

JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DEL AGUA RECICLADA Y COMBINADA COMO AGUA DE MEZCLA EN EL CONCRETO PRODUCIDO EN PLANTA LA BANDERA

Felymar Fuentes^{1*}; Yenifer Malavé¹ y Henry Blanco¹

Félix Rosales²; Aura Navas²; Mario Acosta³ y Ronny Hernandez³

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

*felyf93@hotmail.com

²Venezolana de Cemento. S.A.C.A - Vencemos. Corporación Socialista de Cemento

³Fábrica Nacional de Cemento - FNC. Corporación Socialista de Cemento

RESUMEN

La planta de concreto La Bandera, luego de explorar la reutilización de sus aguas residuales provenientes del lavado de camiones para elaborar concreto, ha decidido verificar su cumplimiento como agua de mezcla para diferentes combinaciones y elaborar un procedimiento que atienda a la normativa COVENIN 2385:2000 y la ya aprobada por el Comité Técnico CT 27, FONDONORMA NTF 2385. Se realizaron los análisis del agua y los ensayos al concreto contemplados en ambas normas, utilizando agua reciclada o combinada, como una forma de garantizar las diversas opciones que tendría la planta para reutilizar esta agua en su proceso de elaboración de concreto. Los resultados obtenidos ratifican que el agua reciclada y combinada en sus diversas proporciones, es adecuada y cumple los requisitos de composición y comportamiento del agua a emplear en mezclas de concreto y mortero con cemento hidráulico, y por tanto el procedimiento elaborado, formará parte del proceso de reutilización a implementar en planta.

Palabras Clave: Planta de concreto, agua de mezcla, reutilización, ensayos al concreto, procedimiento.

ABSTRACT

After exploring the reuse of it recycled water coming from truck washing to elaborate concrete, "La Bandera" Concrete Plant has decided to verify its qualification as mixing water in different combinations and to elaborate a procedure that meets the regulations from COVENIN 2385:2000 and from the already approved FONDONORMA NTF 2385 for the Technical Committee CT 27. The water was analyzed and the concrete's tests contemplated in both norms were conducted, using recycled water or combined water as a way to check the many options the plant has when planning to reuse this water in its process to elaborate concrete. Results confirm that recycled and combined water in various proportions is suitable and fulfills the composition's and behavior's requirements to be used in concrete and mortar mixtures with hydraulic cement. Therefore, the elaborated procedure will be part of the reuse process to be implemented in the plant.

Keywords: Concrete plant, mixing water, reuse, tests to concrete, procedure.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de concreto son grandes consumidoras de agua potable, siendo este recurso necesario para la producción de concreto con calidad y óptimo rendimiento. Sin embargo, desde hace algún tiempo, muchas plantas de concreto premezclado han realizado estudios que demuestran la

factibilidad del uso de agua no potable, entre ellas sus aguas residuales generadas en la producción, sin afectar la calidad del concreto producido.

En este orden de ideas, Venezolana de Cementos, siguiendo el camino hacia una industria más sustentable, y luego de explorar la factibilidad del uso del agua reciclada en el proceso de producción de concreto^[1], ha decidido realizar un programa que le permita reutilizar parte de sus aguas residuales y reducir el consumo de agua potable. En este sentido, fue necesario la elaboración de un procedimiento relativo a la realización de los ensayos del agua reciclada y combinada con agua potable, para así respaldar el programa que se pretende realizar, cumpliendo con los requerimientos de la normativa nacional e incorporando elementos de normas internacionales en esta materia de reutilización del agua reciclada para la producción de concreto. En efecto, el objetivo de este trabajo, producto de la pasantía de Fuentes y Malavé^[2], es presentar el cumplimiento de la normativa nacional con respecto a la reutilización del agua residual generada en la planta por el lavado de los vehículos, a través de la generación de un procedimiento para los ensayos del concreto producido en donde se considere el uso de agua reciclada y combinada. Este procedimiento incluye los requisitos normativos de Venezuela en su norma COVENIN 2385:2000^[3] y la ya aprobada por el Comité Técnico C 27 FONDONORMA, denominada PROYECTO NTF 2385 (R)^[4], así como de consideraciones de otras normas como la ASTM C 1602-12^[5] y C 1603-05a^[6], lo cual permitirá a la empresa seguir transitando hacia el desarrollo sustentable, con el establecimiento del programa de reutilización del agua reciclada.

Es importante destacar que la norma COVENIN 2385:2000 – C 2385, hace el mayor énfasis en los requisitos físicos que debe cumplir el concreto elaborado, incluyendo resistencia a compresión a una edad mayor a 3 días y tiempos de fraguado inicial y final; mientras que el Proyecto FONDONORMA NTF 2385 (R) solo considera la resistencia a compresión a 7 días y el tiempo de fraguado inicial. Vale destacar que esta última norma esta basada fundamentalmente en la ASTM C 1602-12 en donde se presentan mayores detalles y consideraciones en términos de los requisitos químicos que se refieren a la calidad del agua, incluyendo determinaciones de su densidad, luego especificada en la correspondiente ASTM 1603-05a.

Tanto en la norma COVENIN como en el proyecto FONDONORMA aprobado, se establece que la resistencia promedio a compresión del concreto elaborado con agua reciclada o combinada debe tener un valor mínimo del 90% del concreto con agua potable.

Por su parte, en lo que respecta al tiempo de fraguado hay diferencias, ya que la norma COVENIN regula tanto el fraguado inicial como final, estableciendo que no puede haber más de 15 minutos en el tiempo de fraguado inicial entre las probetas elaboradas con el agua reciclada o combinada y las del agua potable ni 45 minutos en el fraguado final. En el NTF 2385 (al igual que en la ASTM 1602-12) se establece que la desviación del tiempo de fraguado inicial del concreto con agua reciclada o combinada debe tener una desviación con respecto al agua potable de 1 h antes a 1 h y 30 minutos después.

METODOLOGÍA

El método desarrollado en este trabajo comprendió tres (3) etapas, las cuales se describen a continuación:

Etapas **1.** Recorrido y reconocimiento del proceso de elaboración de concreto premezclado en planta La Bandera, con énfasis en los ensayos realizados para evaluar la calidad del concreto. Esto con la finalidad de poder realizar el procedimiento bajo los esquemas de operación y trabajo

existentes en la planta, así como conocer los equipos, materiales y/o instrumentos existentes; para ello:

- Se conocieron los distintos niveles de organización y desarrollo de tareas presentes en la planta para la elaboración de las mezclas de concreto premezclado, desde la dosificación hasta el registro, pasando por el laboratorio de control de calidad.
- Se conoció al capital humano que labora en planta, observando sus tareas y actividades.
- Se identificaron fortalezas y debilidades, así como instrumentos, materiales y equipos necesarios para la realización de los ensayos de laboratorio requeridos por las normas COVENIN 2385 y NTF 2385. Es importante destacar que algunos de los ensayos a realizar no son rutinarios en esta planta, ya que se usa agua potable para la mezcla, en cuyo caso esas normas no son aplicables.

Etapa 2. Planificación y ejecución de pruebas y ensayos. Incluyendo los relativos a la calidad del agua, así como del concreto; para ello:

- Se estableció el número de pruebas a realizar con los distintos porcentajes de agua reciclada, llegando a un total de tres: 100% agua reciclada (100% AR), 75% agua reciclada y 25% agua potable (75% AR/25% AP) y 50% agua reciclada y 50% agua potable (50% AR/50% AP). Es importante destacar que las pruebas 2 y 3 (75% AR/25% AP y 50% AR/50% AP) corresponden a lo que la NTF 2385 denominan agua combinada, combinación homogénea de dos o mas aguas provenientes de diferentes fuentes u orígenes ^[4].
- Se captaron muestras de agua reciclada y se preparó el agua combinada (con los distintos porcentajes mencionados anteriormente) para el análisis de las características físico-químicas del agua en la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas de la Universidad Central de Venezuela- Facultad de Ingeniería- Escuela de Civil (PETA-UCV). Las determinaciones analíticas de aceites y grasas y DQO solo se hicieron en el caso mas desfavorable, es decir para el agua reciclada.
- Se realizaron los ensayos correspondientes al concreto: asentamiento, tiempo de fraguado y resistencia a compresión, para cada una de las tres pruebas. Es importante destacar que para cada prueba se consideró la realización del patrón con agua potable. Todos estos ensayos fueron realizados con base en las normativas COVENIN correspondientes.

Etapa 3. Todos los datos obtenidos en las pruebas se transformaron en información, haciendo uso de tablas y gráficos con el objeto de comparar las diferentes pruebas, así como el cumplimiento con los requisitos establecidos en las normas.

Finalmente, con base en toda la experiencia obtenida y los ensayos realizados, habiendo verificado el cumplimiento de los requisitos químicos y físicos contenidos en la normativa de agua de mezclado para preparar concreto, se elaboró el procedimiento estipulado como objetivo general de la pasantía ^[2].

Dicho procedimiento constituye la primera fase para la aplicación del proceso de reutilización del agua reciclada en la planta de concreto la Bandera y de esta manera seguir transitando por el camino hacia el desarrollo sustentable, con el mejor aprovechamiento del agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados con su correspondiente análisis, dirigido a presentar el cumplimiento del agua de mezcla (reciclada y combinada) con los requerimientos establecidos por la respectiva normativa venezolana.

Propiedades físico-químicas del agua de mezclado: reciclada y combinada.

De acuerdo a la Tabla 1, se observa que los parámetros que definen la calidad del agua de mezclado, cumplen con los requisitos, tanto para la C 2385 como para la NTF 2385; con excepción del pH de acuerdo a la C 2385. Es importante mencionar que justo es una de las modificaciones importantes que se realizó a dicha norma, debido a que no tiene sentido regular el pH del agua de mezcla a valores cercanos a la neutralidad, cuando la mezcla del concreto es fundamentalmente básica.

Tabla 1. - Cumplimiento con normativa venezolana de las propiedades físico-químicas del agua.

Parámetros de calidad del agua	100% AR	75% AR 25% AP	50%AR 50% AP	C 2385	NTF 2385
Cloruros (mg/l)	290	140	100	Cumple	Cumple
Densidad (g/l)	0,993	0,982	No se pudo determinar	No se regula	No aplica
Sulfatos (mg/l)	580	366	288	No se regula	Cumple
Álcalis (mg/l NaO)	272	115	103	No se regula	Cumple
Sólidos Totales (mg/l)	2818	1922	1076	No se regula	Cumple
pH	11,6	11,4	11,7	No Cumple	Cumple
Aceites y Grasas (mg/l)	22	-	-	No se regula	Cumple
Sólidos Disueltos (mg/l)	2420	1602	996	Cumple	No se regula
Materia Orgánica como DQO (mg/l)	35	-	-	Cumple	No se regula

C 2385: COVENIN 2385:2000. NORMA VENEZOLANA CONCRETO Y MORTERO. AGUA DE MEZCLADO. REQUISITOS

NTF 2385: NORMA TÉCNICA FONDONORMA CONCRETO Y MORTERO. AGUA DE MEZCLA.

AP: AGUA POTABLE

AR: AGUA RECICLADA

Tal como se comentó anteriormente, se observa que la NTF 2385 tienen una mayor regulación de la calidad del agua de mezclado, incluyendo más parámetros. Asimismo, aunque no se limita con un valor, se incluye la determinación de la densidad del agua que luego está asociada con la frecuencia en que deberán realizarse los ensayos que definen el uso del agua reciclada o combinada para la elaboración del concreto.

Propiedades Físicas del concreto elaborado con agua de mezclado reciclada y combinada.

Asentamiento

Como se puede apreciar en la figura 1, los resultados para los asentamientos correspondientes a las distintas mezclas son de 5", no se refleja ninguna discrepancia entre los resultados. Cabe mencionar que se mantuvo la misma cantidad de agua para cada mezcla, buscando mantener el valor del asentamiento y cumplir con el diseño de mezcla escogido (D250-4-S-28-05-0-1-000VE). Aunque esta propiedad del concreto no esta regulada por las normativas, es importante verificar que el agua reciclada o combinada no modifica esta característica.

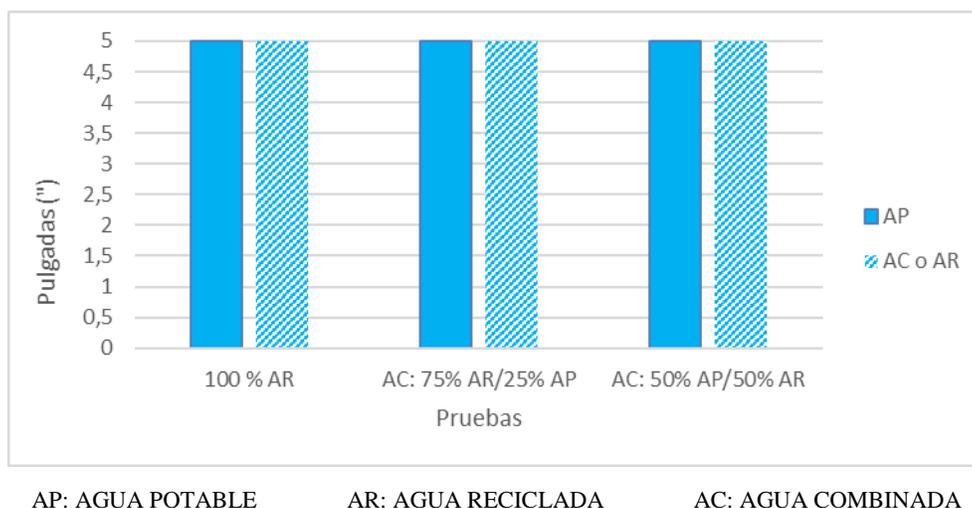


Figura 1.- Asentamiento del concreto utilizando agua reciclada y combinada

Tiempo de fraguado

En la Tabla 2 se aprecia que, para las distintas mezclas realizadas, el tiempo de fraguado inicial y final cumplen en su totalidad con lo exigido en las normas C 2385 y NTF 2385.

Tabla 2.- Cumplimiento con la normativa venezolana del tiempo de fraguado del concreto.

Prueba	Fraguado Inicial (Horas:minutos)		C 2385	NTF 2385	Fraguado Final (Horas:minutos)		C 2385
Agua Reciclada	AP	05:21	Si	Si	AP	07:17	Si
	AR	05:33			AR	07:08	
Agua Combinada 75% AR/25% AP	AP	05:36	Si	Si	AP	07:17	Si
	AC	05:48			AC	07:15	
Agua Combinada 50% AR/50% AP	AP	05:40	Si	Si	AP	07:08	Si
	AC	05:40			AC	07:06	

C 2385: COVENIN 2385:2000. NORMA VENEZOLANA CONCRETO Y MORTERO. AGUA DE MEZCLADO. REQUISITOS

NTF 2385: NORMA TÉCNICA FONDONORMA CONCRETO Y MORTERO. AGUA DE MEZCLA.

AP: AGUA POTABLE; AR: AGUA RECICLADA; AC: AGUA COMBINADA

La figura 2 muestra que comparando las mezclas de agua combinada o reciclada con respecto al agua potable (patrón), no hay diferencia notoria entre los tiempos de fraguado iniciales y los finales. El tiempo de fraguado inicial del concreto con agua reciclada y combinada (75% AR/25% AP) tiene una diferencia de apenas 12 minutos con respecto al agua potable, mientras que con el agua Combinada (50% AR/50% AP) no presenta ninguna diferencia. En los tiempos de fraguado final las diferencias son menores, apenas 2 minutos para los dos casos de agua combinada con respecto al agua potable y 9 minutos para el concreto con agua reciclada.

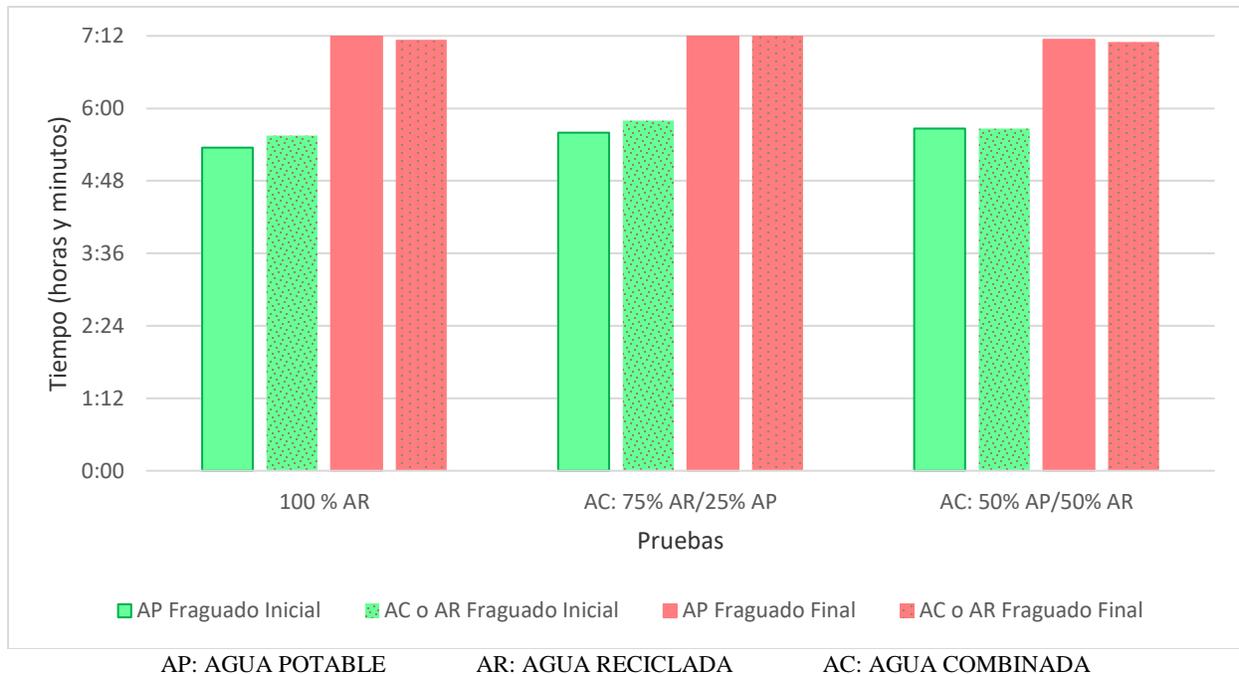


Figura 2.- Tiempo de fraguado utilizando agua reciclada y combinada

Este comportamiento del tiempo de fraguado no solo permite establecer que hay cumplimiento considerando ambas normativas (C 2385 y NTF 2385) sino que también no hay diferencias importantes cuando se trata de agua reciclada o combinada. Asimismo, vale destacar que, en el tiempo de fraguado final, las diferencias con respecto al agua potable son aún menores, razón por lo cual seguramente en el proyecto NTF 2385 solo se regula el tiempo de fraguado inicial.

Resistencia a compresión

En la Tabla 3 se aprecia nuevamente el cumplimiento con la normativa venezolana, en lo que se refiere a la resistencia a compresión del concreto de la utilización del agua reciclada, bien sea al 100% o en combinación como agua de mezcla. En todos los casos la resistencia a compresión del concreto elaborado con esta agua (reciclada o combinada) no es menor del 90% del agua potable, inclusive en algunos casos es ligeramente mayor; por lo que el agua reciclada o combinada se puede utilizar sin que se afecte la resistencia del concreto.

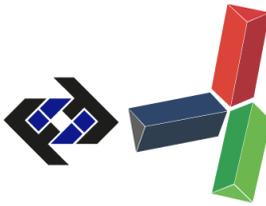


Tabla 3.- Cumplimiento con la normativa venezolana de resistencia a compresión del concreto.

Prueba	Resistencia a los 7 días		C 2385	NTF 2385	Resistencia a los 28 días		C 2385
Agua Reciclada	AP	356	Si	Si	AP	414	Si
	AR	352			AR	403	
Agua Combinada 75% AR/25% AP	AP	371	Si	Si	AP	432	Si
	AC	378			AC	432	
Agua Combinada 50% AR/50% AP	AP	339	Si	Si	AP	424	Si
	AC	356			AC	454	

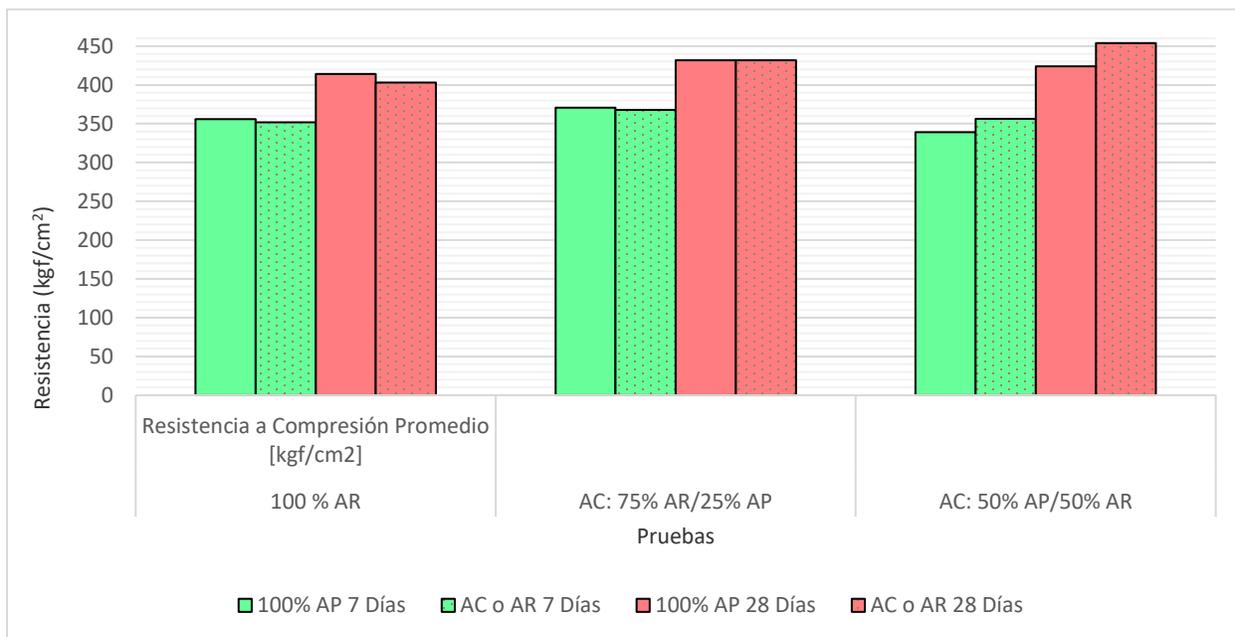
C 2385: COVENIN 2385:2000. NORMA VENEZOLANA CONCRETO Y MORTERO. AGUA DE MEZCLADO. REQUISITOS

NTF 2385: NORMA TÉCNICA FONDONORMA CONCRETO Y MORTERO. AGUA DE MEZCLA.

AP: AGUA POTABLE; AR: AGUA RECICLADA; AC: AGUA COMBINADA

Haciendo referencia a la figura 3, la diferencia de resistencias a compresión entre el concreto elaborado con agua reciclada y potable es casi inapreciable, de 4 kgf/cm² para la edad de 7 días y 11 kgf/cm² para los 28 días. Este comportamiento es muy similar para el agua combinada de 75% AR/25% AP, inclusive no presentando diferencia alguna para la edad de 28 días.

La prueba con 50% AR – 50% AP presentó mayores diferencias con el concreto preparado con agua potable, 17 kgf/cm² de a la edad de 7 días y 30 kgf/cm² para la edad de 28 días; resaltando que en ambos casos fue superior la resistencia a compresión del concreto elaborado con el agua combinada.



AP: AGUA POTABLE

AR: AGUA RECICLADA

AC: AGUA COMBINADA

Figura 3.- Resistencia a compresión utilizando agua reciclada y combinada

Finalmente se desarrolló el procedimiento basado en los lineamientos demandados por la empresa, lo exigido en las normas C 2385 y NTF 2385 y en la experiencia al realizar los ensayos. Dicho procedimiento se encuentra estructurado siguiendo además los existentes en Venezolana de Cementos, y está constituido por: objetivos, alcance, definiciones, documentos de referencia, responsabilidades, elaboración, realización, diagrama de flujo y anexos.

CONCLUSIONES

La calidad del agua reciclada y combinada cumple con todos los requisitos físico-químicos requeridos tanto en la C 2385 como en la NTF 2385, a excepción del pH que presenta la COVENIN 2385:2000, evidenciando su error en cuanto a este requisito.

El asentamiento del concreto se mantuvo invariable en todas las mezclas por lo cual se deduce que el agua reciclada y combinada no afecta esta propiedad tan importante del concreto.

El tiempo de fraguado del concreto no se afecta con el empleo del agua reciclada y combinada en el concreto cumpliendo con los requisitos normativos exigidos en la COVENIN 2385:2000 y la FONDONORMA 2385, aprobada en el 2014 por el Comité Técnico CT 27.

La resistencia a compresión del concreto tampoco se afecta con el uso de agua reciclada y combinada ya que también cumple con los requisitos establecidos en la normativa antes indicada. Finalmente, luego de la realización de los ensayos planteados, cálculo y análisis de los resultados obtenidos y verificando el cumplimiento de los requisitos del agua reciclada y combinada como agua de mezcla en el concreto producido en planta La Bandera, se generó un procedimiento completo, en donde se detallan las actividades, pruebas y ensayos que se deben llevar a cabo para la utilización del agua reciclada o combinada en la producción de concreto premezclado, siguiendo también los requerimientos de la normativa. Con ello planta La Bandera cuenta con el primer documento que le permitirá transitar por el camino hacia la sustentabilidad al implementar la reutilización del agua reciclada como parte de su proceso productivo.

REFERENCIAS

- [1] Gerardo, C., & Van Der Dijks, E. (2016). Reutilización del agua residual en una planta de concreto. Un paso en el camino correcto hacia una industria sustentable. Caso de estudio: Planta La Bandera. Informe de Pasantía. Escuela de Ingeniería Civil, UCV. Caracas.
- [2] Fuentes, F. y Malavé, Y. (2017). Procedimiento del uso de agua combinada (potable + reciclada) en el concreto producido en Planta La Bandera. Siguiendo el camino hacia una industria *sustentable*. Informe de Pasantía. Escuela de Ingeniería Civil, UCV. Caracas.
- [3] COVENIN 2385: 2000 (1era Revisión). (2000). Norma Venezolana. Concreto y Mortero. Agua de Mezclado. Requisitos. Caracas.
- [4] FONDONORMA. Proyecto NTF 2385 (R). (2014). Norma Técnica FONDONORMA. Concreto y Mortero. Agua de Mezcla. Aprobada por Comité Técnico CT 27. Caracas.
- [5] ASTM INTERNATIONAL. (2012). ASTM C1602/C1602M-12. Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete. USA.
- [6] ASTM INTERNATIONAL. (2005). ASTM C1603 – 05a. Standard Test Method for Measurement of Solids in Water. USA.