregados gruesos y finos.

Propiedad	Fino 1	Grueso 1	Fino 2	Grueso 2
Mat fino	3.50	2.60	3.19	1.09
da (g/ml)	2.60	2.67	2.56	2.79
Ad (%)	1.01	1.07	3.42	0.48

Da: densidad; Ad: adsorción, 1; empresa(1); 2; empresa (2)

Tabla 6. Granulometría de agregados gruesos y finos

Abert.	Fin. 1	Gr. 1	Fin.2	Gr. 2
25.4		98.8		99.0
19		73.7		73.0
12.7		29.6		24.0
9.51		14.5		9.7
6.35		5.2		4.7
4.76	96.2	0.0	72.1	4.1
2.38	90.4		54.7	3.8
1.19	70.4		41.4	3.4
0.595	45.6		23.9	2.6
0.297	18.9		16.9	2.3
0.149	5.3		7.4	1.7
0.075	2.5		1.9	0.6
MF	2.74		3.83	

Abert: Abertura. Tamiz. Fin: Finos. Gr: Grueso, 1; empresa (1), 2; empresa (2).

Formulación, preparación y control de propiedades del concreto fresco y endurecido

Las dos formulaciones de concreto evaluadas, se calcularon bajo las indicaciones de las distintas gerencias de producción y control de calidad de las empresas participantes en el proyecto; utilizando para el control reológico y de optimización dos aditivos distintos superplastificantes. Las distintas dosificaciones se regularon bajo estricta instrucción de la gerencia de producción. Se resguardó la relación agua/cemento α , y la resistencia de cálculo a los veintiocho días ($f_c = 250$ Mpa). (Tabla 7).

Tabla 7. Formulaciones preparadas

Materiales	Dosis (50L)1	Dosis (41L)2
C Tipo III (kg)	20.40	15.29
Agua (L)	9.900	7.24
Fino (kg)	5520	38.76
Grueso (kg)	57.0	36.57
Aditivo SP (L)		0.138
Relación α	0.48	0.48

1: empresa (1); 2: empresa (2).

En la Tabla 8 se pueden observar los resultados obtenidos en la determinación de los asentamientos de las distintas mezclas evaluadas, así como el tiempo de fraguado según la norma COVENIN 2385 (2000). Esta propiedad solo se estableció para las primeras cuatro mezclas. Al observar que las mismas cumplieron con las especificaciones de norma de ± 45 min de diferencia, no hubo necesidad de replicarla con el resto de las mezclas realizadas. Con respecto al asentamiento, todas cumplieron con las normativas COVENIN 339 (2003) y ASTM C143 (2015) vigentes, de mantener un error entre las evaluaciones de asentamiento ± 1 pulg.

La pequeña variación observada en la determinación del asentamiento en la empresa (2), se pudo deber a la alteración por efecto electrostático y/o estérico del superplastificante en la mezcla, debido a las concentraciones altas de pH, además de otros aniones determinados como: NO_2^- , NO_3^- , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^{2-} , SO_4^{2-} , OH^- , que afectan el desempeño del superplastificante.

Como se observa en la Tabla 8, para la empresa (1) la resistencia mecánica promedio obtenida para las probetas elaboradas con agua potable a siete días de curado fue 1,1% mayor a las preparadas con 50% agua reciclada y 0,4% mayor que la mezcla fabricada con 100% agua reciclada. A los veintiocho días de curado los resultados de resistencia a compresión para la mezcla patrón superaron por 0,8% a las mezclas preparadas con 50% agua reciclada y por 0,9%

a las mezclas preparadas con 100% de agua reciclada. En general, los resultados de la resistencia a compresión para las mezclas realizadas con agua reciclada son levemente menores en relación a las mezclas elaboradas con agua potable.

Chatveera, Lertwattanaruk, Makul, (2006), determinaron que la resistencia mecánica disminuye en función de la cantidad de agua reciclada utilizada para la fabricación de la mezcla. Atribuyen este comportamiento a la alta alcalinidad de los sedimentos presentes en el agua, los cuales pueden ocasionar la disolución del carbonato de calcio y de los silicatos de calcio hidratados, y perturbar la hidratación del cemento. El elevado pH del agua reciclada disminuye la adhesión de la pasta a los agregados al generar un aumento de espesor de la capa interfacial entre ellos, reduciendo la resistencia mecánica.

El comportamiento en la evaluación del asentamiento (T) se resume igualmente en la Tabla 8. Se observa que la propiedad se mantiene dentro de los valores aceptados por la norma COVENIN de ± 1 pulg. La naturaleza alcalina y el contenido de sólidos presentes en el agua reciclada tiene poco efecto en la fluidez de la mezcla, así como en el proceso de hidratación del cemento.

Tabla 8. Resultados de asentamientos, tiempo de fraguado y resistencia mecánica a la compresión entre 7 y 28 días.

P	Patr	50*	100*	Patr	50*	100*
T	6	5.5	6	7.25	6.9	6.3
Fi	9:35	9:27	9:09	8:34	8.26	8:23
F _{c7}	261	266	259	309	325	330
F _{c28}	334	330	330	405	405	403

P: propiedad; Patr: patron; T: asentamiento(pulg); Fi: tiempo de fraguado inicial (h); F_{c7}: resistencia a 7 (kgf/cm²); F_{c28}: resistencia a los 28 días (kgf/cm²); *: % de agua reciclada empresa (1).

Para las empresas (1) y (2) se cumple en ambos casos lo requerido en la norma COVENIN 2385 (2000) y la ASTM C 1602 (2006) las cuales establecen que la diferencia entre las resistencias promedio de las mezclas hechas con agua potable y con agua de prueba no debe ser mayor de 10%.

El hecho de que la resistencia mecánica a siete días para las mezclas preparadas con 100 % de agua reciclada fuera ligeramente menor que las mezclas preparadas con agua potable, puede deberse a los sólidos finos contenidos en el agua reciclada, los valores de pH y los iones disueltos en solución, los cuales interfieren de manera temprana en la velocidad de fraguado del mismo. Los mecanismos dispuestos para este fin, que explican el fraguado de cemento, establecen cargas eléctricas alrededor de las

partículas de C₃S y C₂S, y la cristalización de portlandita. A tiempos de fraguado superiores se obtiene que las resistencias a la compresión se mantienen prácticamente igual al utilizar agua potable y reciclada; a pesar de ello y, al no evaluar la influencia de patologías como resistencia a lo sulfatos, no podríamos inferir que no presente algunas de estas patologías.

Para la empresa (2), las altas resistencias obtenidas, que superan los 300 kgf/cm² a los siete días y alcanzan más de 400 Kgf/cm², a los veintiocho días, a pesar de utilizar un diseño de mezcla para resistencias de 250 kgf/cm² pueden deberse a la fuerte acción del aditivo superplastificante, ya que al ajustar la cantidad de agua hasta obtener la fluidez requerida, se originó una disminución considerable en la relación agua cemento, lo que arrojó un valor de $\alpha = 0.39$.

CONCLUSIONES

Como consecuencia de las distintas evaluaciones realizadas, no se evidenció un efecto marcado en las características del concreto fresco y endurecido, como lo son el asentamiento, tiempo de fraguado y resistencia mecánica uniaxial. Estos parámetros se encuentran en los límites permisibles según las normas COVENIN 2385 (2000) y ASTM C1602 (2006).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el financiamiento de este proyecto al Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Innovación, bajo el programa de PEI año 2012 N° 2012000176. Decanato de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar (DIC/USB). Venezuela. Instituto de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Tubinga. Baden Württemberg Alemania, empresa Chemiconsul.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WEF. (2012). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 22nd ed., 1360 pp.* Washington: Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- ASTM C33 (2003). *Standard Specification for Concrete Aggregate.* West Conshohocken PA, United States, ASTM International. DOI: 10.1520/C0033_C0033M-03, www.astm.org
- ASTM C143/C143M (2015). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.* West

- Conshohocken PA, United States, ASTM International. DOI: 10.1520/C0143_C0143M-15, www.astm.org
- ASTM C1602/C1602M (2006). *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*. West Conshohocken PA, United States, ASTM International. DOI: 10.1520/C1602_C1602M-06, www.astm.org
- COVENIN 255 (2006). *Norma Venezolana: Agregados. Determinación de la composición granulométrica*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 256 (2009). *Norma Venezolana: Método de ensayo para determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto (ensayo colorimétrico)*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 258 (2006). *Norma Venezolana: Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo Covenin 74 micras en agregados minerales*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 0259 (2009). *Norma Venezolana: Método de ensayo para determinar el cociente entre la dimensión máxima y la dimensión mínima en agregados gruesos para concreto*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 0264 (2007). *Determinación por suspensión de partículas menores de 20 µm*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 268 (1998). *Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 269 (2006). *Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 277 (2000). *Norma Venezolana: Concreto. Agregados Requisitos*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 338 (2002): *Norma Venezolana: Concreto. Método para la elaboración, curado, y ensayo a compresión de cilindros de concreto*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 339 (2003). *Norma Venezolana: Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 352 (1979). *Norma Venezolana: Método para la determinación el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 1375 (2008). *Norma Venezolana: método de ensayo para determinar por secado el contenido de humedad total y superficial en el agregado*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 1680 (1980). *Norma Venezolana: Mezcladores de Concreto Permanente o Temporalmente Estacionadas con o sin Sistemas de Cargas*. Caracas: Fondonorma
- COVENIN 2385 (2000). *Norma Venezolana: Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos*. Caracas: Fondonorma
- EN1008 (2004). *Mixing Water for Concrete - Specification for Sampling, Testing and Assessing the Suitability of Water, Including Water Recovered From Processes in the Concrete Industry, as Mixing Water for Concrete*. London UK, British Standards Institution, <http://www.bsi-global.com>
- CHATVEERA, B., LERTWATTANARUK, P. & MAKUL, N. (2006). Effect of Sludge Water From Ready-Mixed Concrete Plant on Properties and Durability of Concrete. *Cement & Concrete Composite* 28(5), 441-450
- CHINI, S. A., & MBWAMBO, W. J. (1996, October). Environmentally Friendly Solutions for the Disposal of Concrete Wash Water From Ready Mixed Concrete Operations. In *Proceedings of CIB W89 Beijing International Conference*, 21-24.
- NORMAS PARA LA CLASIFICACIÓN Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA Y VERTIDOS O EFLUENTES LÍQUIDOS (1995). (Decreto N° 883). *Gaceta Oficial de la República de Venezuela* N° 5.021 (Extraordinaria), 18-12-1995 del 18 de Diciembre de 1995
- USEPA (2002). *Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater*. Environmental Monitoring and Support Laboratory, U.S Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. Washington, D.C. EPA/600/4-82/029

