

EFFECTO DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA DE MEZCLADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.

Francisco Guerra^{1*}; Yomarbeliz Carranza¹, Henry Blanco¹ y Cesar Peñuela¹

¹ Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela

*francisco.ucv.fi@gmail.com

RESUMEN

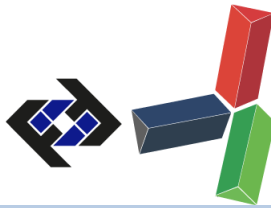
En los últimos años se han realizado investigaciones que demuestran la factibilidad de usar el agua no potable en la elaboración de concreto, obteniéndose en algunos casos resistencias a compresión ligeramente mayores que en las mezclas elaboradas con el agua potable, lo cual, según varios investigadores, se debe a la presencia de sólidos suspendidos en el agua de mezclado, ya que actúan como partículas de relleno en los espacios vacíos presentes en la mezcla. En esta investigación se plantea analizar el efecto de los sólidos suspendidos, presentes en el agua de mezclado, sobre la resistencia a compresión del concreto; para lo cual se utilizaron mezclas de mortero elaboradas con la misma agua potable, variando sólo la concentración de sólidos suspendidos y bajo la premisa que el proceso de hidratación es similar en el concreto y mortero. Las probetas utilizadas fueron de 5 cm de diámetro x 10 cm de altura para los ensayos a compresión a 3, 7, 14, 28 y 90 días. La relación agua/cemento se fijó en 0,50 para un $f'c$ esperado de 250 kgf/cm² y el material usado para que actuara como sólidos en suspensión fue el caolín. Los resultados indicaron que a medida que aumentan los sólidos suspendidos en el agua de mezclado se reduce la trabajabilidad, se retarda el tiempo de fraguado y las resistencias a compresión aumentan ligeramente con respecto a las mezclas elaboradas con agua potable.

Palabras Clave: Sólidos suspendidos, agua de mezclado, mortero de cemento, resistencia a compresión, consistencia y tiempo de fraguado.

ABSTRACT

In recent years, researches have been carried out that demonstrate the feasibility of using non-potable water in the elaboration of concrete, obtaining in some cases slightly higher resistance to compression than in the mixtures elaborated with drinking water, which, according to several researchers, is due to the presence of suspended solids in the mixing water, since they act as filling particles in the empty spaces present in the mixture. In this investigation it is proposed to analyze the effect of suspended solids, present in the mixing water, on the compressive strength of the concrete; for which mortar mixtures made with the same drinking water were used, varying only the concentration of suspended solids and under the premise that the hydration process is similar in concrete and mortar. The specimens used were 5 cm in diameter x 10 cm in height for compression tests at 3, 7, 14, 28 and 90 days. The water/cement ratio was set at 0.50 for an expected 250 kgf/cm² $f'c$ and the material used to act as suspended solids was kaolin. The results indicated that as the solids suspended in the mixing water increase, workability is reduced, the setting time is delayed and the compressive strengths increase slightly with respect to the mixtures made with drinking water.

Keywords: Suspended solids, mixing water, cement mortar, compression resistance, consistency and setting time.



INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso necesario para la vida y en las últimas décadas se ha visto en peligro su disponibilidad, debido a la contaminación y al cambio climático. La industria de la construcción y específicamente la producción de concreto premezclado, requiere de una gran cantidad de agua para su funcionamiento; en vista de ello se han generado una serie de investigaciones que han evaluado la posibilidad de usar agua no potable como agua de mezclado. Estos trabajos han permitido comprobar que el uso de estas aguas es posible, ya que cumplen con los requisitos establecidos en las normas que regulan la calidad del agua de mezclado, e incluso permiten obtener resistencias ligeramente mayores. Según algunos autores de las investigaciones realizadas, este ligero aumento se debe al contenido de sólidos suspendidos presentes en el agua, ya que los mismos actúan como partículas de relleno de los espacios vacíos que se generan en las mezclas de mortero o concreto. En este trabajo se analiza el efecto de los sólidos suspendidos contenidos en el agua de mezclado del concreto, con el fin de establecer si estas partículas son beneficiosas o no, para las propiedades de la mezcla, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

METODOLOGÍA

Para la selección de las concentraciones de sólidos suspendidos en las aguas de mezclado del mortero a utilizar, se hizo un estudio previo de otras investigaciones, normativas vigentes y literaturas especializadas, que contenían valores específicos de concentración de sólidos suspendidos; así se obtuvieron 5 concentraciones de trabajo identificadas de la siguiente manera: SS1: 30 mg/l, SS2: 300 mg/l, SS3: 3000 mg/l, SS4: 10000 mg/l y SS5: 150000 mg/l, asociada cada una a la mezcla de ensayo, para un total de 5 mezclas.

Luego de definidas las concentraciones a utilizar, se procedió a determinar el material que se agregaría al agua de mezclado para que actuara como sólidos suspendidos sin influir significativamente en las reacciones de la mezcla de mortero. En este sentido se optó por usar caolín, el cual es una arcilla inerte ante agentes químicos, por lo cual no reacciona con muchos medios en los que está presente ya que está formado principalmente por silicatos y alúmina [1].

El diseño de mezcla se elaboró tomando como guía el Manual del Concreto Estructural [2], se estableció una relación agua/cemento de 0,50 con la cual se obtuvo una resistencia teórica a los 28 días de 250 kgf/cm². Seguidamente se obtuvo la cantidad de cemento, agua y arena a utilizar para la elaboración de la mezcla de mortero.

Para asegurar que en el agua de mezclado (agua potable) no existieran otros parámetros que pudieran afectar las propiedades de las probetas, se realizaron ensayos de: Sólidos Totales, pH, Sodio, Potasio, Cloruros, Sulfatos, Turbiedad, Conductividad, así como Sólidos Suspendidos, todo ello siguiendo con lo establecido en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” 19nd Edition.

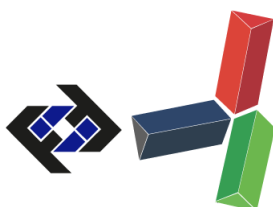
Asimismo, se hizo la caracterización de la arena, siguiendo lo estipulado en las normas COVENIN: 255:1998, 263:1978, 268:1998, 1375:1980.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>



Se determinaron las propiedades del concreto: tiempo de fraguado, según lo establecido en la norma COVENIN 352:1979 “Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración” (ASTM C403). El ensayo se realizó con un penetrómetro, marca Humbolt, modelo M-4133. Las penetraciones de las muestras se realizaron cada media hora con el fin de obtener la mayor cantidad de datos posibles para la determinación de los tiempos iniciales y finales de fraguado; por su parte la consistencia de la mezcla del mortero se determinó a través de la mesa de caídas, con el fin de evaluar el efecto que causan los sólidos en la fluidez y la trabajabilidad de la mezcla. El ensayo se realizó según lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana 2502:2009 (ASTM C1437). Los ensayos se efectuaron con una mesa de caídas manual marca Humbolt. Finalmente, y siendo esta la propiedad más importante del concreto, se procedió a realizar los ensayos de resistencia a compresión según lo establecido en la norma COVENIN 338: 2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto” (ASTM C31, C39 y C192), con la ayuda de una máquina de ensayo a compresión, marca ELE. Estos ensayos fueron realizados a 270 probetas, 9 por las 6 mezclas y por edad a los 3, 7, 14, 28 y 90 días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Caracterización de las aguas de mezclado.

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados para caracterizar las aguas de mezclado usadas en la elaboración de las mezclas de mortero.

Tabla 1. Caracterización de las aguas de mezclado.

Parámetro	Agua Potable	SS1 ₃₀	SS2 ₃₀₀	SS3 ₃₀₀₀	SS4 ₁₀₀₀₀	SS5 ₁₅₀₀₀₀	Norma*
Turbiedad (UNT)	2,6	27	320	4100	17000	214000	-
Sólidos totales (mg/l)	243	317	578	3030	10380	150326	50000 ^{1,2}
Sólidos suspendidos (mg/l)	2	33	290	2733	10120	149900	-
Densidad (g/ml) (25°C)	0,997	0,995	0,993	0,994	0,999	1,079	
pH	7,0	7,2	7,0	7,0	6,9	6,9	4-7; 5 ¹ ; >4 ³
Cloruros (mg/l)	34	42	44	48	56	98	500 ^{1,2,3}
Sulfatos (mg/l)	33	39	40	50	50	83	3000 ^{1,2} ; 2000 ³
Álcalis (mg Na ₂ O/l) (Σ(Na+K))	30	32	31	34	34	120	1500 ^{1,3} ; 600 ²

*1-COVENIN 2385:2000 2-ASTM C 1602-12 3-BS EN 1008:2002

Según lo presentado en la tabla 1, se puede notar que la mayoría de los valores obtenidos cumplen con lo establecido en las normas, exceptuando los sólidos totales del agua SS5 (150000 mg/l), los cuales según la FONDONORMA 2385 “Concreto y Mortero. Agua de mezclado. Requisitos” y la ASTM C 1602 deben estar en el agua de mezclado en una concentración máxima de 50000 mg/l. La diferencia de SS5 en los valores de sulfatos, sodio, cloruros y potasio, posiblemente sea porque la fuente del agua fue distinta a las utilizadas en las otras muestras. También se observa, que a medida que aumenta el contenido de sólidos suspendidos también

aumenta la turbiedad, lo cual permite corroborar que las partículas de caolín permanecen en suspensión en el agua.

Las densidades de las aguas de mezclado con concentraciones de sólidos suspendidos inferior a 10000 mg/l fueron menores a 1,01 g/ml, por lo cual, según la BS EN 1008, se puede suponer que contienen cantidades insignificantes de material sólido. Por su parte, el agua de mezclado SS5 que contiene 150000 mg/l de sólidos suspendidos, obtuvo una densidad de 1,079 g/ml, lo cual coincide con lo presentado en la tabla A-1 (Solid material in water) de la Norma BS EN 1008: 2002, donde se presenta que un agua con densidad de 1,08 g/ml contiene aproximadamente 153000 mg/l de sólidos totales, lo cual representa una cantidad importante de material sólido. En estos casos la normativa europea establece que los sólidos presentes en el agua, ocupan gran parte del volumen del agua de mezclado medido, con lo cual la cantidad de agua añadida a la mezcla es menor a la requerida según su diseño, por lo que la reacción es más lenta debido a que los silicatos no cuentan con el agua necesaria para llevar a cabo el proceso de fraguado y endurecimiento del mortero, lo que ocasionaría una alteración en la resistencia esperada.

2. Caracterización del cemento.

El cemento utilizado en la investigación fue Portland tipo I, proporcionado por la Industria Venezolana de Cemento (INVECEM) ubicada en Guatire, Estado Miranda. El Cemento proviene de la Planta San Sebastián ubicada en San Sebastián de los Reyes, Estado Aragua y fue suministrado a granel.

3. Caracterización de la arena.

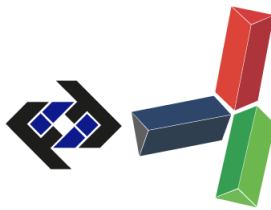
De acuerdo a los ensayos de granulometría realizados, se puede notar que la arena se encuentra entre los límites establecidos por la norma COVENIN 277:2000 “*Concreto. Agregados. Requisitos*” (ASTM C33). En dicho ensayo se observa que la arena cumple con lo establecido en las normas, ya que posee una granulometría continua, debido a que todos los cedazos tienen fracciones retenidas con más de 1% del peso del material, lo cual permite obtener mezclas más trabajables y con buenas resistencias mecánicas.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados para la determinación del peso unitario, densidad y absorción de la arena.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de Peso Unitario, Densidad y Absorción realizados a la arena.

Parámetro	Resultado
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1530
Peso Unitario Compacto (kg/m ³)	1694
Densidad aparente (mg/l)	2,615
Densidad aparente SSS* (mg/l)	2,702
Densidad nominal (mg/l)	2,865
% de absorción	3,33

* SSS: Condición saturado con superficie seca.



Los valores de peso unitario y densidad permitieron tener una relación de peso/volumen de la arena utilizada, posibilitando la conversión de pesos en volúmenes en los casos necesarios; según Polanco [3], el peso volumétrico o peso unitario aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1200 kg/m³ a 1760 kg/m³ para controlar el contenido de vacíos entre las partículas con el fin de no afectar demanda de mortero en el diseño de la mezcla, tal como se observa en la tabla los pesos unitarios obtenidos en la arena utilizada se encuentra en dicho rango. Por otro lado, el valor de la absorción permitió hacer los ajustes necesarios al diseño de mezcla de acuerdo a la humedad que presentara la muestra al momento de realizar las mezclas.

4. Resultados de los ensayos realizados al mortero en estado fresco.

4.1 Consistencia.

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de consistencia realizados a cada una de las muestras.

Tabla 3 Consistencia y porcentaje de fluidez de las muestras de mortero elaboradas.

Muestra	Sólidos suspendidos (mg/l)	Consistencia (mm)	% de fluidez	Diferencia en % respecto a Agua Potable
Agua Potable	2	209,75	110	-
SS1 ₃₀	33	208,50	109	-1
SS2 ₃₀₀	290	203,00	103	-7
SS3 ₃₀₀₀	2733	200,75	101	-9
SS4 ₁₀₀₀₀	10120	196,25	96	-14
SS5 ₁₅₀₀₀₀	149900	171,50	72	-38

Se observa que a medida que aumenta la concentración de sólidos suspendidos en el agua, disminuye la trabajabilidad de la mezcla; lo cual según Chatveera y Lertwattanaruk, se debe a que los sólidos contienen poros absorbentes que reducen la cantidad de agua en la mezcla provocando menos fluidez en la misma [4].

Esta reducción de fluidez puede afectar la resistencia de la mezcla en estado endurecido, ya que al requerir determinada consistencia, se hace necesario el aumento en la dosificación de agua con lo cual se modifica la relación agua/ cemento del mortero o concreto. Sin embargo, tal como se conoce, para evitar este inconveniente se puede hacer uso de los aditivos; razón por la cual este cambio en la fluidez de la mezcla no es un inconveniente, sobre todo cuando el agua de mezclado contiene valores de sólidos suspendidos entre 30 y 150000 mg/l, ya que no varía de manera importante la fluidez. Solo en el caso del agua con este valor superior de sólidos suspendidos (150000 mg/l) la fluidez baja en un 30% y probablemente sea necesario el uso de aditivos, aunque de acuerdo a las normativas presentadas esta agua no podría ser utilizada para concreto.

4.2 Tiempo de fraguado

En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos para los tiempos iniciales y finales de fraguado de cada muestra, así como también la comparación con las normas COVENIN 2385, ASTM C 1602 y BS EN 1008.

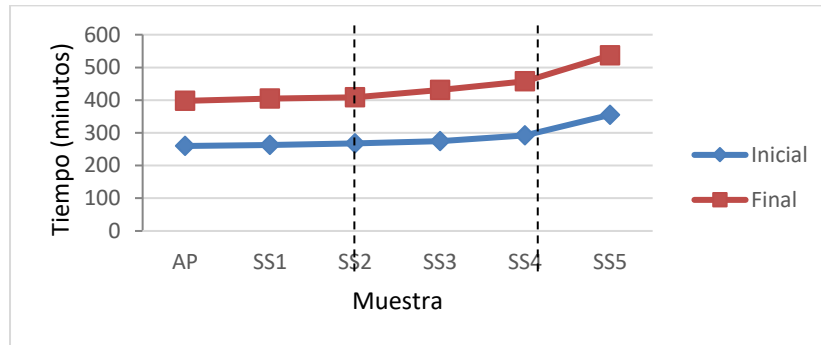


Figura 1. Tiempos de fraguado de las mezclas de mortero elaboradas

De acuerdo a la figura se puede observar que las mezclas de mortero elaboradas presentaron un retardo tanto en el tiempo de fraguado inicial como en el final, a medida que aumentaba la concentración de sólidos suspendidos. El concreto elaborado con el agua SS1, SS2, y SS3 cumplieron con lo establecido en la norma COVENIN 2385, ya que los tiempos iniciales y finales de fraguado no exceden de 15 y 45 minutos respectivamente, en comparación con la muestra patrón; sin embargo, el elaborado con el agua SS4 y SS5 sobrepasaron los límites expuestos en esta norma venezolana. Con respecto a la ASTM C1602, FONDONORMA 2385 y la EN 1008, la única muestra que no cumple con los requisitos establecidos, es el concreto de la mezcla SS5, ya que tanto el tiempo inicial y final de fraguado presenta una diferencia mayor a 1 hora y media respecto a los tiempos de la mezcla patrón.

Chatveera y Lertwattanakul, aseguran que las partículas en suspensión existentes en el agua de mezclado presentan una alta porosidad, por lo cual requieren una mayor cantidad de agua para su hidratación lo que retarda el tiempo de fraguado [4]. Sin embargo, en este estudio el caolín fue añadido al agua de mezclado y forma parte de ella, por lo cual la arcilla ya estaba hidratada al momento de unir todos los componentes de la mezcla. Esto permite establecer que este retardo se puede deber a que los sólidos actúan como una especie de película que impide la adecuada adherencia entre las partículas de cemento y la arena [5].

También es importante destacar, que en los casos donde hay una alta concentración de sólidos suspendidos, estos ocupan parte del volumen del agua de mezclado, con lo cual la cantidad de agua añadida a la mezcla es menor a la requerida según su diseño, por lo cual la reacción es más lenta debido a que los silicatos no cuentan con el agua necesaria para llevar a cabo el proceso de fraguado y endurecimiento del mortero; este aspecto fue mucho más notorio en el agua de mezclado SS5 (149900 mg/l), en la cual los sólidos suspendidos ocupaban alrededor del 6 a 7% del volumen medido de agua. Este hecho se evidencia en lo establecido en la tabla A-1 (Solid material in water) de la Norma BS EN 1008: 2002, en cuya última columna se presenta el volumen real de agua dependiendo de la densidad medida en el agua de mezclado.

5. Ensayos realizados al mortero en estado endurecido

En la figura 2 se presentan los resultados de la resistencia a compresión. Los valores corresponden a los promedios de 3 probetas de 3 mezclas distintas (para un total de 9 probetas por agua en estudio) y no sobrepasan el 7% de diferencia entre cada una de ellas, tal como lo contempla la norma COVENIN 2385:2000. De acuerdo a la figura 3 se puede inferir que el concreto con bajas cantidades de sólidos presentes en el agua de mezclado (SS1 y SS2), no se ve afectado, ni su resistencia a compresión, así como tampoco su desarrollo en el tiempo.

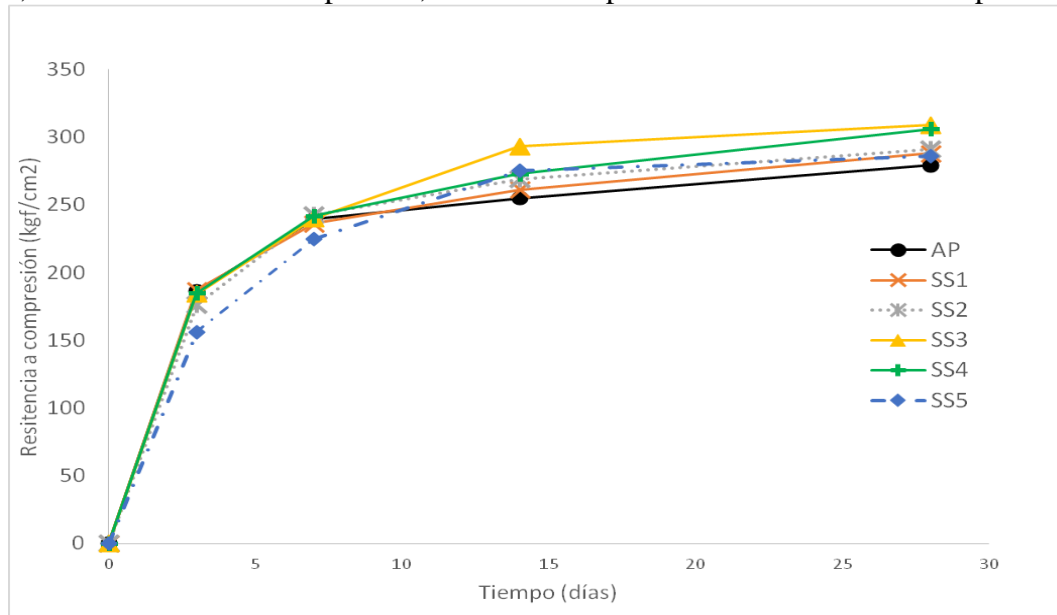


Figura 2. Resistencias a compresión de las mezclas de mortero elaboradas.

Por otro lado, se observa que para agua de mezcla con concentraciones en el orden de los 3000 y 10000 mg/l (SS3 y SS4) se alcanzan las mayores resistencias a compresión a los 28 días en el concreto; tal como lo obtuvieron Low et al (2007), Sandrolini y Franzoni (2001) y Zervaki et al (2013), algunos de los cuales lo atribuyen a que la presencia de partículas actúan como agentes de relleno en el concreto endurecido. Inclusive Sandrolini y Franzoni, quienes realizaron ensayos de absorción, encontraron que las muestras con mayor resistencia a compresión coincidieron con la menor absorción. Este comportamiento resulta interesante ya que pudiera significar que el tratamiento en las aguas residuales que se pretendan utilizar como agua de mezclado, no requeriría una alta eficiencia en la cantidad de sólidos suspendidos que se necesitan remover, porque se favorece ligeramente la resistencia a compresión, comparada con la que se consigue con el agua potable [6].

CONCLUSIONES

Todas las aguas de mezclado cumplieron con los requisitos químicos establecidos por las normas COVENIN 2385:2000, FONDONORMA 2385, ASTM C1602 y BS-EN 1008, excepto el contenido de sólidos totales de la muestra de agua SS5, cuya concentración de sólidos suspendidos fue de 150000 mg/l aproximadamente.

La consistencia de los morteros disminuye a medida que aumenta el contenido de sólidos

suspendidos, manteniendo una fluidez entre 110% en el agua potable hasta 72% para el agua de mezclado con 150000 mg/l, con un cambio importante a partir del mortero con el agua de mezclado con concentración de sólidos suspendidos en el orden de 10000 mg/l.

El tiempo de fraguado inicial del mortero se retardó con respecto al del agua potable a medida que aumentó el contenido de partículas en suspensión, llegando a un máximo de 26,8% en el mortero donde el agua de mezclado tenía 150000 mg/l de sólidos suspendidos aproximadamente.

El tiempo de fraguado final del mortero también se retardó con respecto al del agua potable a medida que aumentó el contenido de partículas en suspensión, llegando a un máximo de 25,9% en el mismo mortero donde el agua de mezclado tenía 150000 mg/l de sólidos suspendidos.

La resistencia mecánica a compresión de los morteros elaborados con agua de mezclado con concentraciones de sólidos suspendidos entre 30 mg/l y 150000 mg/l cumplieron con lo establecido en las normativas COVENIN 2385:2000, FONDONORMA 2385, ASTM C1602 y BS-EN 1008 del agua de mezclado para concreto y mortero.

La resistencia a compresión a los 28 días del mortero elaborado con agua de mezclado cuya concentración de sólidos suspendidos fue del orden de 3000 mg/l y 10000 mg/l, fue superior al elaborado con agua potable.

En definitiva, se concluye que la presencia de sólidos suspendidos en el agua de mezclado aumenta la resistencia a compresión del mortero, llegando a un máximo de 10 % aproximadamente respecto a la resistencia de la mezcla control elaborada con agua potable, para f'c, con concentraciones de sólidos suspendidos en el orden de los 3000 y 10000 mg/l.

REFERENCIAS

- [1] Bartolomé, J. (1997) El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Volumen 36 Número 1. Madrid.
- [2] Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J. y Velazco, G. (2012) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR.
- [3] Polanco, A. (2014). Manual de prácticas de laboratorio de Concreto. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- [4] Chatveera, B. y Lertwattanakul, P. (2009) Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture. Journal of Environmental, pp 1901-1908.
- [5] Blanco, F. (2014) Tecnología del cemento. Lección 7: hidratación del cemento. Universidad de Oviedo: Oviedo.
- [6] Zervaki, M., Leptokaridis, C. y Tsimas, S. (2013). Reuse of By-Products from Ready-Mixed Concrete Plants for the Production of Cement Mortars. Journal of sustainable development of energy, water and environment system.