

AGUA RECICLADA EN LA PLANTA DE CONCRETO LA BANDERA COMO AGUA DE MEZCLADO. EL CAMINO HACIA EL DESARROLLO SUSTENTABLE

Henry A. Blanco S.^{1*}; Gerardo Cedeño¹; Erick Van Der Dijns¹, Jose Quevedo² y Aura Navas²
¹ Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería – Universidad Central de Venezuela-UCV
² Venezolana de Cementos, S.A.C.A. Corporación Socialista de Cemento -CSC
[*henryalbertob@gmail.com](mailto:henryalbertob@gmail.com)

RESUMEN

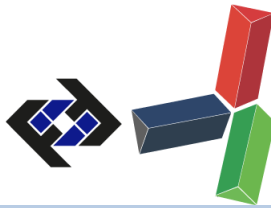
Este trabajo propone las directrices y acciones a seguir para la utilización de las aguas residuales – agua reciclada- en la Planta de Concreto La Bandera. Después del levantamiento de datos y análisis de información, así como la aplicación de encuestas a 23 trabajadores de la planta, se obtuvo que hay un consumo de agua potable de 295 l/m³ de concreto, valor superior a los que manejan otras plantas de concreto y a los establecidos por la NRMCA. Asimismo, se obtuvo que el agua residual a ser reutilizada, en las condiciones actuales, es la del lavado de vehículos, que podría estar en 137 l/m³; y para ello se cuenta con la aceptación del 96% del capital humano. En tal sentido para que la planta La Bandera transite por el camino hacia el desarrollo sustentable debe seguir dos directrices: Optimización del consumo de agua potable y la reutilización del agua residual remanente en la producción de concreto, implementando una serie de acciones a corto mediano y largo plazo que van desde las más sencillas e inmediatas como colocar boquillas en las tomas de agua para el lavado de camiones y disminuir el tiempo de los temporizadores existentes hasta otras que requieren más recursos y tiempo como explorar la factibilidad del uso de aguas de lluvia.

Palabras Clave: Agua reciclada, Reutilización, Sustentabilidad, Concreto premezclado, Planta de concreto.

ABSTRACT

This paper describes the proposed guidelines and action plans for the use of wastewater - recycled water - in the La Bandera Concrete Plant. After having collected the data and analyzed the information, along with the application of surveys to 23 workers of the plant, results suggest that the consumption of drinking water is of 295 l / m³ of concrete, which is higher than the amounts used by other concrete plants and the standards established by the NRMCA. Additionally, the residual water to be reused, under the current conditions, is that of the car wash facility, which could be at 137 l / m³, and is approved of by of 96% of human capital. In this regard, in order for the La Bandera plant to travel along the path towards sustainable development, it must follow two guidelines: Optimization of drinking water consumption and the reuse of residual waste water in concrete production, implementing a series of medium, short and long-term actions ranging from the simplest and immediate, such as placing nozzles in the water inlets for washing trucks and reducing the time of existing timers, to others that require more resources and time such as exploring the feasibility of using rainwater.

Keywords: Reclamined water, Reuse, Sustainability, Ready-mix concrete, Concrete plant.



INTRODUCCIÓN

La Planta de Concreto La Bandera es una planta filial de la empresa Venezolana de Cementos S.A.C.A., la cual a su vez pertenece a la Corporación Socialista del Cemento - CSC. Esta conformada por los componentes requeridos para la preparación del concreto según el Concrete Plant Standards: Dosificadora, Silos de cemento, Equipo de transporte de material, Patio de agregados, Caseta de control y Camiones mezcladores (mixers). También cuenta con un dosificador de aditivo dentro de la dosificadora, tanques de aditivo, una charca o fosa de lavado, unidades de sedimentación, tres tanques de agua, un laboratorio, oficinas administrativas, comedor, baño con duchas, un vestidor, un galpón y un taller mecánico.

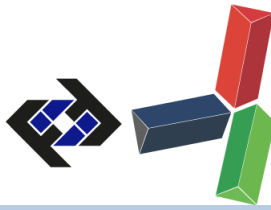
Uno de los insumos de esta planta es el agua y en este sentido la empresa Venezolana de Cementos a través de su Planta de Concreto Premezclado La Bandera, ha decidido unirse a la tendencia mundial del Desarrollo Sustentable, específicamente en el mejor aprovechamiento del agua, planteándose así el estudio de la factibilidad de la reutilización de sus aguas residuales en la producción de concreto, en principio como agua de mezclado. [1]

La industria de la construcción utiliza grandes cantidades de agua potable para el desarrollo de las diversas actividades que la integran. Uno de los procesos que requiere gran cantidad de agua, y que a su vez genera mayor agua residual, es el premezclado de concreto en plantas, ya que, además del agua necesaria para la elaboración del concreto, requiere de una cantidad importante destinada al aseo y mantenimiento, principalmente en el lavado de los camiones que transportan el concreto. La compañía colombiana de concreto Argos, ha estimado en el lavado externo de sus camiones un consumo de 115 litros de agua potable por m³ de concreto producido [2].

Existe una organización que destaca por su alcance y proyección a nivel mundial, la National Ready Mixed Concrete Association -NRMCA, la cual a través de su programa de certificación de plantas de concreto sustentables establece los lineamientos que debe seguir una planta de concreto para entrar en la categoría de “sustentable”. Si bien es una evaluación integral, el uso del agua es uno de los principales elementos que contiene, teniendo la sección de Producción un peso de 52% en el baremo, con una parte asociada al uso del agua, cuyos créditos se asocian a la reducción del uso de agua potable en operaciones de la planta, reducción del uso de agua potable en el lavado, procesos de recolección de agua y tratamiento y manejo del agua de lluvia [3].

La NRMCA establece una serie de lineamientos a seguir por las plantas de concreto premezclado entre las que destaca establecer un sistema de reutilización del agua residual para actividades como preparación de la mezcla de concreto (solución que generalmente requiere menor tratamiento; por lo que se considera la opción más óptima), y lavado de camiones, todo esto en función de las características del agua. En caso de que no se contemple la reutilización total del agua residual, se debe establecer un sistema de tratamiento de agua con el que se asegure, que cualquier descarga estará dentro de los criterios establecidos por la norma correspondiente. Para esto, se prevé (como mínimo) la disposición de sedimentadores y un área de tratamiento de pH. [3]

En este sentido y bajo estas consideraciones la planta de concreto La Bandera ha decidido explorar la factibilidad del uso de toda el agua residual, en principio como agua de mezclado, para lo cual se realizaron una serie de mediciones y ensayos que permitan tener la factibilidad de uso de esta agua reciclada, cumpliendo para ello con la norma COVENIN 2385:2000 que regula el uso del agua no potable para la elaboración de concreto y mortero. [4] y el Proyecto Fondonorma 2385 aprobado en el 2014 por el Comité Técnico CT 27. [5]



METODOLOGÍA

Las etapas que comprenden este trabajo fueron la caracterización del proceso productivo de la planta La Bandera, con énfasis en el uso del agua potable y la generación de agua residual, el análisis de información documental y experiencias de reutilización de agua en plantas de concreto premezclado, análisis de la actitud del capital humano de la planta para la reutilización del agua residual para preparar concreto y finalmente la propuesta de las directrices a considerar en la reutilización, asociadas a actividades en el corto, mediano y largo plazo.

La primera etapa de caracterización del proceso productivo con énfasis en el recorrido del agua: uso y generación como residuo; implica la identificación del recorrido del agua en el proceso como uno de los insumos en la producción del concreto premezclado. Para ello se realizaron diagramas de flujo que permitieron identificar el uso del agua potable, proveniente de la red de abastecimiento de la ciudad y la generación de agua residual en cada etapa del proceso. Una vez identificados los puntos de uso del agua y generación del agua residual, se procedió a calcular y/o estimar las cantidades asociadas a través de mediciones y/o análisis de datos del proceso productivo.

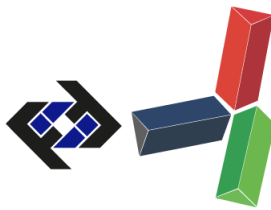
La siguiente etapa consistió en un análisis de las referencias encontradas sobre lineamientos y experiencias en la optimización del uso del agua en plantas de concreto premezclado. Este análisis también consideró la revisión de normas nacionales e internacionales, todo ello con la finalidad de que la propuesta de directrices incluyera experiencias previas, lineamientos de organismos rectores como la NRMCA y el marco normativo nacional e internacional.

La tercera etapa comprendió la exploración a través de encuestas y entrevistas no estructuradas del capital humano que conforma la planta, en sus diversas áreas de experticia, así como aquellos que ocupan cargos directivos referidos a la calidad del concreto a nivel de la corporativa, con una visión integral de la producción del concreto premezclado a nivel nacional. En esta etapa también se realizaron pruebas con agua combinada: 75% agua residual y 25% agua potable para evaluar la calidad del concreto, estableciendo así el cumplimiento con la normativa nacional e internacional. La cuarta y última etapa constituye el análisis de todos los datos e información obtenida en las etapas anteriores para realizar una propuesta de directrices adaptadas a las condiciones de la planta La Bandera, que permita que sean asociadas actividades en el corto, mediano y largo plazo, de tal manera de estructurar las bases para la implantación del uso de agua reciclada como insumo que sustituya parcialmente el agua potable en la elaboración del concreto premezclado. Es importante destacar que esta propuesta fue consultada y alimentada no solo con el personal que dirige la planta La Bandera, sino también con la gerencia de calidad de la zona capital de la CSC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como toda planta de concreto, La Bandera posee diversos puntos de consumo de AP, relacionados a cada una de las actividades que en ella se desarrollan y que se indican a continuación:

- Agua de mezclado: agua que suministra la dosificadora según el diseño de mezcla.
- Agua de lavado de camiones (lavado de vehículos en las tomas superior e inferior): se estima que sólo el 8% de los lavados se realiza en la toma inferior, en donde se ubican los camiones para ensayos del concreto.
- Agua de servicios: baños, comedor y taller mecánico.
- Agua extra para el concreto: dosificación de agua que realizan los conductores a la mezcla.



• Agua de lavado de patios y agregados: aquella destinada a lavar las áreas de patios y agregados. Los consumos de AP que fueron cuantificados o estimados se presentan en la Tabla 1, donde se expone las entradas del balance hídrico de Planta La Bandera.

Tabla 1. Consumo de agua potable Planta La Bandera

Demanda de Agua Potable (1 agua potable/m ³ concreto)	
Agua de mezclado – Producción de concreto	146
Agua extra – Producción de Concreto	9
Agua Lavado: Lavado interno de vehículos	26
Agua Lavado: Lavado externo de vehículos	102
Agua de servicios	12
Agua Lavado de patios	Inapreciable
Total Demanda	295

Es importante destacar que el agua potable destinada a la producción del concreto, incluyendo esa dosificación extra, llega a los 155 l/m³, ligeramente superior a los 120 l/m³ reportado por Vina, J. (2016) en plantas de Argos, Colombia y a los 124 l/m³ establecido como base por la NRMCA. Con respecto al agua utilizada en el lavado de vehículos, la interna es muy inferior a lo reportado por Vina, J. (2016) de 115 l/m³, ya que la práctica del llenado del tanque de los vehículos dispuestos para tal fin, en planta La Bandera no es una actividad de rutina en el proceso. El lavado externo pareciera ser excesivo, sobre todo cuando se observa que el lavado promedio por camión esta en el orden de los 500 litros de agua y representa un 66% del agua que se utiliza en la mezcla de concreto.

Por su parte, la generación de agua residual incluye lo siguiente:

- Agua residual generada por el lavado de vehículos (toma superior e inferior): casi la misma cantidad del consumo ya que no hay pérdidas importantes
- Agua residual generada del uso del personal (aguas servidas de los sanitarios, comedor, etc.)
- Agua residual del escurrimiento del lavado de patios y control de polvo.

Las aguas servidas se conducen al sistema de cloacas de la ciudad y la que se genera como lavado de patios y control de polvos, mayormente percola y se evapora; en consecuencia, la que se puede cuantificar como agua residual potencial para su reutilización es aquella que proviene del lavado de vehículos, cuyas cantidades se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Generación de agua residual Planta La Bandera

Agua Residual generada por actividad (l/m ³)	
Lavado interno de vehículos	26(*) / 65(**)
Lavado externo de vehículos	102(*) / 87(***)
Total	128 / 137 (****)

(*) Dato medido en planta a través de los caudales de las tomas y el tiempo para el lavado interno y externo de los vehículos

(**) Dato teórico calculado con la capacidad del tanque de agua de los camiones

(***) Dato teórico considerando una reducción de consumo en 15% aplicando los mecanismos de reducción Vinas J. (2016)

(****) Posee un 10% menos por concepto de evaporación

Con estos datos de demanda y generación en la figura 1 se presenta el balance hídrico de planta.

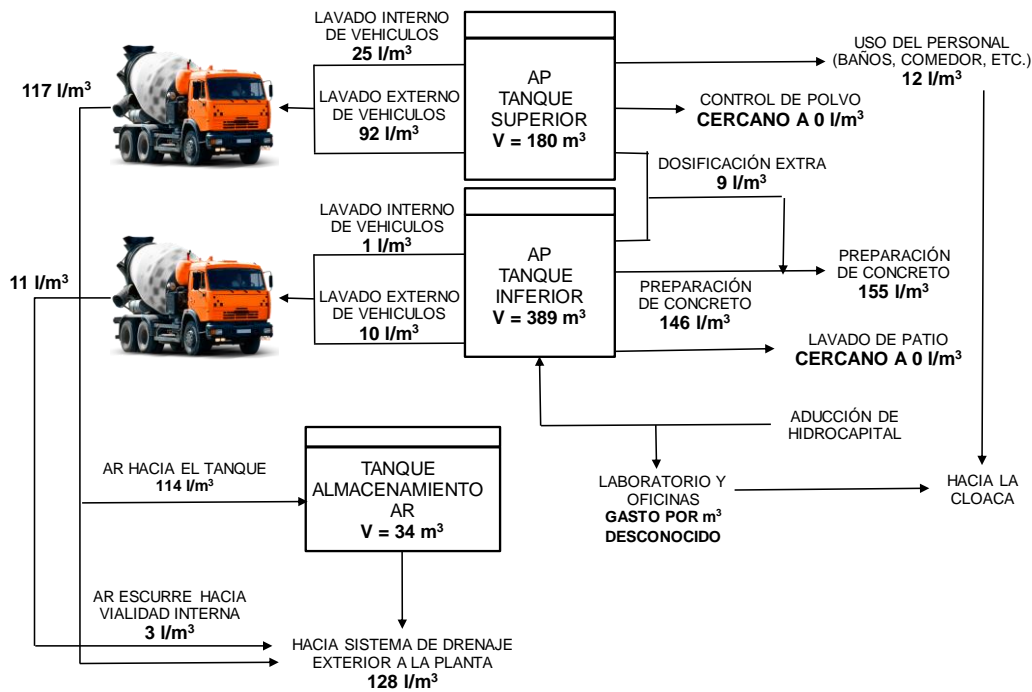


Figura 1. Balance hídrico planta La Bandera. Período agosto-septiembre 2016

Considerando algunas suposiciones basadas en las experiencias revisadas y atendiendo a la situación de la planta La Bandera, se podría esperar que el balance hídrico a futuro, adoptando buenas prácticas del lavado de vehículos y la reutilización del agua residual generada, es el que se presenta en la figura 2.

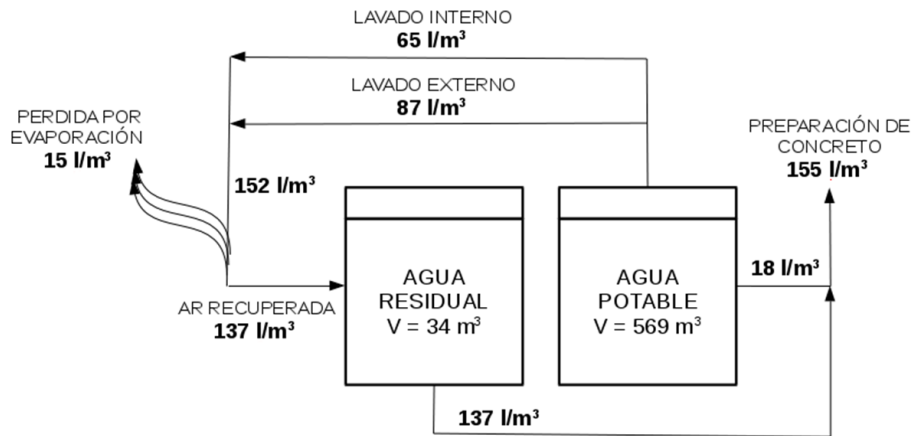
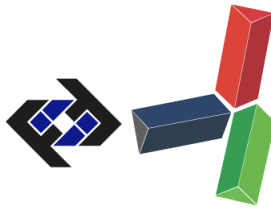


Figura 2. Balance hídrico teórico planta La Bandera aplicando buenas prácticas del lavado de vehículos y reutilización del agua

En cualquier caso, el agua reciclada como agua de mezclado para la planta de concreto La Bandera, constituye la alternativa actual para comenzar a transitar el camino hacia el desarrollo sustentable.



A través de la búsqueda de referencias documentales asociadas a la reutilización de agua residual como agua de mezclado se encontró que la NRMCA, establece en su documento Sustainable Concrete Plants Guidelines – SCPG una serie de requisitos orientados a las características que debe poseer una planta de concreto sustentable, con asignación de puntos y que conducen a obtener un nivel de certificación. En esta certificación el agua ocupa un rol importante con requisitos dirigidos hacia la reducción del agua potable para la preparación del concreto en cantidades menores a los 112 l/m³ (10% de 124 l/m³) y a la reutilización del agua residual desde un 10 hasta el 70%.

El consumo de agua potable en planta La Bandera, 155 l/m³, está por encima incluso del valor base (124 l/m³) y que, aunque actualmente puede reutilizar un 75% del agua residual generada por el lavado de vehículos, ese valor podría ser incrementado a un 88% si se considera el lavado interno de los vehículos, así como la recuperación del agua que escurre hacia la vialidad y se conduce al drenaje por las torrenteras. Adicionalmente a los requisitos de certificación, se establecen lineamientos como sugerencias para que las plantas de concreto premezclado puedan alcanzar estos requisitos, que van desde la optimización de diseños de mezcla y utilización de aditivos super reductores de agua hasta el pavimentado de áreas y sistemas de drenaje para recolectar y aprovechar las aguas de lluvia; pasando por supuesto por la reutilización de las aguas residuales generadas tanto para la elaboración del concreto (agua de mezclado) como en las demás operaciones asociadas a su producción (control de polvo, lavado de agregados y vehículos, entre otras).

Cuando se analiza la situación actual de la planta La Bandera, se llega a que las directrices que se pueden implantar van dirigidas a establecer un proceso de reutilización de las aguas residuales provenientes del lavado de vehículos, de forma total o parcial, como agua de mezclado para con ello disminuir el consumo de agua potable y evitar un acondicionamiento mayor del agua residual que permita su descarga a cuerpos de agua. Estas directrices asociadas a las actividades en el corto, mediano y largo plazo se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Directrices y acciones dirigidas a reutilización del agua Planta La Bandera

Directriz	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Reducción del consumo de agua potable	<ul style="list-style-type: none"> Colocar boquillas en tomas para el lavado de camiones y disminuir el tiempo de los temporizadores. Realizar campaña sobre el uso racional del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar Balance Hídrico anual. Colocar aspersores para el control de polvo. Explorar aplicación de otros métodos de lavado. 	<ul style="list-style-type: none"> Continuar Balance Hídrico anual. Túnel de lavado Factibilidad del uso de aguas de lluvia.
Reutilización del agua residual en la producción de concreto	<ul style="list-style-type: none"> Programa de limpieza de las fosas de sedimentación. Caracterización agua reciclada según el proyecto NTF 2385. Rehabilitar sistema de bombeo de agua reciclada Realizar una prueba macro (terceo) de concreto producido con agua reciclada 	<ul style="list-style-type: none"> Optimizar el programa de limpieza de las fosas. Acondicionar correctamente el área de lavado. Elaborar un programa que permita la realización diaria de ensayos de densidad al agua de mezclado. 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el método más adecuado para evitar la acumulación de agua reciclada en la zona de lavado inferior.

Para llevar a cabo este proceso de reutilización es necesario cumplir con las normativas establecidas. En Venezuela la normativa vigente es la COVENIN 2385:2000, sometida a revisión y aprobada por el Comité Técnico CT 27 de FONDONORMA en 2014, denominada Proyecto FONDONORMA NTF 2385 (R), la cual esta basada en la ASTM 1602-12. [5]

Los resultados obtenidos en las pruebas y ensayos realizados muestran que la resistencia a compresión del concreto con el agua combinada (agua potable + agua residual) para una edad de 7 días fue de 401 kg/cm² en comparación con los 403 kg/cm² obtenidos para el agua potable; para los 28 días con el agua combinada se obtuvo 462 kg/cm² y para el agua potable 447 kg/cm². En lo que se refiere al tiempo de fraguado inicial, el concreto elaborado con el agua combinada, tuvo un tiempo de 7 h 17 minutos y con el agua potable 7 h 32 minutos; mientras que para el fraguado final el tiempo fue de 9 h 4 minutos y 9 h 23 minutos respectivamente. Con estos resultados, tanto para la resistencia a compresión, como para los tiempos de fraguado se cumplen los requerimientos exigidos por la COVENIN 2385:2000, la cual establece que las resistencias promedio de las mezclas hechas con agua potable y con el agua en estudio no deben diferir entre sí en más de un 10%; y que los promedios entre los tiempos de fraguado iniciales no deben diferir entre sí en más de 15 minutos y los tiempos de fraguado finales en más de 45 minutos. También se cumplen con los requerimientos del Proyecto FONDORNORMA NTF 2385, donde a diferencia de la COVENIN, se establece que el tiempo de fraguado inicial del concreto elaborado con el agua no debe ser antes de 1 h ni después de 1 h 30 minutos del que resulta en el concreto con agua potable.

En la figura 3 se presentan los resultados de la actitud del capital humano donde se aprecia que el 100% de los trabajadores relacionados con el control de calidad y el transporte del concreto, desde el comienzo manifestaron estar de acuerdo con la reutilización del agua residual, muchos de ellos tenían experiencia de esta práctica en la planta en años anteriores. Parte del personal operativo y directivo se mostró inicialmente en desacuerdo, manifestando su inquietud por la posible afectación de las principales propiedades del concreto. Una vez que se informó a los trabajadores sobre los resultados de las pruebas de resistencia a compresión y tiempo de fraguado efectuadas a mezclas realizadas con agua combinada, el porcentaje de aceptación por parte del personal operativo pasó del 67% al 100%. El personal Directivo y Supervisor, que se mantuvo en 75% de aceptación, señaló la necesidad de la implantación de este proceso una vez que se realizara lo que denominaron “Prueba macro”, es decir, la dosificación y mezclado de un tercio habitual bajo condiciones normales de producción, utilizando solo agua residual para el mezclado.

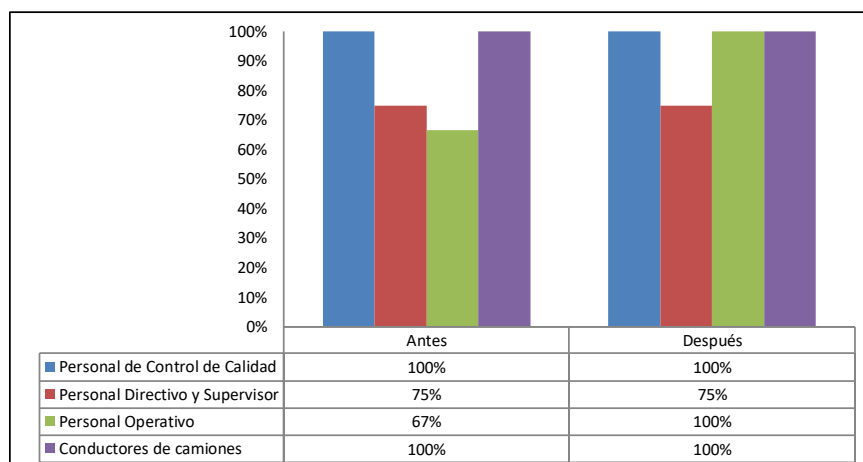
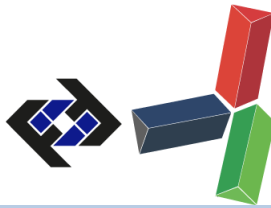


Figura 3. Actitud del personal planta La Bandera respecto a la reutilización del agua residual para preparar concreto antes y después de presentar los resultados de calidad del concreto



CONCLUSIONES

La factibilidad de usar agua reciclada en planta La Bandera y así comenzar a transitar por el camino hacia la sustentabilidad está asociada y condicionada a los siguientes aspectos:

El agua potable destinada a la producción del concreto, es en promedio 155 l/m^3 , ligeramente superior a los 124 l/m^3 establecido como base por la National Ready Mixed Concrete Association, así como a los 112 l/m^3 establecidos como arranque para la reducción de agua potable; razón por la cual la reutilización del agua residual se presenta como un mecanismo para reducir su consumo.

El agua potable destinada al lavado externo de los vehículos pareciera ser excesiva, en el orden de los 500 litros de agua por vehículo que representa un 66% del agua de mezclado; por tanto, aunque debe ser reducida con ajustes en el temporizador que regula el tiempo de lavado, es evidente que constituye una cantidad importante de agua reciclada a utilizar para la preparación del concreto.

La infraestructura actual, especialmente las fosas de sedimentación y tanque del agua residual, facilita la implantación del proceso de reutilización de esta agua residual, requiriendo pequeños ajustes y el diseño de los procedimientos a seguir como parte del proceso productivo.

La resistencia a compresión y tiempo de fraguado del concreto preparado con agua combinada en una proporción 75% agua residual y 25% agua potable permite afirmar, en principio, el cumplimiento con la norma COVENIN 2385:2000 y el Proyecto FONDONORMA NTF 2385.

La actitud del capital humano que trabaja en la planta es de aceptación a que se realice el proceso de uso del agua reciclada para la elaboración del concreto y solo se requiere realizar una prueba en la producción rutinaria del concreto premezclado para que el personal directivo de la planta este plenamente convencido de la implantación de este proceso de reutilización del agua residual.

Finalmente se concluye que el agua reciclada constituye en el corto a mediano plazo una rutina y etapa a implantar en el proceso productivo del concreto premezclado en planta La Bandera, lo cual indudablemente constituye los primeros pasos para transitar por el camino hacia a sustentabilidad.

REFERENCIAS

- [1] Gerardo, C., & Van Der Dijs, E. (2017). Reutilización de las aguas residuales de la planta de concreto La Bandera. Iniciando el camino hacia el desarrollo sustentable. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería -UCV. Caracas.
- [2] Vinas, J. (2016). Uso eficiente del agua en operaciones concreto, [en línea]. San José: Conferencia Internacional de la sostenibilidad del Concreto – Latino América. Disponible en: <http://docplayer.es/18118847-Uso-eficiente-del-agua-en-operaciones-concreto.html> [2016, 1 de febrero]
- [3] NRMCA (2011). Sustainable Concrete Plant Cuidelines, Version 1.1. [en línea]. Disponible en: <https://www.nrmca.org/sustainability/Certification/PlantCertification.asp> [2017, 15 de enero].
- [4] COVENIN 2385:2000 (1era. Revisión). (2000). Norma Venezolana. Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos. Consejo Superior. N° 2000-12, Caracas.
- [5] FONDONORMA. Proyecto NTF 2385 (R). (2014). Norma Técnica FONDONORMA. Concreto y Mortero. Agua de Mezcla. Aprobada por Comité Técnico CT 27. Caracas.
- [6] ASTM INTERNATIONAL. (2012). ASTM C1602/C1602M-12. Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete. USA.