

AGUA RESIDUAL TRATADA EN MEZCLAS DE CONCRETO
Variabilidad de la calidad del efluente de una planta en la resistencia a compresión.

Ing. Hector Rodrigues¹, Ing. Henry Blanco², Ing. Cesar Peñuela³.

¹Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central de Venezuela, e-mail: *hector_rdf@hotmail.com*

²Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central de Venezuela, e-mail: *henryalbertob@gmail.com*

³ Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central de Venezuela, e-mail: *cesarpenuela@gmail.com*

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo analizar la resistencia a compresión en mezclas de concreto elaboradas con el efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM). Investigaciones realizadas en varios países han demostrado que al usar agua residual en mezclas de concreto no se alteran sus propiedades básicas. La mayoría de estas investigaciones han tomado una muestra del efluente de una planta de tratamiento en condiciones óptimas de operación. En este trabajo se analizó las variaciones de la calidad del agua efluente de una PTARM, influyen en la resistencia a compresión del concreto cuando se usa como agua de mezclado. Para lograr el objetivo, se prepararon y ensayaron mezclas de concreto utilizando agua potable y distintas calidades de agua residual provenientes del efluente de una PTARM. La calidad del efluente utilizado como agua de mezclado cumplió con los límites establecidos en el Decreto 883 para las descargas a cuerpos de agua. Asimismo, con lo especificado en COVENIN 2385:2000 y FONDONORMA 2385, en términos de los requisitos químicos del agua de mezclado. La resistencia a compresión del concreto elaborado con esta agua residual tratada también cumplió los requisitos establecidos en esta normativa. Se concluye que el efluente de una PTARM puede ser utilizado como agua de mezclado sin alterar la resistencia a compresión del concreto, siempre y cuando el mismo cumpla con los requerimientos de descarga establecidos en el Decreto 883.

Palabras clave: reúso agua residual tratada, agua de mezclado, concreto, resistencia a compresión.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, el ser humano ha buscado satisfacer sus necesidades de la construcción apoyándose en el uso de materiales provenientes de la naturaleza; construyó cuevas, chozas y palafitos con distintos materiales a lo largo de su evolución, pero es el concreto el elemento predominante en la construcción moderna.

Al referirse al concreto, debe mencionarse el agua como material imprescindible en su elaboración, para permitir la hidratación del cemento, lubricación del concreto y proporcionar fluidez; y con ello el uso de agua potable para este propósito.

Ante la problemática del agua a nivel mundial, a través de su escasez generalizada y su creciente contaminación, investigadores e instituciones se han visto en la necesidad de evaluar el uso de agua natural, residual o reciclada, como alternativa al agua potable en la producción del concreto. Las mezclas de concreto elaboradas con agua residual tratada constituyen objeto de estudio de reciente data.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, pueden ser consideradas como una fábrica de producción de agua residual tratada. La calidad (características físicas, químicas y bacteriológicas) del producto o efluente, si bien debe cumplir con los requisitos de calidad según su uso posterior, no necesariamente se mantiene invariable, debido a distintas causas o problemas habituales. Las variaciones en el sistema colector y de funcionamiento en la planta de tratamiento, conllevan a situaciones que pueden afectar el rendimiento del proceso y ocasionan cambios en las características del efluente. Aun cumpliendo con la normativa establecida, se tendrá un efluente de calidad variable. En Venezuela, la norma para la descarga de estas aguas residuales está contemplada en el Decreto 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

En Venezuela, específicamente en la Universidad Central de Venezuela, Héctor Yepes en su trabajo: “*Comportamiento de mezclas de concreto elaboradas con agua residual tratada*” (2013) y Henry Hernández junto a Mónica Quinteros en su trabajo “*Resistencia a compresión del concreto elaborado con agua residual tratada para diferentes relaciones agua/cemento*” (2015), obtuvieron evidencias a favor del uso de agua residual doméstica tratada para la elaboración del concreto sin afectar su resistencia a compresión, cumpliendo con los requisitos físicos y químicos establecidos en la norma COVENIN 2385-2000 “*CONCRETO Y MORTERO. AGUA DE MEZCLADO. REQUISITOS*”.

Ante lo expuesto anteriormente, en este trabajo se decide verificar si se mantiene esa posibilidad de utilizar agua residual tratada para preparar concreto, a pesar de las variaciones de la calidad del agua efluente que podrían ocurrir en una PTARM, manteniéndose ese cumplimiento con la normativa nacional e internacional, en términos de una de las propiedades más relevantes como lo es la resistencia a compresión.

1. BASES TEÓRICAS

1.1 Reúso del agua residual

La reutilización del agua a través del ciclo hidrológico es un fenómeno que se produce en el planeta desde que los seres vivos existen sobre él. Junto a esta forma de reutilización del agua, denominada incidental o fortuita, ha surgido durante las últimas décadas un enorme interés por la reutilización planificada del agua; entendida como la utilización para un nuevo empleo de las aguas procedentes de un uso previo, sin mediar para ello el vertido en

un cauce natural. De este modo, un agua empleada es sometida a un tratamiento que le permita alcanzar cierta calidad antes de ser enviada a otra zona para ser aprovechada de nuevo en un uso adicional. (Kestler, 2004)

La United States Environmental Protection Agency (EPA) “*Guidelines for Water Reuse*” (2012) señala en su categoría de usos urbanos que se puede utilizar el agua reciclada (reclaimed water) para la industria de la construcción en actividades como la compactación de suelos, control de polvo y fabricación de hormigón o concreto.

En la industria de la construcción, el agua se utiliza fundamentalmente para la mezcla de concreto, lavado de agregado, curado del concreto y para el lavado de maquinarias, equipos y camiones. Tradicionalmente se usa agua del abastecimiento público en estas actividades, con una calidad potable, que no necesariamente es la que se requiere para estos usos.

Según la disposición de IS10262-2009 (Guidelines for concrete mix design proportioning) se requiere 186 litros de agua para 1m³ de concreto. La construcción de 100000 ft² (9291 m²) de una estructura de varios pisos puede requerir cerca de 10 millones de litros de agua para la producción, curado y actividades realizadas en el sitio.

Es por ello que, sin duda alguna, en los próximos años, la supervivencia de la especie humana en la tierra se verá muy influenciada por el uso racional de los recursos naturales, lo que demandará en la industria de la construcción un cambio de mentalidad y estrategias, especialmente en el uso del agua. (Vidaud, Castaño, & Vidaud, 2013)

No solo estudios han demostrado la factibilidad del uso de agua residual tratada para la elaboración de concreto, sino además en normas de vertidos y reúsos de agua también se considera.

1.2 Planta de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se realiza a través de procesos físicos, químicos y biológicos con la finalidad de eliminar contaminantes inorgánicos, orgánicos y biológicos procedentes de diferentes procesos industriales o de comunidades. El agua tratada debe cumplir con una calidad, establecida en Leyes y Decretos, para poder ser descargada a cuerpos de aguas, o ser reutilizada para diferentes labores. (Caspian Ingeniería, 2014)

Las aguas residuales contienen sólidos disueltos y suspendidos, y aunque es relativamente baja su concentración en las aguas residuales domésticas, es la causante de una diversidad de problemas en los sitios de descarga y por ello deben ser removidos con tratamiento y disposición adecuada. (Ocampo & Pérez, 2013)

En el tratamiento del agua residual se presentan distintas etapas que cumplen diversos objetivos. Se encuentra el tratamiento preliminar que tiene como finalidad la remoción de materiales sólidos de tamaño apreciable y arenas. El tratamiento primario que busca la remoción de material suspendido, particularmente el sedimentable, y el secundario para

remover materia orgánica biodegradable. Se puede tener o no un tratamiento terciario para mejorar el efluente del tratamiento secundario. Adicionalmente se encuentra la desinfección para la eliminación de microorganismos patógenos y el tratamiento de lodos para producir un material apto para su disposición final. (Ramalho, 1996). La intensidad que condiciona las unidades de tratamiento no solo está asociada a la calidad del agua cruda, sino también al uso final que se destine al agua tratada, incluyendo su descarga al ambiente.

1.3 Normativas internacionales para uso del agua residual tratada en la elaboración del concreto

En distintos países del mundo el reuso del agua residual tratada está estipulada en normativas. Muchos países han desarrollado estas normas estudiando la posibilidad de usar este tipo de efluente en la industria del concreto, buscando su factibilidad al cumplir una serie de parámetros establecidos dentro de estas normas.

La mayoría de las normas consultadas en esta investigación toman como referencia la “Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete” (ASTM-1602-12) y la Norma Europea “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” (EN 1008:2002).

En cuanto a la clasificación del tipo de agua que se puede utilizar en las mezclas de concreto, cada país tiene su forma de particularizar cada efluente y permitir su uso o descartarlo. Muchos países definen en forma muy general el tipo de agua de mezclado y no particularizan el caso de las aguas residuales tratadas. En Venezuela, sin embargo, su FONDONORMA 2385 “*Concreto y mortero. Agua de mezcla*”, establece el Agua de Reciclaje como agua de mezcla permitida para ser utilizada en mezclas de concreto, siempre y cuando cumpla con los parámetros establecidos dentro de la norma. La define como “agua que ha sido recuperada en cualquier punto del proceso de producción, e incluye el agua proveniente de la escorrentía de lluvia”. Es importante destacar que se decide tomar en cuenta lo estipulado en la norma FONDONORMA 2385, en conjunto con la COVENIN 2385:2000, ya que, si bien es cierto que la COVENIN es la norma vigente, el Comité C27 ya aprobó la FONDONORMA 2385, siendo esta una actualización que considera la ASTM-1602-12 y EN 1008:2002.

Sin embargo, países como España, que utilizan la norma de la Comunidad Europea, señalan que el agua residual “no es apta para utilizarla en hormigón”, lo que hace suponer que se refieren al agua residual cruda. En Brasil, a pesar de tener una norma muy parecida a la Comunidad Europea, se indica que al momento de su publicación (2009), no se tuvo suficiente información para asegurar la viabilidad de uso del agua residual, y establecen que este tipo de agua está sujeto a aplicaciones específicas por acuerdo entre el proveedor de agua y el responsable de la preparación de hormigón, sin dejar de lado el cumplimiento de todos los requisitos de la norma.

En cuanto a los requerimientos y componentes del agua de mezclado presentados por cada país, no existe igualdad de criterios en lo referente al máximo permitido en sus constituyentes; pero si existe paridad en algunos países con parámetros tales como cloruros (1000 ppm), sólidos totales (50000 ppm) y sólidos en suspensión (2000 ppm). Es importante destacar que la norma europea EN:1008:2002, junto con la norma brasilera, son las que exige mayor cantidad de requisitos de calidad que debe cumplir el agua de mezclado, tomando en cuenta constituyentes como zinc, plomo, nitratos, fosfatos y azúcares.

2. MÉTODO

El método de esta investigación se dividió en tres (3) etapas, iniciando por la selección de la planta de tratamiento para su posterior análisis del efluente, y finalizando con la elaboración de mezclas de concreto para analizar algunas de sus propiedades físicas, específicamente la resistencia compresión, y lograr obtener el resultado final de la investigación.

Se trabajó con la planta de tratamiento de aguas residuales “El Chorrillo” en la modalidad de Lodos Activados. Esta planta está ubicada en el margen derecho del río San Pedro, en los Altos Mirandinos y tiene como finalidad tratar parte de las aguas residuales provenientes de Los Teques, Estado Miranda. El efluente proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Chorrillo” fue caracterizado y utilizado en la elaboración de las mezclas de concreto para luego ser comparadas con las mezclas convencionales elaboradas con agua potable. Es importante destacar que se buscó tener la variabilidad en la operación de la planta, para detectar y captar las muestras de agua, en condiciones diferentes de calidad. Al momento de iniciar la investigación uno de los reactores se encontraba en mantenimiento, lo que permitió comparar y caracterizar el efluente en dos (2) condiciones de operación: cuando los dos (2) reactores están en funcionamiento y cuando uno de ellos está en mantenimiento. Adicionalmente se logró analizar el efluente de la PTARM “El Chorrillo” justo cuando inicia el funcionamiento de uno de los reactores luego de su mantenimiento. Con ello se exploraron las condiciones diferentes en la operación de este sistema.

Como consecuencia del análisis en la variación de operación de esta planta de tratamiento, se utilizaron tres (3) tipos de agua de mezclado durante la investigación. La primera fue un efluente donde los resultados de la calidad del agua estaban en los valores reportados en la data histórica y cuando la PTARM “El Chorrillo” funcionaba con un solo reactor. La segunda agua de mezclado representó la condición cuando uno de los dos (2) reactores que se encontraban en mantenimiento empezó su funcionamiento, ya que se consideró que era una condición de operación particular de la planta. Se esperaba que los valores de la calidad de agua obtenidos para este efluente fueran mayores por la alteración del sistema al iniciar el funcionamiento del segundo reactor.

Sin embargo, los resultados obtenidos fueron muy similares con respecto a la primera agua de mezclado, tal como se presentará en los resultados; razón por la cual, pararepresentar los

valores máximos que ha registrado la planta en sus parámetros de calidad de agua efluente, específicamente en términos de DQO (otra condición distinta de calidad del efluente), se utilizó una tercera agua de mezclado que se acercara a los valores máximos registrados, pero que siguiera cumpliendo con el Decreto 883. Por ello se simuló esa condición del efluente, mezclando agua de la entrada con la salida de la PTARM “El Chorrito”.

Adicionalmente se utilizó agua potable como agua de mezclado patrón para poder comparar los resultados y cumplir con los requisitos establecidos en la norma COVENIN 2385:2000.

Las mezclas de concreto, tanto de agua potable como de agua residual, fueron diseñadas con una relación agua/cemento de 0,42 y una resistencia esperada a los 28 días de 269 kgf/cm². Con el objetivo de comparar y explicar el comportamiento temporal de las mezclas de concreto elaboradas con agua residual tratada, en sustitución del agua potable, se tomó como punto de comparación la resistencia a compresión de cada una de las mezclas en las distintas edades: 3, 7, 28 y 90 días.

En todos los casos, y para concretar sobre la factibilidad del reúso de este efluente de la PTARM “El Chorrito” para la elaboración de concreto, la resistencia a compresión obtenida con el agua residual tratada utilizada como agua de mezcla se comparó con la obtenida con el agua potable, tal como aparece en la norma COVENIN 2385-2000 y FONDONORMA 2385, donde se establece que las resistencias a compresión entre el concreto con agua potable y del agua en estudio, en este caso el agua residual municipal tratada (considerada en FONDONORMA 2385 como agua reciclada), no debe diferir en 10%, o lo que es lo mismo un 90% de resistencia a compresión como valor mínimo de la mezcla control a los 7 días.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales.

En las Tabla 1 se puede observar un resumen del registro histórico de los parámetros que se analizan en el laboratorio de la PTAR “El Chorrito” (2011-2015), correspondientes a la salida de la planta y separados según la condición de operación, es decir, cuando los dos (2) reactores están en funcionamiento y cuando uno de ellos está en mantenimiento.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de los parámetros medidos en sitio y en los laboratorios de la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas de la Universidad Central de Venezuela-PETA-UCV, durante la semana del 04/03/2015 al 10/03/2015, donde solo operaba uno de los reactores.

Estos resultados sobre la caracterización del agua a la salida de la PTARM “El Chorrito”, permiten afirmar que las variaciones en la calidad del efluente de la planta en términos del contenido orgánico, ocurren cuando se opera con dos (2) reactores. La diferencia en la DQO probablemente sea debida a la ligera disminución en los tiempos de retención.

Debido a estos resultados y a la situación particular presentada al momento de ejecutar el trabajo, se decide realizar una nueva caracterización justo en la puesta en marcha del reactor que se encontraba en mantenimiento; esto bajo la suposición que podría ser un momento de desestabilización del sistema. Se tomaron muestras del 15/04/2015 al 17/04/2015 en horas de la mañana y la tarde. Esta situación permitió determinar la calidad del efluente en otras de las condiciones de operación de la planta, con la incorporación del segundo reactor en el tratamiento.

Tabla 1: Análisis de los parámetros a la salida de la PTARM "El Chorrito" según la condición de operación de uno o los dos reactores biológicos del sistema de lodos activados.

		Parámetros analizados a la salida.							
		Caudal (l/s)	T (°C)	OD (mg/l)	pH	DBO (mg/l O₂)	DQO (mg/l O₂)	Fósforo (mg/l P)	
Art. 10 Decreto 883 (Límites Máximos)		-	-	-	6 a 9	60	350	10	
Condición de Operación	Durante mantenimiento de algún reactor	Promedio	230	22,6	4,1	7,4	14	31	4
		Máximo	385	24,3	7,3	8,9	30	45	4
		Mínimo	156	21,0	1,0	6,6	5	4	3
	Durante el funcionamiento de los dos reactores	Promedio	380	23,5	3,8	7,2	15	81	4
		Máximo	573	26,0	9,4	8,4	53	188	8
		Mínimo	133	21,0	1,0	3,3	3	15	0

Tabla 2: Evaluación de los parámetros en la salida de la PTARM "El Chorrito del 04 al 10-03-15" (operando un reactor)

Parámetro Evaluado	Fecha - Salida de la PTAR "El Chorrito"						Art. 10 Decreto 883 (Límites Máximos)
	Miércoles 04/03/2015	Jueves 05/03/2015	Viernes 06/03/2015	Lunes 09/03/2015	Martes 10/03/2015	Promedio	
Caudal (l/s)	266	163	163	244	202	208	-
pH	7,4	7,2	7,9	7,3	6,9	7,3	6 a 9
Oxígeno Disuelto (mg/l)	5,5	-	-	5,5	-	5,5	-
Conductividad (µS/cm)	859	815	751	738	781	789	-
Temperatura (°C)	22,7	-	-	22,4	-	22,6	-
Turbiedad (UNT)	9,0	9,3	8,1	6,6	16	9,7	-
NO ₃ (mg/l)	15,8	13,4	12,6	35,2	16,4	18,7	-
NO ₃ -N (mg/l N)	3,6	3,0	2,8	7,9	3,7	4,2	10*
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	188	200	180	156	184	182	-

Parámetro Evaluado	Fecha - Salida de la PTAR "El Chorrito"						Art. 10 Decreto 883 (Límites Máximos)
	Miércoles 04/03/2015	Jueves 05/03/2015	Viernes 06/03/2015	Lunes 09/03/2015	Martes 10/03/2015	Promedio	
DQO (mg/l O ₂)	28	28	29	26	27	28	350

*Nitritos más nitratos (mg/l – N)

Con base en el análisis de los datos históricos del efluente de la PTARM, así como los realizados en las semanas de caracterización, se pudo concluir que no hay variaciones importantes en la calidad del efluente en términos del contenido orgánico para las diversas condiciones de operación, así como tampoco en función del día de la semana. Esta situación sugiere un comportamiento bastante estable del sistema, aún bajo la condición de cambios en los tiempos de retención, probablemente porque la planta está operando con los valores en el límite inferior de los considerados en el diseño.

3.2 Definición, selección y caracterización de las aguas de mezcla.

Con base en los resultados obtenidos en la etapa anterior, el agua utilizada para la elaboración del concreto correspondió a las condiciones más desfavorables en las que opera la PTARM “El Chorrito”; es decir, cuando está en mantenimiento uno de los reactores y justo en el período de transición: cuando se incorpora el reactor fuera de servicio y la planta comienza a operar con los dos (2) reactores.

Debido a que la calidad del efluente en la planta, en términos de su contenido orgánico, no varió de manera importante para esas dos (2) condiciones seleccionadas, se decidió simular una tercera agua de mezclado que representó la condición más desfavorable en términos de contenido orgánico, DQO y DBO, atendiendo al histórico revisado de los datos de la PTARM y sin sobrepasar los límites establecidos en el Decreto 883. Todas las aguas del efluente de la PTARM “El Chorrito”, inclusive la simulada, cumplen con los requisitos físicos-químicos mínimos necesarios para la descarga a cuerpos de agua establecidos en el Decreto 883 y es representativa de su efluente.

En la Tabla 3 se presenta la calidad físico-química del agua potable y de las aguas residuales (AR1, AR2 y AR3) que fueron utilizadas como agua de mezclado para la elaboración del concreto. Esta calidad del agua se compara con lo establecido en la norma COVENIN 2385:2000 y FONDONORMA 2385, donde están los requisitos químicos (impurezas tolerables en el agua de mezclado) que, habiendo cumplido también con los requisitos físicos (resistencia y fraguado), pueda ser utilizada como agua de mezclado.

Se puede apreciar que todos los valores de calidad para cada agua de mezclado, aunque distintos, específicamente en su contenido orgánico, cumplen con lo especificado en la COVENIN 2385:2000 “CONCRETO Y MORTERO. AGUA DE MEZCLADO. REQUISITOS”, aparte 5.2 de los requisitos químicos, a excepción del valor del pH en AR1 y AR3. Cabe destacar que el valor de pH en la Norma Técnica de FONDONORMA, cambia a un valor mínimo de 5; con lo cual ese parámetro también se considera adecuado.

Tabla 3: Límites permitidos para la utilización de un agua no potable como agua de mezclado.

		Agua de mezclado			Normativa (límites máximos)	
		Agua Residual Tratada (AR1)	Agua Residual Tratada (AR2)	Agua Residual Simulada (AR3)	COVENIN 2385:2000	FONDONORMA 2385
Parámetros Físicos - Químicos	pH	7,8	7,3	7,7	5 - 7,5	mínimo 5
	DQO(mg/l O ₂)	25	35	109	250	-
	Cloruros (mg/l)	66	67	58	500	500 (*) 1000 (**)
	Sulfatos (mg/l)	79	71	67	-	3000
	Alcalis (mg Na ₂ O/l) Σ (Na+K)	139	135	144	-	1500
	Sólidos Totales (mg/l)	486	503	514	-	50000
	Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	454	479	474	5000	-

3.3 Comparación de las resistencias a compresión del concreto elaborado con el agua potable y residual tratada.

Antes de presentar los resultados de la resistencia a compresión de cada una de las mezclas, es importante destacar que cada una de ellas cumplió con los requisitos físicos exigidos en la norma COVENIN 2385:2000 y la FONDONORMA 2385, es decir, las resistencias de cada una de las tres (3) mezclas realizadas no deben diferir de su promedio en más del 7%. El otro requisito físico es el relacionado al valor de resistencia a compresión que debe tener la mezcla elaborada con el agua en estudio con respecto al agua patrón (agua potable), el cual no debe diferir en más del 10%; o lo que es lo mismo, no debe ser menor al 90%.

En la Figura 1 se puede apreciar el desarrollo de la resistencia a compresión de cada una de las mezclas de concreto, tanto las elaboradas con agua potable (AP1) como agua residual tratada (AR1 y AR2). Se puede observar que el desarrollo de la resistencia a compresión del concreto elaborado con el agua residual tratada es igual al del agua potable, con una diferencia máxima a los 28 días de 29 kgf/cm² (a favor del agua residual). Este comportamiento de resistencia en función de la edad, puede estar asociado al retraso en el tiempo del fraguado al utilizar agua residual, ocasionando que el proceso de hidratación se retrase e inicie más aceleradamente que el del agua potable, pero compensándose en el tiempo, donde se obtienen resistencias muy similares (ver resistencias a los 90 días en la figura 1).

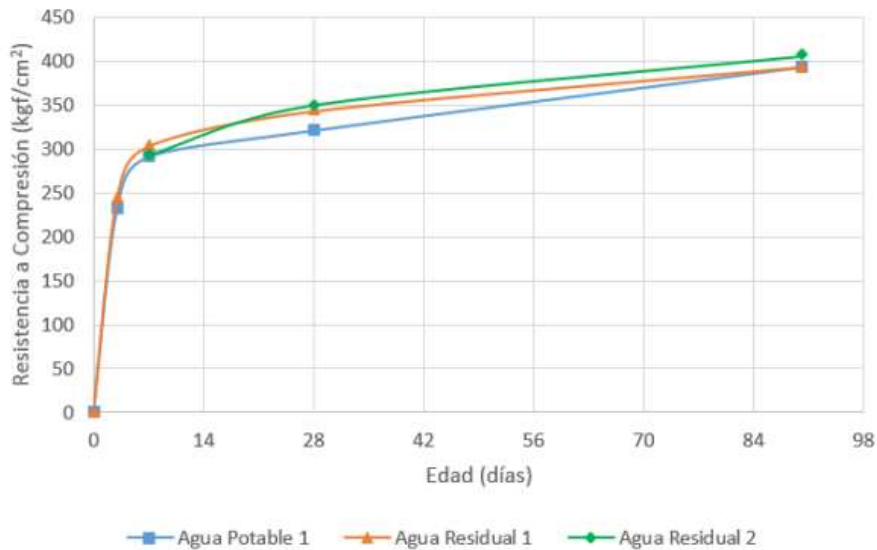


Figura 1. Desarrollo de resistencias a compresión de cilindros de concreto elaborados con agua residual tratada y agua potable.

3.4 Comparación de las resistencias a compresión del concreto elaborado con las aguas residuales efluentes de la PTARM “El Chorrito”.

En las Figuras 2 y 3, se relacionan las resistencias a compresión con los constituyentes del agua residual que presentaron mayores diferencias (sólidos suspendidos, nitratos y fosfatos). Analizando su comportamiento, se puede observar que no hay relación aparente entre los constituyentes seleccionados y la resistencia a compresión de las mezclas de concreto; así como que tampoco ocasionan diferencias importantes en esta propiedad del concreto.

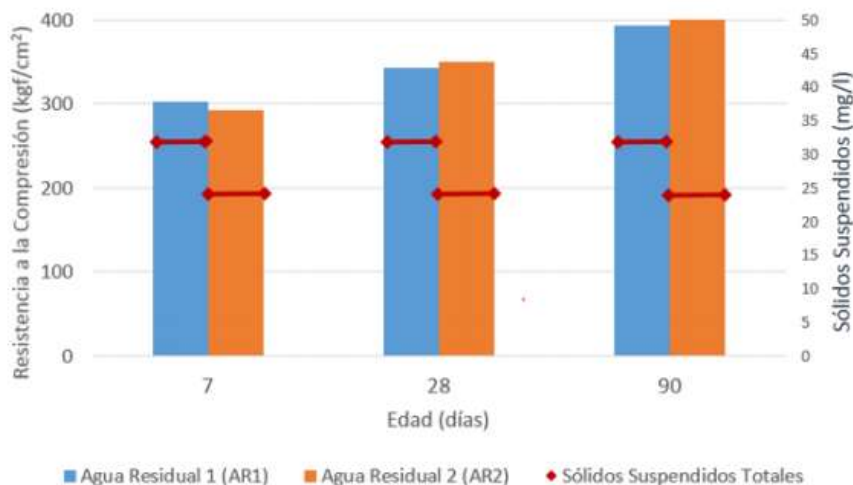


Figura 2. Influencia de los Sólidos Suspendidos Totales en la resistencia a compresión del concreto para las distintas aguas de mezclado (AR1 y AR2).

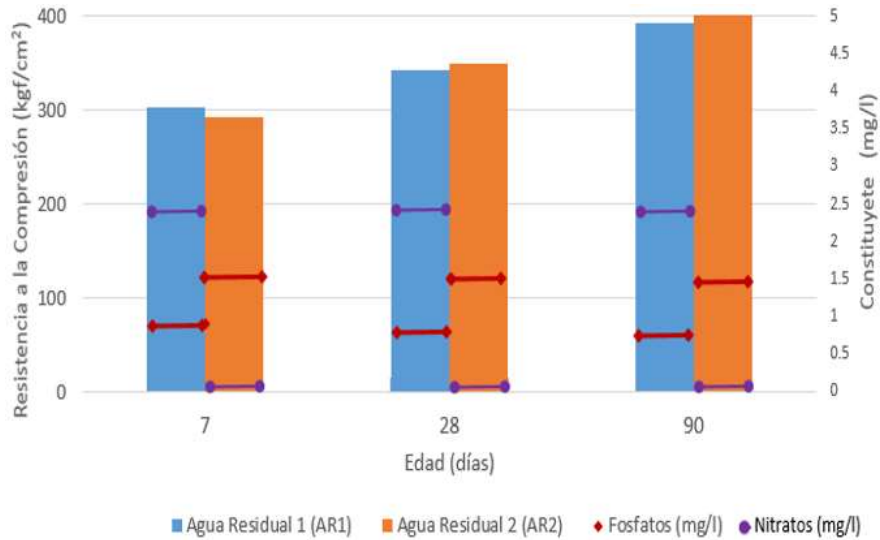


Figura 3. Influencia de los nitratos y fosfatos en la resistencia a compresión del concreto para las distintas aguas de mezclado (AR1 y AR2)

En la figura 4 se presenta la relación porcentual entre las resistencias a compresión de las tres (3) aguas residuales (AR1, AR2 y AR3) respecto al agua potable (AP1 y AP2) y su relación con el contenido orgánico presente en el agua de mezclado, excepto AR3 para 28 días, que no fue posible hacerla. En ella se puede observar que si bien el contenido de materia orgánica fue bastante superior en AR3 (DQO: 109 mg/l y DBO: 60 mg/l), esto no influyó en la resistencia a compresión del concreto, posiblemente porque el contenido orgánico sigue siendo inferior a la cantidad que se requiere para que afecte las propiedades del concreto; tal como lo describe Zongjin Li (2011), quien afirma que excesivas impurezas y materia orgánica son las que pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia a compresión del concreto.

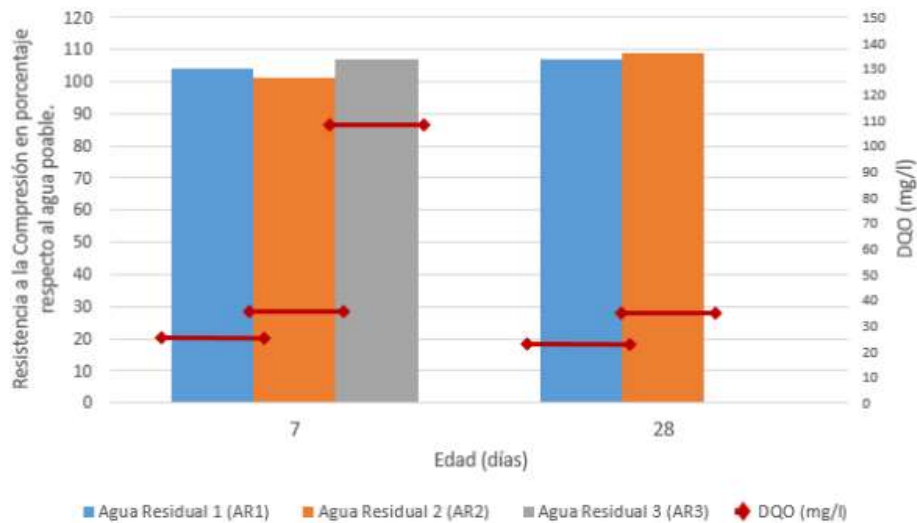


Figura 4. Influencia de la DQO en la resistencia a compresión del concreto para las distintas aguas de mezclado.

Una vez analizados los resultados de resistencia a compresión del concreto elaborado con las distintas aguas de mezclado (potable y residual), se puede observar que el agua residual doméstica tratada, aún con la presencia de materia orgánica, no afecta la resistencia a compresión del concreto; inclusive pareciera favorecerla, arrojando resultados ligeramente mayores que el concreto con agua potable.

Es importante destacar que la variación en la calidad del efluente utilizado como agua de mezclado no influyó negativamente en la resistencia a compresión del concreto al compararla con el agua potable. En ningún momento el concreto elaborado con agua residual presentó valores de resistencia por debajo de los del agua potable. Estos resultados permiten afirmar la posibilidad de que todo efluente de agua residual tratada que cumpla con el Decreto 883, puede ser utilizado como agua de mezclado, sin modificar una de sus principales propiedades básicas como lo es la resistencia a compresión.

4. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo y luego de su posterior análisis se puede concluir lo siguiente:

- El efluente de la PTARM “El Chorrillo” utilizado como agua de mezclado cumple con los requisitos químicos que exige la norma COVENIN 2385:2000 y FONDONORMA 2385 para agua de mezclado.
- El concreto elaborado con agua residual tratada, efluente de la PTARM “El Chorrillo”, cumple con la resistencia a compresión que establece la norma COVENIN 2385:2000 y FONDONORMA 2385.
- El desarrollo de la resistencia a compresión del concreto elaborado con agua residual municipal tratada es muy similar al del agua potable.
- La variación de la calidad del efluente utilizado como agua de mezclado no desfavorece la resistencia a compresión del concreto al compararla con el agua potable; siempre y cuando cumpla con el Decreto de descargas a cuerpos de agua.

En definitiva, se concluye que, en términos de resistencia a compresión, el efluente de la PTARM “El Chorrillo” se puede utilizar como agua de mezclado para preparar concreto, siempre y cuando cumpla con los límites permisibles para descargas a cuerpos de agua establecidos en el Decreto 883. Esta situación podría ser extrapolada a otros sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

5. REFERENCIAS

- Caspian Ingeniería, C. (20 de abril de 2014). Caspian Ingeniería, C.A. Recuperado el 20 de abril de 2014, de Caspian Ingeniería, C.A.: <http://www.caspianing.com/>

- ASTM. C1602/C1602M – 12 (2012). Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete. USA.
- Comisión Venezolana de normas Industriales. COVENIN-2385 (2000) “Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos” Venezuela.
- Decreto 883. (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos de efluentes líquidos.
- Hernández, H; Quintero, M. (2015). Resistencia a compresión del concreto elaborado con agua residual tratada para diferentes relaciones agua/cemento. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Kestler, P. (2004). USO, REUSO Y RECICLAJE DEL AGUA. Guatemala.
- Li, Z. (2011). Advanced concrete technology. Hoboken, New Jersey, EE.UU.: John Wiley & Sons, Inc.
- Norma Brasileira (NBR). (2009). 15900-1 “Mixing water for concrete. Part 1: Requirements.” Brasil.
- Norma Española. (2007). UNE-EN 1008. “Agua para amasado para hormigón.” España.
- Norma Técnica Fondonorma (NTF). (2014). 2385 “Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos.” Venezuela.
- Ocampo, A., & Pérez, M. (2013). Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados. Jalisco: CEA JALISCO.
- Rodrigues, H. (2015). Resistencia a compresión del concreto elaborado con efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Ramalho, R. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. Quebec: REVERTÉ.
- United States Environmental Protections Agency (EPA). Guidelines for water reuse (2012). U.S Agency for International Development. Washigton D.C
- Vidaud, I., Castaño, T., & Vidaud, E. (Julio de 2013). Concreto sustentable ¿Mito o Realidad? Obtenido de IMCYC: <http://www.imcyc.com>
- Yepes, H. (2013). Comportamiento de mezclas de concreto elaboradas con agua residual tratada. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas