

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

**Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de las aguas
residuales especiales generadas en las plantas de concreto del
Proyecto Hidroeléctrico Reventazón del Instituto Costarricense de
Electricidad, Siquirres, Limón, Costa Rica**

Proyecto de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Gestión
Ambiental con énfasis en Tecnologías Limpias

Presentado por
Melissa Castillo León
Ignacio Laurent Lostalo

Heredia, 2016

El Tribunal Examinador aprobó el trabajo titulado.

Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales especiales generadas en las plantas de concreto del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón del Instituto Costarricense de Electricidad, Siquirres, Limón, Costa Rica: Como un requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Tecnologías Limpias

TRIBUNAL EXAMINADOR

Nombre Decano M.Sc. Tomás Marino Herrera _____

Nombre Director de U.A. M.Sc. Virya Bravo Durán _____

Nombre Tutor Ing. Erick Orozco Orozco _____

Nombre Lector Ing. Jorge Valverde Barrantes _____

Nombre Lector Dr. Jorge Herrera Murillo _____

Nombre de los estudiantes Melissa Castillo León _____

Ignacio Laurent Lostalo _____

Fecha: 10 de noviembre 2016

Resumen ejecutivo

El concreto es utilizado ampliamente como uno de los materiales claves para la construcción de infraestructura, tales como edificios, viviendas, puentes, proyectos hidroeléctricos, carreteras, entre otros, siendo su consumo el segundo más grande del planeta después del agua (Carrasco 2013).

La demanda creciente de energía eléctrica que tiene el país, impulsó al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) a la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón el cual aporta al sistema eléctrico nacional 306 MW de potencia. La energía se produce con las aguas del río Reventazón, por medio de la presa de enrocado con cara de concreto de 130 metros de altura y que tiene un embalse de aproximadamente 120 millones de metros cúbicos (ICE 2008).

Se estima que solamente para la presa fueron necesarios 109 000 metros cúbicos de concreto. Para producir el concreto, el proyecto utilizó 6 plantas de concreto y para el lavado de los automezcladoras se utilizaron dos lavaderos (ICE 2008).

Las actividades de construcción con concreto implican impactos ambientales adversos; principalmente a los cuerpos de agua, esto por la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales especiales de las plantas de concreto, que garanticen el cumplimiento de los parámetros establecidos en la legislación nacional. Otro aspecto es el impacto económico en la construcción de sistemas de tratamiento no estandarizados, ya que implican diseños sin criterios que aseguren un tratamiento eficiente del agua, aumentando los costos de construcción.

Por lo anterior, en este Trabajo de Graduación, se plantea una propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales de tipo especial provenientes de las plantas de concreto del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, como alternativa para reducir los impactos ambientales ocasionados a los cuerpos de agua e incorporar la implementación de tecnologías limpias por medio del sistema de tratamiento.

Para elaborar esta propuesta se implementaron tres fases metodológicas, la fase 1 consistió en una caracterización del entorno biofísico y ambiental y el proceso productivo de las plantas de concreto, basado en el proceso productivo de la planta de concreto Arbu 120 y el fogón. En la fase 2 se desarrolló el diagnóstico de las aguas residuales especiales del proceso productivo de las plantas de concreto en las cuales se realizaron análisis de agua de los siguientes parámetros: pH, temperatura, turbidez, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendedos (SS), Sólidos Sedimentables, Grasas y Aceites (GyA), Sustancias Activas al Azul de metileno, metales pesados y Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR) y en la fase 3 se estableció el diseño de una propuesta de un sistema de tratamiento.

La propuesta planteada incluye la recirculación del agua tratada en el proceso productivo, así como en el lavado de las automezcladoras; además del aprovechamiento de los sedimentos en las mezclas de concreto de baja calidad. También se desarrollan las principales ventajas y desventajas en el proceso de recirculación y reutilización de sedimentos.

Además se realizó un análisis costo beneficio, donde se compararon cuatro escenarios diferentes, producción de concreto sin sistema de tratamiento, con tratamiento por parte de un tercero, con un tratamiento comprado en el exterior pero operado por el ICE y un sistema de tratamiento construido y operado por el ICE, siendo el último escenario el más factible de implementar.

El sistema propuesto permite estandarizar los procesos de tratamiento de las aguas residuales especiales de las plantas de concreto ya que establece los criterios por implementar en el diseño del sistema, según el caudal por tratar y otras variables que no han sido consideradas en otros momentos.

Tabla de contenidos

1. Introducción.....	1
2. Justificación.....	2
3. Objetivos	5
3.1 General	5
3.2 Objetivos específicos.....	5
4. Marco conceptual	6
4.1 Agua	6
4.2 Alternativas para el tratamiento de los sedimentos en aguas residuales especiales.....	6
4.2.1 Sedimentación	7
4.2.1.1 Sedimentadores rectangulares	13
4.2.1.2 Sedimentadores circulares	13
4.2.1.3 Sedimentadores laminares	14
4.3 Legislación relacionada con aguas residuales especiales.	18
4.4 Plantas de concreto	22
5. Metodología.....	25
5.1 Tipo de investigación	25
5.2 Enfoque de la investigación.....	25
5.3 Descripción general del sitio de estudio	26
5.4 Estrategia metodológica	28
5.4.1 Fase 1: Caracterización del entorno biofísico y ambiental y el proceso productivo de las plantas de concreto.	28
5.4.2 Fase 2: Diagnóstico de las aguas residuales especiales del proceso productivo de las plantas de concreto según su composición química y comportamiento de caudales.	29
5.4.3 Fase 3: Diseño de una propuesta de un sistema de tratamiento, que incluya el manejo de los residuos generados y el costo del tratamiento.	29
5.5 Cronograma	30
6. Presentación y análisis de resultados	30
6.1 Caracterización del contexto externo.....	30
6.1.1 Variables ambientales que componen el contexto externo del P.H, Reventazón.	31
6.1.1.1 Suelo.....	32
6.1.1.2. Hidrología.....	33
6.1.1.3 Clima	34
6.1.1.4 Fauna acuática	35
6.2 Caracterización del contexto Interno	35

6.2.1 Caracterización del proyecto	35
6.2.2 Impactos ambientales	37
6.2.3 Caracterización del proceso	39
6.2.3.1 Caracterización de las plantas mezcladoras de concreto.	49
6.3 Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales especiales de plantas de concreto.....	64
6.3.1 Descripción del sistema de tratamiento	64
6.3.1.1 Sedimentación	64
6.3.1.2 Recirculación de aguas	64
6.3.1.3 Reutilización de sedimentos de concreto.....	69
6.3.2 Diseño del sistema de tratamiento	70
6.3.3 Análisis de costos y beneficios asociados.....	75
6.3.4 Guía para la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales especiales de las plantas de concreto.	78
6.3.4.1 Selección del área donde se ubicará la planta	78
6.3.4.2 Área de lavado	79
6.3.4.3 Manejo de aguas	79
6.3.4.4 Limpieza, mantenimiento.	80
6.3.4.5 Derrames de concreto en áreas de trabajo.....	80
6.3.4.6 Dispositivos a implementar en el sistema de tratamiento.	80
6.3.4.7 Monitoreo de las aguas residuales	81
6.3.4.8 Registros	82
6.3.4.9 Capacitación	83
7. Conclusiones y Recomendaciones.....	84
8. Bibliografía.....	87
9. Anexos.....	90

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Tipos de sedimentación.	9
Cuadro 2. Velocidad de sedimentación, según diámetro de la partícula.	9
Cuadro 3. Parámetros complementarios para análisis de aguas residuales tipo especial.	19
Cuadro 4. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor.	19
Cuadro 5. Límites máximos permisibles para los parámetros obligatorios complementarios de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor.	20
Cuadro 6. Clasificación de calidad de agua BMWP.	21
Cuadro 7 Resultados acumulados del BMWP de las quebradas: Sibón, Tres Amigos y Río Reventazón en el P.H.R, durante el año 2013 a diciembre 2014.	48
Cuadro 8 Clasificación de la calidad de agua BMWP.	49
Cuadro 9 Resultado de análisis de sólidos a la entrada y salida de los sistemas de sedimentación de la planta de concreto Pozzuolli en abril 2014.	51
Cuadro 10 Resultados de análisis de sólidos a la entrada y salida de los sistemas de sedimentación de la planta de concreto Arbau 120 en agosto, octubre, diciembre del 2013 y febrero, abril del 2014.	53
Cuadro 11. Resultados de análisis de sólidos a la entrada y salida de los sedimentadores del Lavadero de automezcladoras durante los meses de agosto, octubre y diciembre del 2013.	56
Cuadro 12. Resultados de análisis de sólidos a la entrada y salida de los sistemas de sedimentación del Fogón, durante los meses de agosto, octubre del 2013 y junio, agosto, octubre, diciembre del 2014.	58
Cuadro 13. Análisis físico-químico de las aguas residuales del Fogón del PHR, realizado el 13 de agosto del 2014.	59
Cuadro 14. Análisis de metales pesados en sedimentos de la escombreras 15.	61
Cuadro 15. Debilidades y fortalezas de los sedimentadores utilizados en el PHR en las plantas Arbau 120, Pouzolli , Lavadero de automezcladora y Fogón.	63
Cuadro 16. Ventajas y desventajas de la recirculación de las aguas residuales.	69
Cuadro 17. Ventajas y desventajas de la reutilización de sedimentos.	70
Cuadro 18. Diseño de sedimentador con un caudal de 300 m ³ /día.	73
Cuadro 19. Dimensiones del sedimentador según volumen.	75
Cuadro 21. Registros de datos para la operación del sistema de tratamiento de aguas residuales de las plantas de concreto.	82

Lista de Figuras

Figura 1. Corrientes térmicas.	10
Figura 2. Corrientes cinéticas	12
Figura 3. Sedimentador de forma rectangular.	13
Figura 4. Sedimentador circular	14
Figura 5. Sedimentadores laminares.....	15
Figura 6. Componentes del concreto.	22
Figura 7. Etapas de la producción del concreto.	24
Figura 8. Ubicación de las plantas de concreto en el PHR.	27
Figura 9. Ubicación geográfica del PHR.....	31
Figura 10. Componentes de la Planta Mezcladora de Concreto Arbau 120, PHR.....	40
Figura 11. Sistema computarizado para la operación de la planta mezcladora de concreto Arbau.	40
Figura 12. Tolva de agregados.	40
Figura 13. Pantalla de video de ubicación de automezcladora en área de despacho y tolva de agregados.....	41
Figura 14. Etiqueta del aditivo Polyhedd 789.	42
Figura 15. Etiqueta del aditivo Polyheed 7530.....	43
Figura 16. Fibra sintética.	43
Figura 17. Sedimentador Planta de concreto Pozuolli.....	44
Figura 18. Sedimentador Planta de Concreto Arbau 120.	45
Figura 19. Sedimentador Lavadero de Automezcladoras.....	45
Figura 20. Proceso de limpieza del sedimentador.	46
Figura 21. Sedimentador del lavadero de automezcladoras.....	46
Figura 22. Planta Pozuolli.	50
Figura 23. Desfogue al río del sedimentador de la Planta Pozuolli.	50
Figura 24. Planta Arbau 120.....	52
Figura 25. Desfogue al río del sedimentador de la Planta Arbau 120.	52
Figura 26. Lavadero de Automezcladora.....	54
Figura 27. Desfogue al río del sedimentador del Lavadero de Automezcladora.	55
Figura 28. Fogón	57
Figura 29. Sedimentadores del Fogón.	57
Figura 30. Fosa de sedimentación escombrera 15.	60
Figura 31. Diseño sistema de tratamiento de aguas residuales especiales, recirculación de agua, lavado de automezcladoras y almacenamiento temporal de sedimentos.	66
Figura 32. Perfil del diseño sistema de tratamiento de aguas residuales especiales y perfil del sedimentador.	68

Lista de anexos

Anexo 1. Cronograma	90
Anexo 2. Entrevista semiestructura aplicada al encargado de las plantas de concreto , Sr. Juan Carlos Mata Bonilla.	92
Anexo 3. Solicitud de concreto por frente de obra.	94
Anexo 4. Diseño de mezclas de concreto actuales con cemento Holcim MP, Control de Calidad Obra Civil. 95	
Anexo 5. Instrumento de investigación: Observación mixta.	96
Anexo 6. Análisis químico de metales pesados en los sedimentos de las plantas de concreto.	101
Anexo 7. Cantidad de sedimento s recolectados en la limpieza de sedimentadores de la planta de concreto Arbau 120 y Fogón.	102
Anexo 8. Cálculo del caudal de la planta Arbau y el Fogón.	104
Anexo 9. Matriz de Cálculo de Dimensionamiento de Sedimentadores.	105
Anexo 10. Datos análisis beneficio-costos.	123
Anexo 11. Análisis costo beneficio.	126

1. Introducción

El agua es el recurso natural mayormente explotado por las actividades antrópicas, ya que se requiere en todos los procesos productivos como materia prima. Esto se hace visible en el área constructiva, donde el agua es el componente esencial para la fabricación de concreto, y este es, a su vez, el segundo material más utilizado por la humanidad después del agua (Carrasco 2013).

Un ejemplo de lo mencionado anteriormente se puede observar en el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, reconocido como el proyecto constructivo más grande de Centroamérica y donde fue evidente el alto consumo de concreto para la conformación de las obras, generando impactos ambientales a raíz de la disposición de las aguas residuales producto de la fabricación del concreto.

A pesar de contar con sedimentadores para tratar las aguas residuales, en algunas ocasiones estas estructuras no cumplieron a cabalidad con la función de brindar un adecuado tratamiento de estas, situación que se plasma en los análisis físico-químicos realizados a dichas aguas.

A raíz de lo anterior, es que en el siguiente Trabajo de Graduación se desarrolló una “Propuesta de un sistema de tratamiento de las aguas residuales especiales de las plantas de concreto del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón del Instituto Costarricense de Electricidad”, para contar con un sistema integral que incluyó recirculación de aguas tratadas y reutilización de sedimentos.

Además, al diseño propuesto se le realizó un análisis costo-beneficio, comparándolo con tres escenarios diferentes, (elaboración de concreto sin sistema de tratamiento, con tratamiento por parte de un externo y con un sistema adquirido en el exterior pero operado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), con el objetivo de determinar si el diseño propuesto es viable de implementar en términos de costos.

2. Justificación

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es la institución encargada de la producción de electricidad en Costa Rica. Como parte del Plan Nacional de Expansión de Generación Eléctrica, el ICE se encuentra construyendo el Proyecto Hidroeléctrico (P.H.) Reventazón, catalogado como el más grande del país, con una capacidad de generación de 305,5 MW y que abastecerá de energía a 525 000 hogares. Dicho proyecto es el cuarto aprovechamiento que hace el ICE del río Reventazón. Se ubica aguas abajo de la Planta Angostura, en la cuenca media de dicho río, 8 kilómetros al suroeste de la ciudad de Siquirres.

Dentro de las actividades constructivas del P.H. Reventazón, se producen mezclas de concreto para las diferentes obras que lo conforman. A raíz de este proceso, se generan aguas residuales de tipo especial, definida en el Reglamento de Vertido y reuso de aguas residuales como agua residual de tipo diferente al ordinario, mientras que el agua de tipo ordinario se define como el agua residual generada por las actividades domésticas del hombre (uso de inodoros, duchas, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa, entre otros), por lo que de acuerdo a estas definiciones el agua generada por las plantas de concreto corresponde a agua de tipo especial; las cuales requieren un tratamiento previo su vertido al río.

A pesar de esta necesidad, el proyecto no cuenta con un diseño efectivo para el tratamiento de estas aguas, que contemple variables como: el caudal de ingreso producto del lavado de auto mezcladoras (actividad que genera la mayor cantidad de agua residual), caudal necesario para la producción, influencia de aguas pluviales, entre otros.

Por esta razón se utiliza el método de prueba y error para establecer un diseño que se adapte a las necesidades del momento, lo que no permite trabajar con diseños ni procesos estandarizados que eviten o reduzcan el aporte de sedimentos y aguas contaminadas a las quebradas y al río. Dicha situación se presenta únicamente en la etapa constructiva del proyecto, ya que la etapa operativa solo corresponde a la generación de electricidad.

Es importante considerar que a nivel general el agua, podría catalogarse como el recurso natural más afectado entre todos los demás, esto porque los procesos productivos e industriales tienen un manejo inadecuado, de los residuos sólidos y líquidos y de los residuos de sustancias químicas, por lo que repercute directa e indirectamente en el recurso hídrico tanto superficial como subterráneo. El impacto ocasionado no solo se limita a donde se vierte el agua contaminada, sino que esta contaminación puede ser transportada aguas abajo hasta la zona costera, afectando grandes extensiones de territorio y limitando el aprovechamiento del recurso para diferentes fines (Digecca-Minaet 2009).

Un reciente informe de la Contraloría General de la República, indica que la contaminación hídrica de Costa Rica es un escenario que está fuera de control en las cuencas hidrográficas importantes como Grande de Tárcoles, Grande de Térraba, Tempisque y Reventazón (CGR 2013). Por esta razón, la falta de tratamiento de las aguas residuales sigue siendo el reto más importante para administrar el riesgo de contaminación de los cuerpos de agua. De ahí, la urgencia de brindar sistemas de tratamientos que estén hechos a la medida de los procesos productivos de las empresas, para que de esa forma cumplan con el esquema preventivo y se reduzcan significativamente las descargas de los contaminantes a los ríos (CGR 2013).

Dado lo anterior, se hace necesario proponer un sistema de tratamiento que se adapte a las necesidades técnicas y ambientales para cumplir con los parámetros de la legislación ambiental, según lo establece el artículo N° 50 de la Constitución Política, la Ley N° 7 554 Orgánica del Ambiente y el Decreto N° 33 601 sobre Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Aunado a esto, el ICE, como parte de sus esfuerzos en materia ambiental, cuenta con una Política Ambiental y lineamientos ambientales que son de acatamiento obligatorio, para asegurar el uso racional de los recursos, evitar la contaminación y compensar daños ambientales, lo que da más peso a la necesidad de solventar el tratamiento de las aguas residuales generadas por el proyecto.

Además el P.H. Reventazón cuenta con un Plan de Gestión Ambiental (PGA) que establece las medidas ambientales por implementar, para compensar o minimizar los impactos generados. Algunas medidas implementadas son manejo adecuado de las aguas, construcción de estructuras de contención, sedimentadores, manejo de agua de escorrentía

por medio de drenajes y cunetas, disminución de arrastre de sedimentos, entre otros, para reducir el impacto a la calidad de aguas superficiales y subterráneas. Muchas de estas medidas se implementan en los caminos u otros sectores del proyecto.

Para el caso de plantas de concreto, normalmente se construyen sedimentadores para solventar la necesidad del momento sin realizar estudios previos para definir requerimientos de un tratamiento efectivo ni contemplando el tratamiento como un sistema integral, tal como el que se propuso en esta investigación.

Disponer de un diseño de tratamiento estandarizado permite conocer su funcionamiento a detalle, lo que asegura, en cierto grado, un tratamiento de las aguas residuales con una eficiencia de hasta un 75%, poder solventar las anomalías que se presenten como el no cumplimiento de los parámetros de vertido y ahorrar tiempo y dinero, al no tener que construir un sistema que luego debe ser destruido por no ser eficiente, trayendo beneficios al proyecto y abriendo la posibilidad de ser implementado en otros proyectos o actividades del ICE, siendo esto el principal problema que desea solventarse con esta investigación.

3. Objetivos

3.1 General

Proponer el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial provenientes de las plantas de concreto del Proyecto Hidroeléctrico (P.H.) Reventazón, como alternativa para reducir los impactos ambientales ocasionados a los cuerpos de agua e incorporar la implementación de tecnologías limpias por medio del sistema de tratamiento.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el entorno biofísico y el proceso productivo de las plantas de concreto del P.H. Reventazón, que permita obtener información relevante para la formulación de la propuesta.
- Caracterizar las aguas residuales de tipo especial provenientes de las plantas de concreto, de acuerdo a su composición química y variaciones de caudal, con el fin de aplicar un sistema adecuado para su tratamiento.
- Diseñar una propuesta de un sistema de tratamiento de las aguas especiales generadas en el proceso de las plantas de concreto, en el cual se brinde un manejo a los residuos sólidos generados (sedimentos) y además se determinen los costos del sistema.

4. Marco conceptual

4.1 Agua

Para cualquier actividad que el ser humano desarrolle y para asegurar su subsistencia se requieren recursos del ambiente, y uno de ellos es el agua, la cual es el factor biótico más importante de la tierra y uno de los más importantes constituyentes del medio en que vivimos. Aproximadamente, un 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua en estado líquido, que se distribuye por cuencas saladas y dulces, formando los océanos, mares, lagos y lagunas (Hernández 2010).

La composición química del agua y su estructura dipolar, forma puentes de hidrógeno que son los responsables de las características tan especiales que tiene y que han hecho posible la vida sobre la tierra (Hernández 2010).

Dada a sus propiedades físico-químicas, el agua es utilizada en diferentes actividades, tales como la agricultura, producción de alimentos, uso doméstico, industria, entre otros. En la actividad industrial, el agua se emplea de diferentes maneras: para limpiar, calentar y enfriar, para generar vapor, para transportar sustancias o partículas disueltas; en la industria de la producción del concreto como componente de las mezclas para reaccionar con el cemento.

En la elaboración del concreto se utiliza cualquier agua natural o potable, como agua de mezcla (mezclado y amasado) para la preparación de concreto. Sin embargo, también se pueden utilizar otros tipos de aguas que no se consideren potables, pero deben establecerse criterios de aceptación para que el agua sea utilizada en el concreto, esto porque puede afectar el tiempo de fraguado, la resistencia del concreto, causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad (PCA 2004).

Como beneficio de este proceso, logra obtenerse una mezcla útil para la adherencia de materiales constructivos y poder edificar casas de habitación, edificios e incluso presas de proyectos hidroeléctricos de gran magnitud.

Sin embargo, a pesar de los beneficios obtenidos en la producción del cemento se genera agua residual industrial (tipo especial), la cual es el resultado de actividades industriales, agrícolas, forestales, mineras, pecuarias, de comercio, servicios y procesos de urbanización, entre otras, que porta diversas sustancias o materiales indeseables, dependiendo del tipo de proceso, como compuestos orgánicos e inorgánicos, microorganismos y trazas de algunos metales que le dan una composición diferente a la de su estado natural (Fraume 2007). Algunas de las características descritas corresponden al agua generada por las plantas de concreto, la cual es analizada en esta investigación.

Las aguas residuales se componen de sólidos en suspensión o sedimentos, los cuales son partículas insolubles que quedan en la superficie. Por lo tanto, pueden generar turbiedad afectando la fotosíntesis y el consumo del agua, introducir en el agua sustancias químicas tóxicas que puedan dañar plantas y animales, alterar los sitios de alimentación y desove de varias especies, aumentar la temperatura del agua y reducir la cantidad de luz solar que penetra en ella.

Los sedimentos, también, pueden reducir la capacidad de los embalses y dificultar la navegación interior. Además, pueden dañar los equipos de las instalaciones de suministro de agua y las plantas hidroeléctricas, aumentando sus costos de mantenimiento.

4.2 Alternativas para el tratamiento de los sedimentos en aguas residuales especiales

4.2.1 Sedimentación

El término sedimentación se entiende como una operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz, cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas por separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo esta el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación le suele denominarse también “decantación” (Davis y Masten 2004).

Existen diferentes tipos de sedimentación, los cuales se detallan a continuación:

- **Sedimentación tipo I**

La característica de esta sedimentación es que las partículas se asientan en forma discreta a velocidad constante. Se asientan como partículas individuales y no floculan ni se adhieren a otras partículas durante el asentamiento. Como ejemplos están la arena y la piedrilla. En términos generales, las únicas aplicaciones de la sedimentación tipo I son durante la sedimentación previa en la eliminación de arena, antes de la coagulación en una planta de agua de potable, para asentar partículas de arena durante la limpieza de filtros rápidos de arena y en las cámaras de piedrilla (Davis y Masten 2004).

- **Sedimentación tipo II**

La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación. La sedimentación que se lleva a cabo en los clasificadores sedimentadores primarios es un ejemplo de este proceso (Ramalho 2003).

- **Sedimentación tipo III o de zona**

Las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total presentando una interfase distinta con la fase líquida. Ejemplos de este proceso, incluyen la sedimentación de lodos activados en los sedimentadores secundarios y la de los flóculos de alúmina en los procesos de tratamiento de aguas (Ramalho 2003).

A continuación se presenta un Cuadro resumen de los diferentes tipos de sedimentación (Cuadro 1):

Cuadro 1. Tipos de sedimentación.

Sedimentación tipo I	Sedimentación tipo II	Sedimentación tipo III
Es el tipo de sedimentación de partículas discretas en suspensiones diluidas. Las partículas discretas son aquellas cuyo tamaño, forma y densidad específica no cambia con el tiempo	Es el tipo de sedimentación que incluye a las partículas floculantes en suspensiones diluidas. Las partículas floculantes son aquellas cuya superficie tiene propiedades, tales que se agregan con otras partículas con las que entran en contacto.	Una suspensión concentrada es aquella en la que las partículas están tan cercanas entre sí, que sus campos de velocidades se traslapan con los de las partículas vecinas y se produce un desplazamiento significativo del agua hacia arriba conforme las partículas se sedimentan.

Fuente: César 2003.

Es importante considerar, además del tipo de sedimentación, la velocidad que tardan las partículas en sedimentar considerando partículas de peso específico $2,65 \text{ kg/dm}^3$ y a una temperatura del agua de $10 \text{ }^\circ\text{C}$, teniendo en cuenta distintos diámetros y los tiempos necesarios para sedimentar 0,3 m (Cuadro 2).

Cuadro 2. Velocidad de sedimentación, según diámetro de la partícula.

Diámetro (mm)	Clasificación	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Tiempo para sedimentar 0,3 m
10,0	Grava	1 000,00	0,3 s
1,0	Grava	100,0	3,0 s
0,1	Arena gruesa	8,00	38 s
0,01	Arena fina	0,154	33 min
0,001	Bacterias	0,001 54	35 horas
0,001	Coloides	0,000 015 4	230 días
0,0001	Coloides	0,000 000 154	63 años

Fuente: Pérez, 2005

Además de los tipos y velocidades de sedimentación, existen diferentes factores que influyen en el proceso, tales como:

Calidad de agua

Las variaciones de concentración de materias en suspensión modifican, en primer lugar, la forma de sedimentación de las partículas (con caída libre o interferida), así como las propiedades de las partículas modifican la forma de depósito (sedimentación para partículas discretas y decantación para partículas floculentas) (Cánepa 2004).

Además, dentro del tanque se producen por efecto de las diferencias de densidad en la masa de agua llamadas corrientes de densidad y son ocasionadas por un cambio de temperatura (térmica) y/o por diferencias en la concentración de las partículas suspendidas en las distintas masas de agua (OPS 2005).

Al entrar agua más fría al sedimentador, la masa de agua se desplaza por el fondo de este, en cambio, con agua más caliente, se produce el fenómeno inverso (Figura 1).

En el caso de variar la concentración, se producen corrientes de densidad por diferencias en las distintas masas de agua, que suelen crear fuerzas más importantes que las térmicas (Cánepa, 2004).

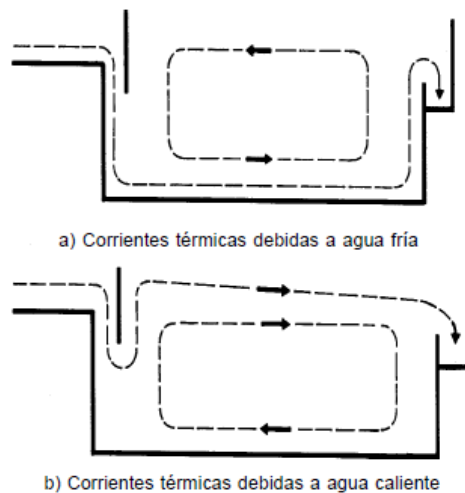


Figura 1. Corrientes térmicas.

Fuente: Cánepa 2004

Condiciones hidráulicas

Los criterios y parámetros hidráulicos de diseño tienen gran influencia en la eficiencia de los sedimentadores o decantadores, los cuales se detallan a continuación:

a) En la zona de sedimentación

En esta zona el número de Reynolds debe ser lo más bajo posible y el número de Froude más elevado para tender a un flujo laminar y estabilizar el flujo. En esta zona, las líneas de flujo no deben tener obstrucciones que alteren su trayectoria. La velocidad longitudinal del agua en los sedimentadores puede interferir con el proceso de sedimentación y puede causar el arrastre de sedimentos ya depositados. Las velocidades elevadas corresponden a números de Reynolds más altos, que caracterizan mayor turbulencia (Cánepa 2004 y Azevedo s.f.).

b) En la zona de entrada y salida

El trayecto del agua floculada hacia los sedimentadores debe ser el menos posible, de forma que evite la rotura o la disgregación de las partículas formadas y que impida la deposición de las partículas.

Los conductos o canales deben ser diseñados de manera que se asegure una buena distribución de agua para los diversos sedimentadores, evitando cortocircuitos y asegurando la mejor división de flujo (Figura 2). Los dispositivos de entrada y salida de los sedimentadores cuando son bien diseñados, colaboran en conjunto para impedir que algunos tanques reciban caudales considerablemente mayores (Azevedo s.f.).

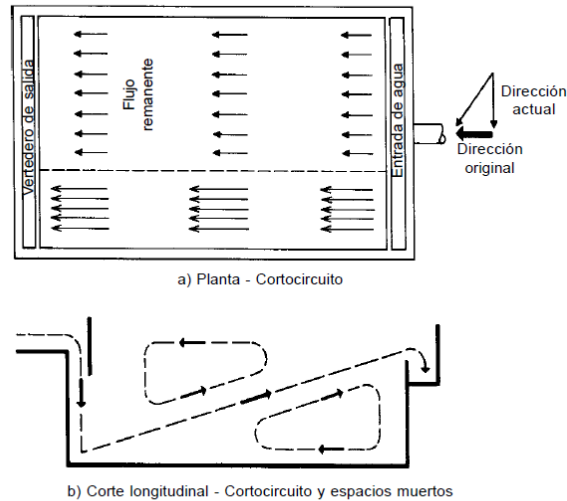


Figura 2. Corrientes cinéticas

Fuente: Cánepa 2004

Factores externos

Paradójicamente, los factores externos al proceso de sedimentación, prácticas operacionales y factores ambientales, son los que tienen más influencia en la eficiencia de un sedimentador.

Una buena o inadecuada coagulación y floculación ocasionan, respectivamente, altas o bajas eficiencias en los sedimentadores. Lo mismo sucede en la operación y el estado de la unidad, así como sobre los programas de mantenimiento existentes. A la vez, el viento, al soplar sobre la superficie de los sedimentadores, puede producir corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo y alterar el precario equilibrio de las masas de agua (Cánepa 2004).

Considerando los factores que influyen en la sedimentación, los tipos de sedimentación, así como las características propias del afluente a tratar; se recurre a estructuras diseñadas, según diferentes variables físicas, que permiten que el proceso de sedimentación se lleve a cabo, entre ellos se mencionan:

4.2.1.1 Sedimentadores rectangulares

La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas). Este tipo de sedimentación se denomina discreta, dado que las partículas no varían sus propiedades físicas a lo largo del desplazamiento hacia el fondo del sedimentador (Figura 3). Suelen ser equipos poco profundos, dado que, al menos teóricamente, este parámetro no influye en la eficacia de la separación, siendo el principal parámetro el área horizontal del mismo (Rodríguez 2006).

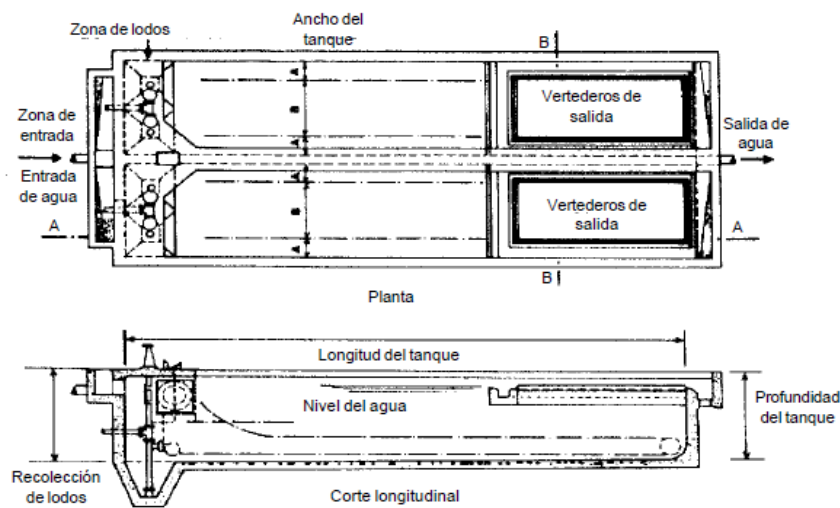


Figura 3. Sedimentador de forma rectangular.

Fuente: Cánepa 2004.

4.2.1.2 Sedimentadores circulares

Son más habituales. En ellos el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarse del centro del sedimentador (Figura 4). Esta forma de operar es adecuada cuando la sedimentación va acompañada de una floculación de las partículas, en las que el tamaño de flóculo aumenta al descender las partículas y, por lo tanto, aumenta su velocidad de sedimentación (Rodríguez 2006).

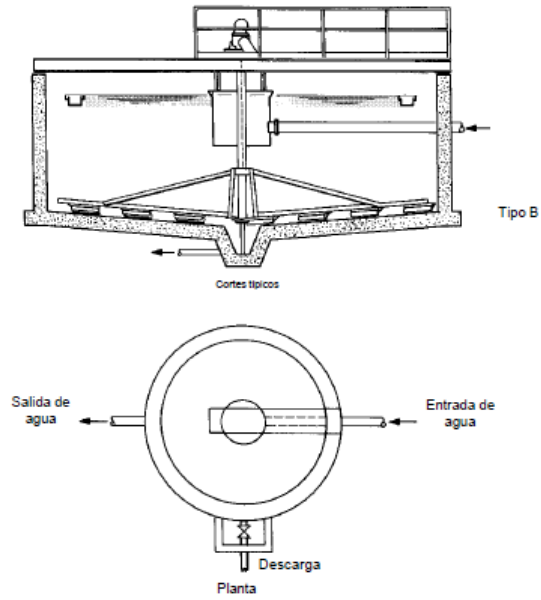


Figura 4. Sedimentador circular

Fuente: Cánepa 2004.

4.2.1.3 Sedimentadores laminares

Han surgido como alternativa a los sedimentadores poco profundos, al conseguirse una mayor área de sedimentación en el mismo espacio. Consisten en tanques de poca profundidad que contienen paquetes de placas (lamelas) o tubos inclinados respecto de la base, y por cuyo interior hace fluirse el agua de manera ascendente (Figura 5). En la superficie inferior se van acumulando las partículas, desplazándose de forma descendente y recogiendo en el fondo del sedimentador (Rodríguez 2006).

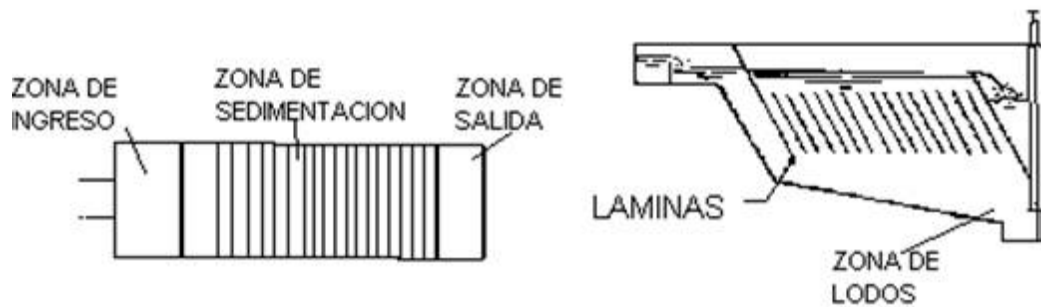


Figura 5. Sedimentadores laminares.
Fuente: OPS 2005

Además de los sistemas de sedimentación es importante contemplar criterios de diseño tales como:

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- El tiempo de retención será entre 2-6 horas.
- La carga superficial será entre los valores de 2-10 m³/m²/día.
- La profundidad del sedimentador será entre 1,5-2,5 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) estará entre los valores de 3-6.
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) estará entre los valores de 5-20.
- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.

- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- Debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
- La descarga de lodos debe ubicarse en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona (OPS, 2005).
- Debe efectuarse experimentalmente la determinación del volumen máximo que va a producirse.
- El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s.
- Debe guardarse la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura.

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

Ecuación 1

Siendo: L: largo

H: altura

V_H : Velocidad horizontal

V_S : velocidad de sedimentación

- La sección de la compuerta de la evacuación de lodos (A_2) debe mantener la relación. Donde t es el tiempo de vaciado.

$$A_2 = \frac{A_s * \sqrt{H}}{4850 * t}$$

Ecuación 2

Siendo: A_s : Área superficial

- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada.
- Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 o 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo (OPS, 2005).

Dimensionamiento

- Debe determinarse el área superficial de la unidad (A_s), que es el área superficial de la zona sedimentación, de acuerdo con la relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Ecuación 3

Siendo: V_s : Velocidad de sedimentación (m/s)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

- Determinar las dimensiones de largo L (m), ancho B (m) y altura h (m) de manera tal que se cumplan las relaciones o criterios mencionados anteriormente. Considerando el espaciamiento entre la entrada y la cortina o pared de distribución de flujo (OPS, 2005).
- Determinar la velocidad horizontal V_H (m/s) de la unidad mediante la ecuación, el cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Ecuación 4

- Determinar el tiempo de retención T_o (horas), mediante la relación:

$$T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$$

Ecuación 5

- Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño.

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Ecuación 6

Siendo: V_o : Velocidad en los orificios (m/s)

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

A_o : Área total de orificios (m^2)

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

Ecuación 7

Siendo: a_o : Área de cada orificio (m^2)

n : número de orificios

4.3 Legislación relacionada con aguas residuales especiales.

El artículo N° 50 de la Constitución Política de Costa Rica, que indica que “toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”, la Ley N° 7 554 Orgánica del Ambiente en sus artículos 59-61 y 64-67, indica la responsabilidad del Estado de prevenir o corregir la contaminación del ambiente y del agua, además debe regularse el manejo y aprovechamiento del recurso sin alterar la calidad, debe darse tratamiento a todo vertido antes de su descarga a un cuerpo de agua, el cual debe ser implementado por quien produce la contaminación y se deben implementar las medidas para minimizar la

contaminación de cuencas hidrográficas. Por su parte, el Decreto N° 33 601 sobre Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales establece los parámetros que toda agua residual debe cumplir previo al vertido a un cuerpo receptor, los cuales se detallan a continuación (Cuadros 3, 4 y 5):

Cuadro 3. Parámetros complementarios para análisis de aguas residuales tipo especial.

CIIU	Actividad	Parámetro
26950	Manufactura de artículos de concreto, cemento y yeso	Metales pesados

Fuente: Decreto N° 33601-Minae-S Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales

Cuadro 4. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor.

Parámetro	Límite
DBO_{5,20}	50 mg/L
DQO	150 mg/L
Sólidos suspendidos	50 mg/L
Grasas/aceites	30 mg/L
Potencial hidrógeno	5 a 9
Temperatura	15 °C ≤ T ≤ 40 °C
Sólidos sedimentables	1 ml/L
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Fuente: Decreto N° 33 601-Minae-S Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales

Cuadro 5. Límites máximos permisibles para los parámetros obligatorios complementarios de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor.

Parámetro	Límite Máximo	Parámetro	Límite Máximo
Materia flotante	Ausente	Fosfatos	25 mg/L
Mercurio	0,01 mg/L	Nitrógeno total	50 mg/L
Aluminio	5 mg/L	Níquel	1 mg/L
Arsénico	0,1 mg/L	Zinc	5 mg/L
Bario	5 mg/L	Plata	1 mg/L
Boro	3 mg/L	Selenio	0,05 mg/L
Cadmio	0,1 mg/L	Sulfitos	1 mg/L
Cloro residual	1 mg/L	Sulfuros	25 mg/L
Color (pureza)¹	15%	Fluoruros	10 mg/L
Cromo	1,5 mg/L	Hidrocarburos	10 mg/L
Cianuro total	1 mg/L	Sumatoria de los compuestos organofosforados	0,1 mg/L
Cianuro libre	0,1 mg/L	Sumatoria de los carbamatos	0,1 mg/L
Cianuro libre en el cuerpo receptor fuera del área de mezcla	0,005 mg/L	Sumatoria de los compuestos organoclorados	0,05 mg/L
Cianuro disociable en ácido débil	0,5 mg/L	-	-
Cobre	0,5 mg/L	-	-
Plomo	0,5 mg/L	-	-
Estaño	2 mg/L	-	-
Fenoles	1 mg/L	-	-

¹ De acuerdo al método espectrofotométrico para color del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters”. Fuente: Decreto N° 33601-MINAE-S Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales

Otro decreto relacionado con la investigación corresponde al Decreto N° 33 903 Minae –S. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, determinada por la utilización del valor de Índice Biológico BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica) como clasificador biológico de los cuerpos de agua (cuadro 6).

Cuadro 6. Clasificación de calidad de agua BMWP

Nivel de calidad	Índice Biológico BMWP	Color
Calidad excelente	Mayor a 120	AZUL
Calidad buena / No contaminadas de manera sensible	101-120	AZUL
Calidad regular / contaminación moderada	61-100	VERDE
Calidad mala / contaminadas	36-60	AMARILLO
Calidad mala / muy contaminadas	16-35	NARANJA
Calidad muy mala / extremadamente contaminadas	Menor a 15	ROJO

Fuente: Decreto N° 33 903 Minae –S. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Gaceta N° 178 del 17 de setiembre del 2007.

Un medio para alcanzar los parámetros de vertido y cumplir con la legislación nacional ambiental son las tecnologías limpias, las cuales se conocen como todos aquellos equipos, instalaciones o procesos que tengan como fin último la obtención de una mejora ambiental, en las áreas de agua, residuos, atmósfera, suelos, ruido, recursos y eficiencia energética (Musmanni, 2013).

Actualmente, para la implementación de tecnologías limpias se utilizan procesos de sedimentación, si bien es cierto tiene su origen desde tiempos remotos, se implementa, hoy en día, de manera más especializada, dependiendo del tipo de residuo por tratar. Estos procesos también van de la mano con la implementación de acciones ambientales, que compensen, mitiguen, prevengan, restauren y recuperen los impactos originados al medio ambiente.

4.4 Plantas de concreto

Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, 2004) en el libro Diseño y Control de Mezclas de Concreto, una planta de concreto es una instalación que tiene varias etapas las cuales se utilizan para producir diferentes tipos de concreto; así mismo, establece que el concreto es una mezcla de tres componentes: agua, agregados y cemento (Figura 6). El cemento y el agua, unen los agregados, normalmente arena y grava (triturada, piedra machucada y pedregón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento del cemento como consecuencia de la reacción química del cemento con el agua (PCA 2004).

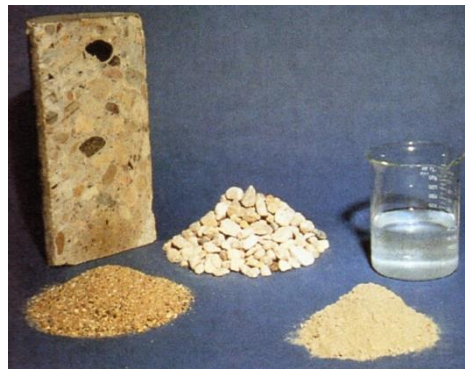


Figura 6. Componentes del concreto.

Fuente: PCA 2004.

Las siguientes etapas describen las etapas de una planta de concreto (Figura 7), según Asociación de Cemento Portland (PCA 2004):

- Entrega de agregados (A).
- Tolva de recibimiento de agregados (B).
- Almacenamiento de agregados (C).
- Estera transportadora (D).
- Almacenamiento de material cementante (E).
- Tolva de carga (F).

- Entrega del cemento (G).
- Mezcladora (H).
- Aditivos (I).
- Camión de concreto premezclado con material retornado (J).
- Agua reciclada (K).
- Agregados recuperados (L).
- Bomba (M).
- Almacenamiento de agua (N).
- Cargamento del concreto en el camión de concreto premezclado (O).
- Sala de control (P).

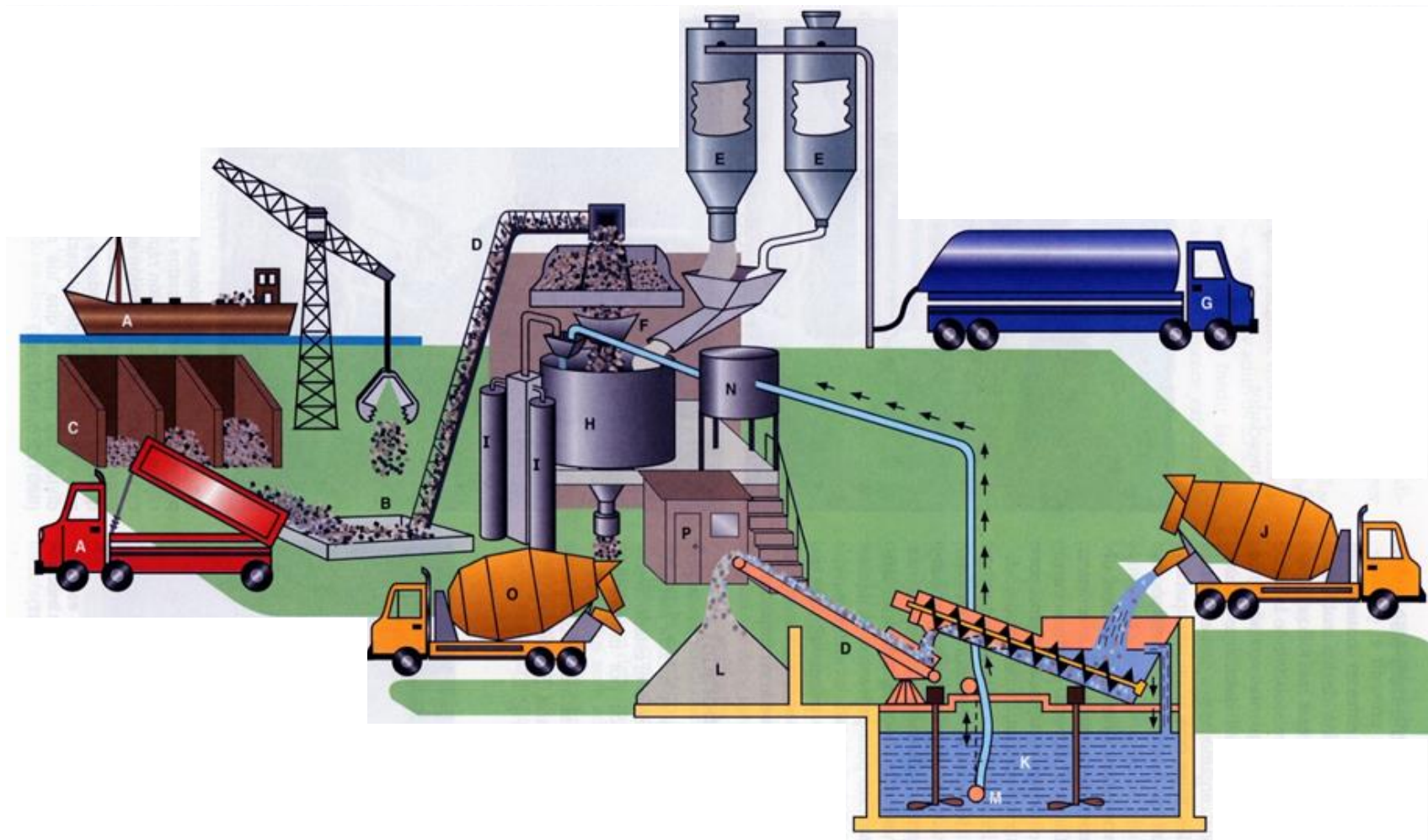


Figura 7. Etapas de la producción del concreto.
Fuente: PCA 2004.

5. Metodología

5.1 Tipo de investigación

En esta investigación se caracterizó el proceso productivo de las plantas de concreto y se diagnosticó la calidad de las aguas vertidas, además se realizó un estudio descriptivo, el cual consistió en describir fenómenos, situaciones, contextos y eventos surgidos en el proceso de producción del concreto en el momento de realizar la caracterización.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, características y los perfiles, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno por investigar (Hernández, 2006).

Uno de los objetivos de la investigación fue realizar una propuesta del diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso productivo del concreto. Para lo cual se requirió determinar la relación de las diferentes variables que intervienen (caudal de agua utilizada en el proceso productivo, frecuencia y cantidad de producción del concreto, calidad del agua residual, entre otros), por esto, el estudio además de descriptivo fue correlacional, ya que se determinó la relación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables. Para este caso fue necesario relacionar el caudal y calidad del agua generada en el proceso productivo, entre otras variables y por medio de esto se determinó el diseño para el tratamiento de las aguas.

5.2 Enfoque de la investigación

La primera parte de la investigación tuvo un enfoque cualitativo, ya que esta se basó en la recolección de datos con el fin de descubrir o afinar preguntas de investigación

en el proceso de interpretación (Hernández 2006), para esto se procedió a realizar una caracterización del proceso productivo de las plantas de concreto y un diagnóstico de la calidad de las aguas vertidas por el proceso de producción de concreto.

Además, en las otras fases de la investigación se implementó el “diseño cuantitativo no experimental”, el cual es un estudio en donde el investigador no tiene el control sobre la variable independiente, que es una de las características de las investigaciones experimentales y cuasiexperimentales, como tampoco conforma a los grupos del estudio. En estas investigaciones, la variable independiente ya ha ocurrido cuando el investigador hace el estudio (Briones 2002).

En la investigación se analizaron los sedimentadores de las plantas de concreto del P.H. Reventazón, según las condiciones naturales, sin alterar las variables que interfieren en el proceso de sedimentación; para evaluar su rendimiento actual y poder establecer el diseño del sistema ideal para el tratamiento de las aguas vertidas.

A su vez, el diseño cuantitativo no experimental fue transeccional, también llamado sincrónico, este se entiende como el diseño en el que se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Corresponden a fotografías instantáneas que se toman en un momento dado (Briones 2002).

5.3 Descripción general del sitio de estudio

La población de estudio se ubicó en Siquirres, Limón, Costa Rica, propiamente en el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, esta corresponde a los procesos de las plantas de concreto, en las cuales se realizaban las mezclas para la producción del concreto utilizado en las diferentes obras del proyecto.

En el proyecto existían 4 plantas en operación (Arbau 120, Stephen, CIFA y Pozuolli), y dos áreas de lavado de automezcladoras (lavadero de la planta Arbau y el Fogón) las cuales contaban con su respectivos sedimentadores para brindarle tratamiento a las aguas residuales. Las plantas Arbau 120, Stephen, Pozuolli y el lavadero de la planta Arbau entraron en operación en el 2013 y se deshabilitaron en mayo del 2014, el Fogón

inició en el 2013 y fue deshabilitado en el 2015, para el caso de la planta CIFA esta entró en operación en mayo del 2014 finalizando a inicios del 2016.

Para efectos de esta investigación se tomó como referencia cada uno de los procesos de las plantas Arbau 120, Pozuolli, así como los lavaderos de las automezcladoras (Figura 8), por lo anterior la muestra de estudio es no probabilística, en la cual la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra (Hernández 2006).

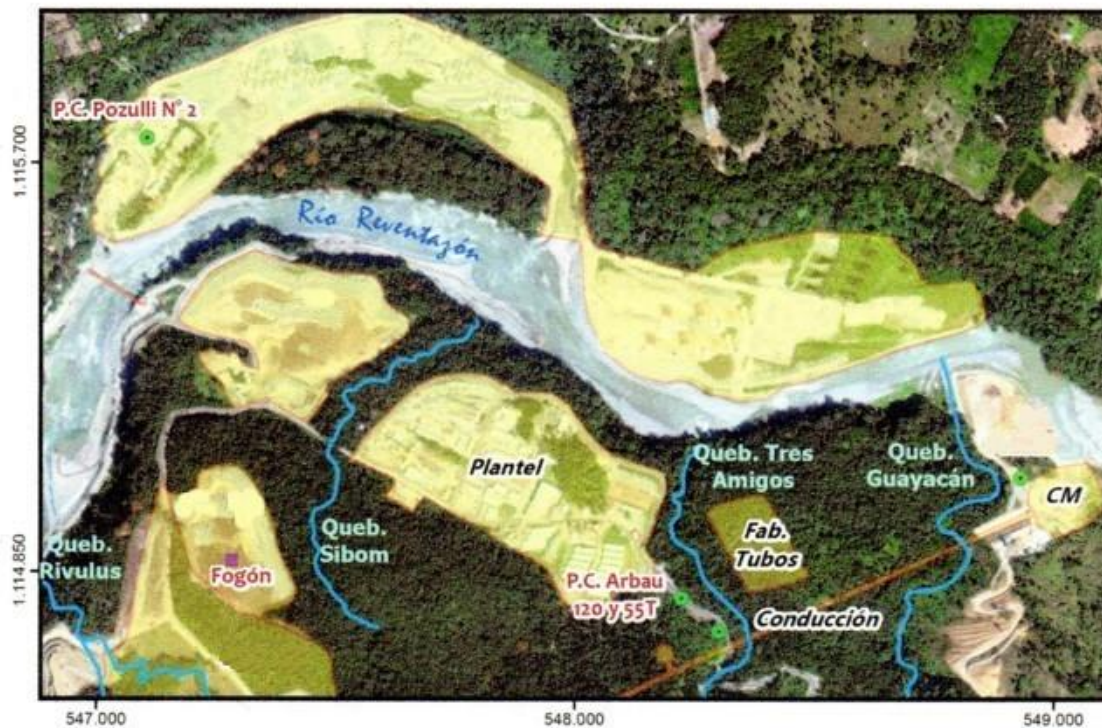


Figura 8. Ubicación de las plantas de concreto en el PHR.
Fuente: P.H. Reventazón 2013

5.4 Estrategia metodológica

Para lograr la estrategia metodológica, se plantearon tres fases que se detallan a continuación.

5.4.1 Fase 1: Caracterización del entorno biofísico y ambiental y el proceso productivo de las plantas de concreto.

Actividades para el cumplimiento de la primera fase:

- Elaboración del instrumento entrevista semiestructurada (Anexo 2) para conocer el proceso productivo del concreto, sistema de tratamiento implementado por el proyecto, entre otros temas.
- Se aplicó la entrevista semiestructurada a los expertos o encargados de los procesos de las plantas de concreto del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, los cuales fueron clave para la recopilación de la información; de manera que se aclararon conceptos, procesos de funcionamiento, entre otros. Al ser semiestructurada, esto permitió tener flexibilidad y apertura en las preguntas que se plantearon de manera que logró profundizarse en los temas de interés, tales como proceso productivo, tratamiento de las aguas residuales, frecuencia de producción.
- Inspecciones con los encargados de los procesos de plantas de concreto. Se realizaron, al menos, dos vistas de campo a las diferentes plantas de concreto, para realizar una descripción detallada de los procesos y subprocesos de elaboración de las plantas de mezclas de concreto. La observación fue libre (cualitativa), además se registraron datos cuantitativos del proceso productivo, así como cantidad de sedimentos y datos de monitoreos de las aguas residuales.
- Búsqueda de datos secundarios con el fin de sustentar los conceptos teóricos desarrollados en la investigación a partir del criterio y experiencia de otros investigadores en el tema.
- Caracterización por medio de datos secundarios del entorno biofísico cercano o alrededor de las plantas de concreto.

5.4.2 Fase 2: Diagnóstico de las aguas residuales especiales del proceso productivo de las plantas de concreto según su composición química y comportamiento de caudales.

Actividades para el cumplimiento de la segunda fase:

- Se definieron los puntos de medición de la salida y entrada de las aguas residuales al sedimentador, la cantidad de muestras y frecuencia de monitoreo.
- Se definieron los parámetros que debían analizarse de las muestras tomadas, los cuales establece el Decreto N° 33 601 sobre Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, además se seleccionó el laboratorio para realizar dicho análisis.
- Una vez analizadas las muestras de agua, se procedió con el análisis comparativo de los resultados del laboratorio con los límites que establece el Decreto N° 33 601 sobre Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

5.4.3 Fase 3: Diseño de una propuesta de un sistema de tratamiento, que incluya el manejo de los residuos generados y el costo del tratamiento.

Actividades para el cumplimiento de la tercera fase:

- Se utilizaron los datos obtenidos de los análisis de aguas residuales, y caracterización de cuerpos receptores, así como la aplicación de diferentes fórmulas para el cálculo de las dimensiones del sistema de tratamiento, tiempo de retención, entre otras variables.
- Búsqueda de diferentes tecnologías prediseñadas que se utilizan para la disminución de sólidos gruesos, para su posible reutilización.
- Análisis químico (absorción atómica) de los sedimentos generados por el sistema de tratamiento del proyecto, con el fin de determinar la presencia de metales pesados.
- Propuesta de una alternativa para el manejo y disposición final de los residuos generados.

- Determinación del costo aproximado del sistema de tratamiento por m³ de agua.
- Comparación de tres posibles escenarios de tratamiento: planta de concreto sin sistema de tratamiento, con tratamiento por parte de un tercero y con un sistema adecuado para el tratamiento de las aguas residuales especiales.
- Determinación de cuál de los tres escenarios es factible económicamente para ser implementado, por medio de un análisis de viabilidad considerando las variables técnica, económica y ambiental que permitan seleccionar la mejor tecnología.

5.5 Cronograma

El Proyecto de Graduación se desarrolló según las fases establecidas en la estrategia metodológica, iniciando en el 2013 con la elaboración del anteproyecto (Fase 1 y 2) y finalizando en el 2016, con el documento final (Fase3) (Anexo 1).

6. Presentación y análisis de resultados

6.1 Caracterización del contexto externo

El Proyecto Hidroeléctrico Reventazón se localiza en la Vertiente Caribe, en la cuenca media-baja del río Reventazón, aproximadamente 8 km al suroeste de la ciudad de Siquirres (38 km aguas abajo del sitio de restitución de la casa de máquinas de la Planta Hidroeléctrica Angostura) (ICE 2008).

El área del proyecto se ubica desde el punto de vista político-administrativo, en los distritos La Florida y Siquirres del cantón de Siquirres de la provincia de Limón, tiene una extensión de 11 km² y el área de influencia directa es de aproximadamente 28 km² (Figura 9).

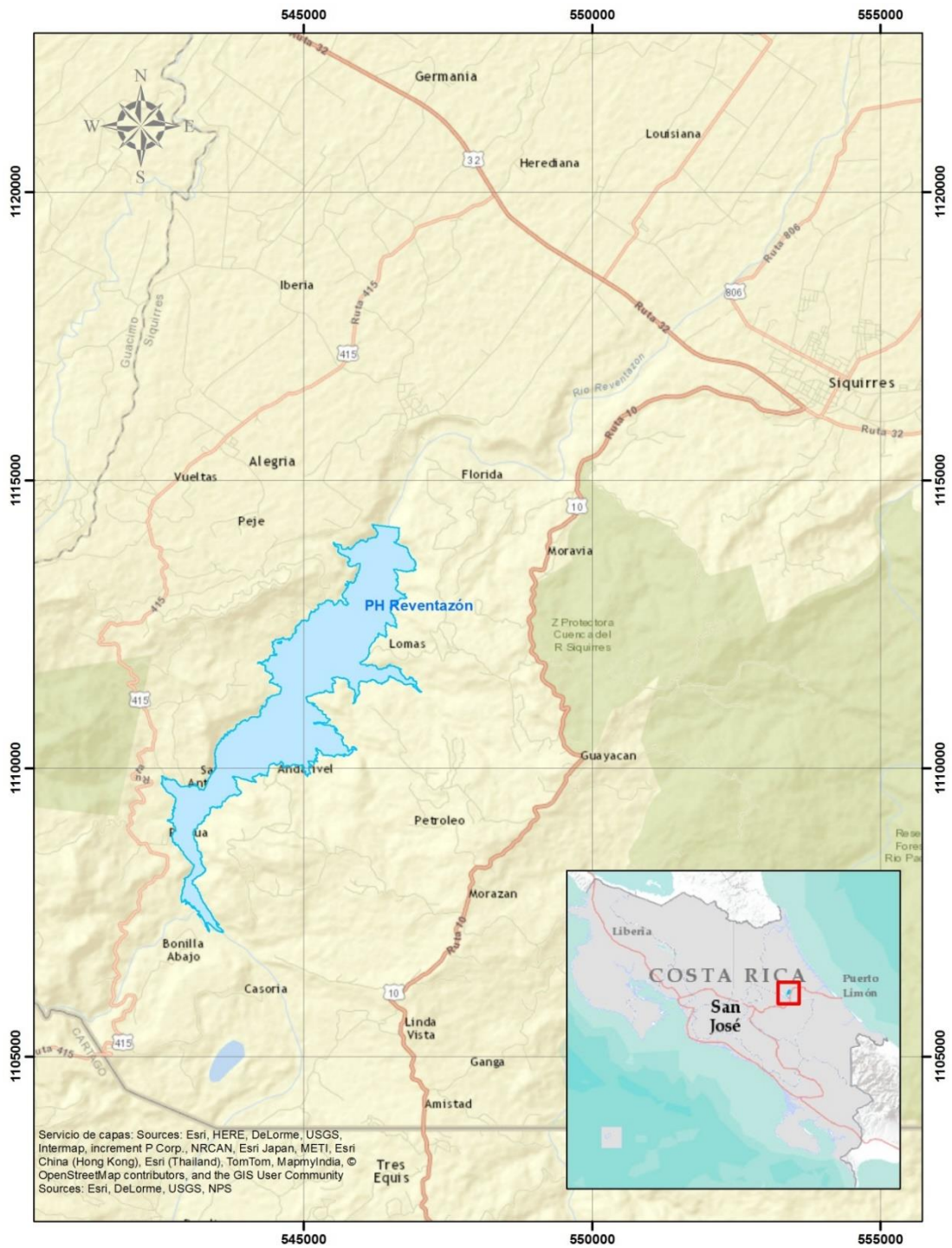


Figura 9. Ubicación geográfica del PHR.

Fuente: ICE, 2015

6.1.1 Variables ambientales que componen el contexto externo del P.H, Reventazón.

6.1.1.1 Suelo

En la zona se reconocen dos órdenes de suelos, esto de acuerdo con el Mapa de suelos de Costa Rica del Ministerio de Agricultura: los inceptisoles, que en términos de área superan las 2 000 hectáreas, ubicados en ambas márgenes del cauce del río Reventazón, son parte de las tierras que se inundarán por el embalse, así como los sitios donde se deposita material o escombreras, donde se ubican los caminos internos, la presa, el vertedor, se instalaron quebradores, patios de materiales e instalaciones temporales. En esta área se ubica la planta de concreto Pozzuolli, localizada en la margen izquierda del río Reventazón (ICE 2008).

Este orden de suelos se localiza en la mayoría de las zonas climáticas del país, principalmente donde hay lixiviación o lavado a lo largo del año, la cual es una característica propia del área de estudio (ICE 2008).

Además, según el Estudio de Impacto Ambiental del P.H. Reventazón (EsIA P.H.R), el otro orden de suelos presente en el área del proyecto son los ultisoles, con más de 500 hectáreas asociados a la construcción de la tubería forzada y la casa de máquinas.

Los ultisoles presentan serias limitaciones para la actividad agricultura o ganadería en pastoreo, pues son suelos frágiles, de poca fertilidad, asimismo también tienen limitaciones para usos urbanos por ser altamente arcillosos, son poco resistentes a la compresión. Por su alto contenido de arcilla se reduce la permeabilidad, su drenaje es excesivamente rápido por las pendientes y tienen una baja capacidad de absorción de agua (ICE 2008).

6.1.1.2. Hidrología

En el EsIA del P.H.R se indica que las unidades hidrogeológicas presentes en el área del proyecto presentan características hidrogeológicas variables, con fracturamiento y porosidad variable lo que induce permeabilidad y almacenamiento variables. Así mismo, es posible encontrar acuíferos confinados, acuíferos libres, colgados y unidades de pobre rendimiento considerados como acuitardos (ICE 2008).

La profundidad del nivel freático del agua subterránea en el área del proyecto es variable; sin embargo, hacia las márgenes del cauce del río Reventazón, así como en la zona baja de la finca La Plywood es posible encontrar el nivel freático muy cercano a la superficie.

Dos importantes afluentes del río Reventazón son la Quebrada Guayacán y la Quebrada Tres Amigos, ambos constituyen junto con dos quebraditas más pequeñas (Quebrada Sibon y Quebrada Rivulus) el primer aporte de caudal natural al caudal de compensación en el tramo crítico (tramo ubicado entre la presa y la restitución de las aguas al río luego de la casa de máquinas). Son de aguas limpias y el bosque ripario que las protege alberga una diversidad de anfibios (ICE 2008).

Para el caso de la Planta Arbau 120 y lavadero de automezcladoras, estos vierten las aguas residuales producto del proceso a la quebrada Tres Amigos, la cual tiene aproximadamente $1 \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal (época seca), con profundidad promedio de 35 cm, cauce de 8 metros de ancho confinado en un cañón de 12 metros; fondo de roca y canto rodado de diámetro promedio de 35 cm, pozas pequeñas separadas por pequeñas caídas, bosque ripario alterado. Aguas muy claras y limpias con importante recuento de especies de anfibios, reptiles, peces y entomología acuática.

En cuanto la Planta Pozoulli, esta vierte las aguas al río Reventazón (ICE 2008).

El Fogón, área destinada al lavado de automezcladoras, vierte sus aguas en la quebrada Sibon, dicha quebrada tiene poco caudal, con profundidad promedio de unos 30 cm, cauce no mayor de 2 metros de ancho que discurre sobre un fondo canto rodado de 30 cm de diámetro promedio. Pendiente de un 30%. Bosque ripario menos alterado en un

cañón angosto de 12 metros de profundidad, pozas separadas por caídas pequeñas, fuerte pendiente a la altura del camino. Aguas muy claras y limpias. Importante, porque se capturaron varias especies de anfibios en particular las ranas de vidrio (*Cochranella spp.*) y una especie de pez difícil de coleccionar por ser nocturno con el más alto rango de distribución altitudinal (*Rivulus isthmensis*) y una olomina (*Priapichtys annectens*) (ICE 2008).

Todas las aguas vertidas a las quebradas cuentan con sedimentadores previo al vertido al cuerpo de agua.

6.1.1.3 Clima

Como antes se indicó, el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón se localiza en la región media-baja de la cuenca del río Reventazón. Esta cuenca está influenciada por las condiciones climáticas que rigen en la vertiente del Caribe de Costa Rica. El clima de esta región se caracteriza por los pronunciados cambios espaciales y temporales de la precipitación (ICE 2008).

Durante el período de mayo a noviembre, la precipitación es predominantemente de tipo convectiva. Este tipo de precipitación se caracteriza por ser de alta intensidad, corta duración y muy localizada. Es importante mencionar que durante los meses de julio y agosto, por la intensificación del viento alisio, la precipitación es estratiforme con las mismas características que la que se presenta durante el período de diciembre a abril (ICE 2008).

En general puede afirmarse que la vertiente del Caribe de Costa Rica se caracteriza por no tener una época seca claramente definida, presentándose precipitaciones durante todo el año.

Por lo anterior, el clima es otra de las variables externas por considerar, ya que la precipitación es determinante para establecer las medidas por seguir en el tratamiento de las aguas residuales que generan las plantas de concreto.

6.1.1.4 Fauna acuática

Como se ha mencionado en apartados anteriores, la planta Pozzuolli vierte sus aguas residuales tratadas al río Reventazón, en el cual la fauna acuática más abundante son los peces junto con los camarones de río. Las pozas temporales que se forman en los brazos del río son de gran importancia para las especies pequeñas de peces, para los juveniles y para la reproducción de ranas y crustáceos como el camarón de río y los cangrejos (ICE 2008).

En la cuenca baja del río se reproducen gran cantidad de especies de agua dulce y marinos, por lo que, funcionalmente, es como un vivero del cual dependen estos dos sistemas acuáticos.

La Cuenca Media se caracteriza por tener rápidos y una fuerte corriente, esta condición se debe a la pendiente de la ladera de la montaña que el río debe recorrer. Entre los peces que presenta se encuentra la tilapia y carpas. Los dos afluentes de importancia que quedarán en conexión con la cuenca baja son la Quebrada Guayacán y la Quebrada Tres Amigos, ambas con una importante fauna acuática y que confluyen en lo que será el tramo crítico afectado por el caudal ambiental, de las dos quebradas la Planta Arbau 120 y el Lavadero de automezcladoras vierte sus aguas en la Quebrada Tres Amigos (ICE 2008).

Respecto de la cuenca alta, esta es la más alterada en cuanto al ambiente acuático, por la presencia de las dos represas Angostura y Cachí. La sola presencia de la presa separa permanentemente en dos secciones al río, situación que elimina la posibilidad natural de mantener un intercambio genético entre poblaciones de peces. El impacto es mayor en los peces que requieren migrar periódicamente a las zonas bajas y a los estuarios (ICE 2008).

6.2 Caracterización del contexto Interno

6.2.1 Caracterización del proyecto

El Proyecto Hidroeléctrico Reventazón se caracteriza por su gran compromiso ambiental y social. Para esto, cuenta con un Área de Gestión Ambiental, integrada por

profesionales en Ingeniería Forestal, Sociología, Biología, Arqueología, Gestión Ambiental, entre otros, quienes trabajan de manera integral para cumplir con los compromisos adquiridos producto de la Evaluación Ambiental presentada ante la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (Setena) en el año 2008.

A partir de esta evaluación se cuenta con un Plan de Gestión Ambiental (PGA) que integra los impactos generados por el proyecto y las medidas ambientales por implementar para prevenir, mitigar o compensar la afectación al medio ambiente.

Como parte de las actividades que realiza el Área de Gestión Ambiental para cumplir con las medidas ambientales establecidas en el PGA se encuentra:

- Rescate y reubicación de flora y fauna.
- Análisis físico químicos y biológicos de la calidad de las aguas.
- Reforestación de taludes y escombreras.
- Reuniones comunales para informar sobre las diferentes actividades constructivas del proyecto y la atención de los impactos generados.
- Programas de Educación Ambiental en las diferentes comunidades del área de influencia directa.
- Monitoreo de ruido en los diferentes puntos establecidos por el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA).
- Manejo de residuos sólidos y líquidos, por medio de un centro de acopio, compostera y planta de tratamiento.
- Atención de derrames en las obras y cuerpos de agua.
- Obras comunales de compensación.
- Entre otras.

Además, desde agosto del 2012, cada frente de obra debe elaborar un documento llamado Plan de Manejo Ambiental y Social (PMAS), en el cual se desarrollan las

actividades constructivas propias del frente de obra, los impactos ambientales asociados a la construcción y las medidas que el frente de obra debe implementar para enfrentar a los impactos generados. El PMAS fue elaborado por el Área de Construcción en conjunto con el Área de Gestión Ambiental del proyecto y, actualmente, está siendo implementado y supervisado por la Unidad de Supervisión Ambiental de Proyectos (USAP).

6.2.2 Impactos ambientales

Según el Plan de Gestión Ambiental producto del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto (ICE 2008), se señalan los siguientes impactos ambientales que son de interés para esta investigación:

Suelo

- Cambio en las características físicas, químicas y microbiológicas del perfil y/o polipedón por remoción, cobertura, lavado, inundación o pérdida de tierras por excavaciones, caminos y obras (embalse, escombreras, área vehicular y edificaciones temporales).
- Cambios en la tasa de erosión de tierras por remoción de la cobertura vegetal.
- Contaminación de las capas de tierra en obras y frentes de trabajo, por derrames de sustancias peligrosas utilizadas en las obras.

Aguas superficiales y subterráneas

- Reducción de caudal por el consumo de agua en las actividades constructivas del proyecto.
- Alteración de la calidad de las aguas por la contaminación de sustancias peligrosas utilizadas en las labores constructivas. Dicho impacto está directamente

relacionado con la investigación por desarrollar, ya que el objeto de estudio corresponde al tratamiento de las aguas residuales generadas por las plantas de concreto y como estas impactan la calidad del agua por medio de análisis en profundidad.

- Alteración al régimen hidrológico natural.
- Afectación a la estructura del acuífero; calidad y recarga de agua subterránea.

Cobertura vegetal

- Eliminación de bosque por construcción de obras principales, obras provisionales y accesos.
- Eliminación del bosque ripario de quebradas del tramo crítico, por varias obras principales y provisionales.
- Fragmentación de bosque por la presencia del embalse y demás obras.

Fauna acuática

- Afectación a especies amenazadas y en peligro.
- Reducción de la Fauna Acuática en el Tramo Crítico.
- Interrupción de paso de animales por obras como tubería de presión.
- Pérdida de hábitat por inundación de área de embalse y por construcción de obras.
- Interrupción permanente de movimiento migratorio de organismos acuáticos.

6.2.3 Caracterización del proceso¹

El proceso de interés para la presente investigación corresponde al de las plantas mezcladoras de concreto del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, el cual contaba con 6 plantas y dos lavaderos de automezcladoras.

Para efectos de esta investigación, se analizaron las plantas Pozzuolli, Arbau 120, el lavadero de automezcladoras y el fogón; esto con el fin de realizar un análisis comparativo de las cuatro plantas y determinar la que presentara mayor impacto en el vertido de aguas residuales.

Las plantas mezcladoras de concreto estaban compuestas cada una por (Figura 10): a) por 2 silos para almacenar el cemento el cual lo provee Holcim, b) tolva de agregados con 4 compartimientos para arena, piedra $\frac{3}{4}$, y piedra $\frac{1}{2}$, y con compuertas automáticas (Figura 11), c) casetilla de operación, en donde se controlaba los diseños de concreto por medio de un sistema computadorizado (Figura 12) con una cámara de vídeo (Figura 13) para visualizar la ubicación de la automezcladora en el área de despacho y para observar si se presentaban obstrucciones de las compuertas de la tolva de agregados, d) mezclador, e) banda transportadora de agregados, f) dosificador de agua y aditivo, g) despacho de concreto y h) sedimentador.

¹ Mata, J.C., 2013. Proceso de producción de las plantas de concreto (entrevista). Siquirres, C.R., Instituto Costarricense de Electricidad (Anexo 2).



Figura 10. Componentes de la Planta Mezcladora de Concreto Arbau 120, PHR.
 Fuente: P.H. Reventazón, 2013.



Figura 12. Tolva de agregados.

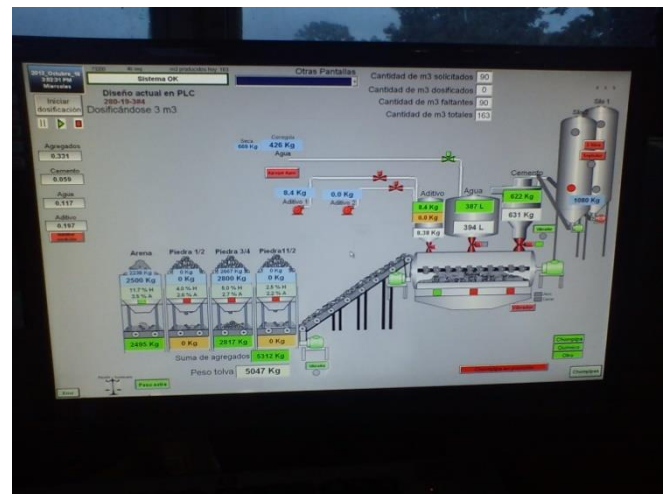


Figura 11. Sistema computarizado para la operación de la planta mezcladora de concreto Arbau.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

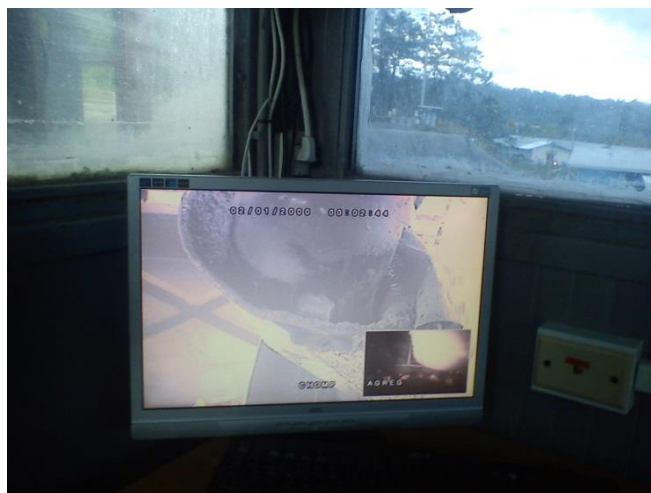


Figura 13. Pantalla de video de ubicación de automezcladora en área de despacho y tolva de agregados.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

El proceso productivo iniciaba con la solicitud de la programación de colocación de concreto bisemana que cada frente debía entregar a la coordinación de las plantas mezcladoras de concreto, el cual se solicitaba la semana antes de terminar la bisemana (Anexo 3).

Una vez obtenida la programación se procedió a realizar la asignación de producción a cada planta, según la cercanía con el frente de obra que hacía la solicitud. Para el caso de la Planta Arbau 120, se tenía asignado los frentes: casa de máquinas, vertedor, túnel de conducción, tubería forzada y tanque de oscilación. La Planta Pozuolli le brindaba servicio a la presa y las galerías.

El equipo de trabajo por planta estaba conformado por un encargado de planta, un ayudante, un especialista eléctrico, un mecánico, un inspector de costos y un supervisor de control de calidad. Para el despacho del concreto cada planta contaba con 5 automezcladoras, esto en el año 2013.

Cada tipo de concreto se trabajaba por medio de un diseño de mezcla en donde se establecían las cantidades de agregados, agua, aditivo y cemento por utilizar (Anexo 4). En total el proyecto ejecutó 22 diseños de mezclas, utilizado como concreto estructural o pobre.¹

Cada uno de los diseños se incorporaba en la máquina computadorizada que operaba la planta, una vez realizada la mezcla se despachaba, y se realizaban pruebas de control de calidad a las dos primeras automezcladoras, luego a la cuarta o quinta automezcladora para verificar la calidad del concreto; cuando salía la sexta automezcladora se tomaban muestras, pero esta vez para ser analizadas en el Laboratorio de Control de Calidad; dicho proceso se realizaba todos los días. ¹

Otro componente importante para la producción de las mezclas de concreto, era el aditivo, el cual tiene como objetivo reducir el consumo del agua para las mezclas y permite mantener el fluido del diseño. El proyecto utilizaba dos tipos de aditivo uno retardante (Polyhedd 789) (Figura 14), que permite trabajar más tiempo con el concreto y un aditivo fluidificante (Polyhedd 7530) (Figura 15) que permite el trabajo con el concreto por una hora al mantenerlo fluido. Además, se utilizaba fibra sintética para la elaboración de concreto lanzado utilizado para la estabilización de taludes, entre otros usos (Figura 16).

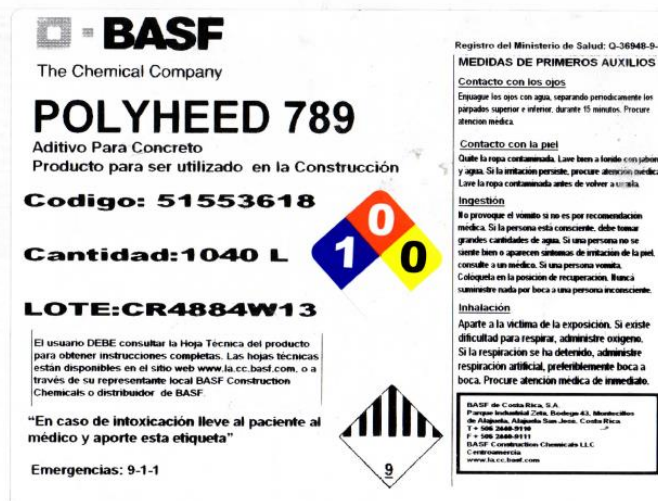


Figura 14. Etiqueta del aditivo Polyhedd 789.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

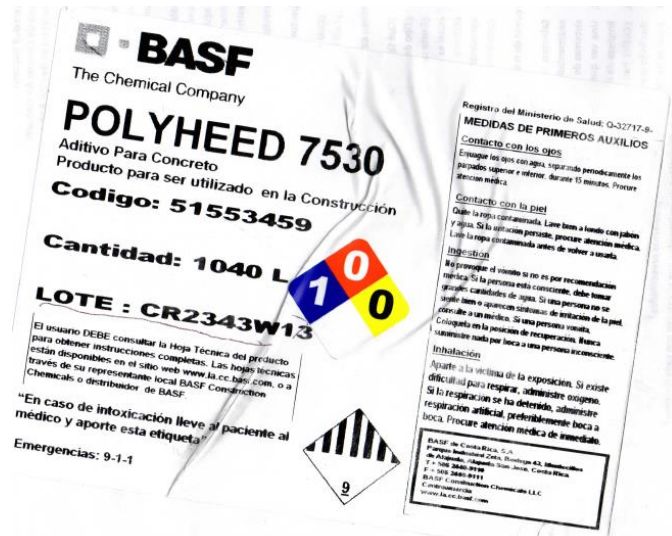


Figura 15. Etiqueta del aditivo Polyheed 7530.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.



Figura 16. Fibra sintética.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

La cantidad de producción no estaba establecida, todo dependía de la solicitud que cada frente hiciera por bisemana, por lo que era variable, al igual que la frecuencia de producción.

En el tema de lavado de las automezcladoras, cada una era lavada a la cuarta vez que se trasladaba concreto a las obras de trabajo o cuando se requería trasladar un tipo de

concreto diferente al que contenía la automezcladora. Se trataba de limitar el uso del agua para propiciar el ahorro, cada automezcladora tenía una capacidad de 6 m^3 , para el lavado se procuró llenar hasta 2 m^3 .

El proceso de tratamiento que se le brindaba a las aguas residuales fue por medio de sedimentadores, para los cuales no se consideró un diseño definido, sino que se fueron construyendo, según las necesidades que fue presentando cada planta. Posterior a su construcción se realizaron algunos diseños (Figuras 17, 18 y 19).

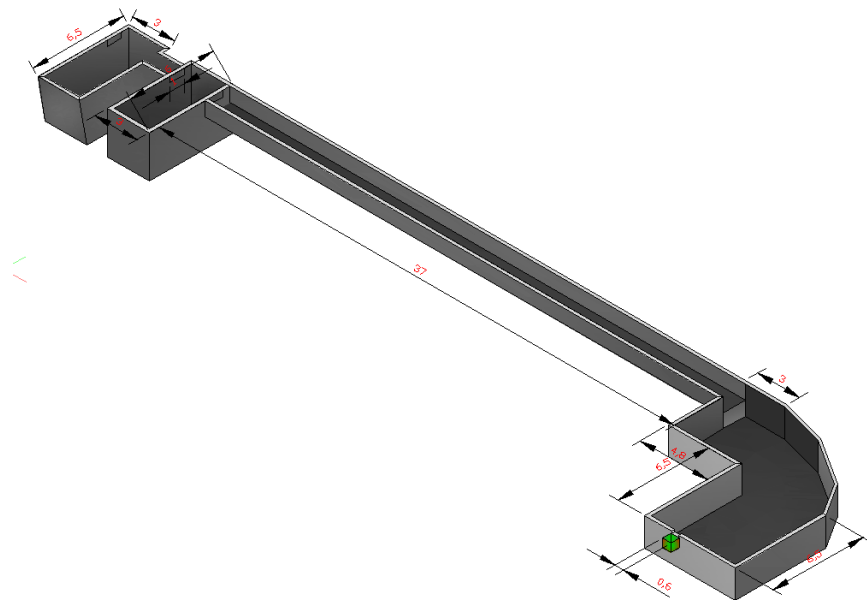


Figura 17. Sedimentador Planta de concreto Pozuolli.
(Unidades en metros)

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

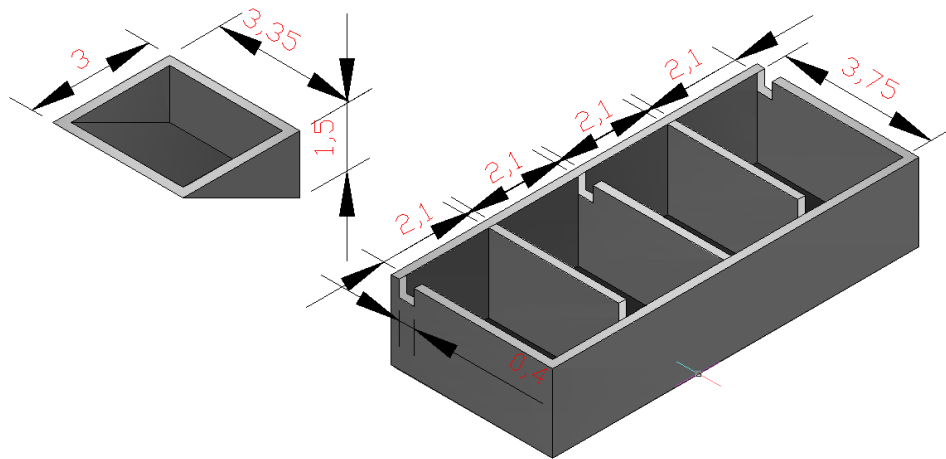


Figura 18. Sedimentador Planta de Concreto Arbau 120.
(Unidades en metros)

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

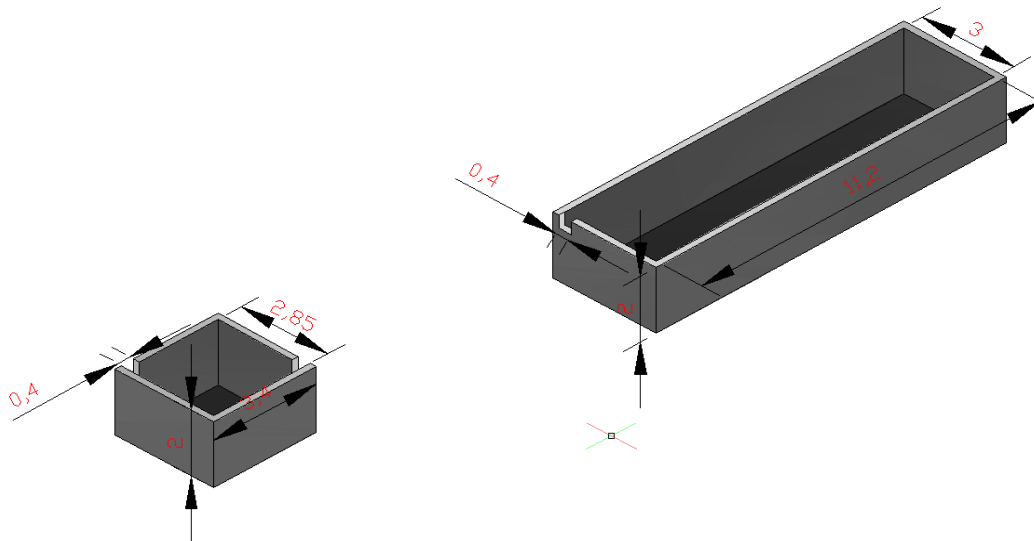


Figura 19. Sedimentador Lavadero de Automezcladoras.
(Unidades en metros)

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

Los sedimentadores se limpiaban cada tres o cuatro días cuando la producción era alta, si la producción no era constante no se realizaba limpieza sino hasta el final de la bisemana.

Para la limpieza se utilizó un “backhoe” (retroexcavadora) perteneciente a las plantas de concreto, cuando se requería también se utilizaba el “backhoe” del Área de Gestión Ambiental, además se utilizaron dos vagonetas de los quebradores (Figuras 20 y 21). El “backhoe” extraía el sedimento del sedimentador hasta el nivel donde llegaba la pala, el mismo era depositado en las vagonetas.

Los sedimentos que se extraían con cada limpieza eran contabilizados según cubicaje y cantidad de viajes realizados por cada vagoneta, todos los datos se registraron en una bitácora, los sedimentos se disponían en fosas construidas en la escombrera 15.

El costo de la limpieza contemplaba el uso de las vagonetas, las cuales tenían un costo de ₡21 000 por hora, el proceso de limpieza tardaba entre 7 u 8 horas por lo que en total se tenía un monto de ₡168 000, el costo del backhoe por día se contempló en la tarifa ICE del proyecto.



Figura 21. Sedimentador del lavadero de automezcladoras.



Figura 20. Proceso de limpieza del sedimentador.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

Los principales problemas que se presentaron en el sistema de sedimentación estaban relacionados con la falta de equipo para realizar la limpieza y la saturación de los sedimentadores debido a los altos niveles de producción y a la poca limpieza, por lo que debía detenerse el proceso de producción para proceder a limpiar.

Como toda actividad productiva genera impactos, la producción de mezclas de concreto no es excepción, donde el principal impacto es el aporte de sedimentos a cuerpos de agua por saturación de los sedimentadores, además del lavado de automezcladoras y otros vehículos que no corresponden a la actividad propiamente. Esto impactó a la quebrada Tres Amigos, Sibon y al río Reventazón, la primera fue impactada por la Planta Arbau 120 y el lavadero de automezcladoras, la segunda por el fogón y el río por la Planta Pozoulli.

Dicho impacto se evidenció en los monitoreos bimensuales de la calidad físico química del agua (según los parámetros establecidos en el Decreto N° 33 601 sobre Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales) de las quebradas afectadas, realizados por la Unidad de Supervisión de Proyectos (USAP); así como de la calidad biológica (establecida en el Decreto N° 33 903 Minae –S. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales), determinada por la utilización del valor de Índice Biológico BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica) como clasificador biológico de los cuerpos de agua.

Los muestreos se realizaron aguas arriba (sin impacto de proyecto) y aguas abajo (con impacto del proyecto), esto para comparar datos y evidenciar las variaciones en la calidad del agua.

Para el caso de la quebrada Sibon esta tenía afectación aguas arriba por las actividades agrícolas y domésticas de la zona, por lo que la afectación por parte del proyecto no alteró de manera significativa la calidad del agua, sin embargo dicha situación cambió a partir del 2014 cuando aumentó la producción de concreto generando alteración en la calidad del agua (Cuadro 7 y 8).

La quebrada Tres Amigos presentó un escenario distinto a la quebrada Sibon, ya que desde inicios de los monitoreos, en el 2013, la quebrada Tres Amigos se caracterizó por tener una calidad buena y excelente aguas arriba del proyecto. En el sector aguas abajo la calidad del

agua fue contaminada y muy contaminada, esto evidencia el impacto que sufrió la quebrada a raíz de la producción de concreto (Cuadro 7 y 8).

En el río Reventazón se presentó calidad del agua contaminada, muy contaminada y extremadamente contaminada tanto aguas arriba como aguas abajo, ya que el río sufre impactos al igual que la quebrada Sibon, por actividades productivas aguas arriba del proyecto, por lo que no se percibe el impacto directo del proyecto a la calidad del agua del río (Cuadro 7 y 8).

Cuadro 7 Resultados acumulados del BMWP de las quebradas: Sibón, Tres Amigos y Río Reventazón en el P.H.R, durante el año 2013 a diciembre 2014

Quebrada/ Mes/Año	Sibon arriba	Sibon abajo	Tres Amigos arriba	Tres Amigos abajo	Río Reventazón arriba	Río Reventazón abajo
Enero/ 2013	45	54	109	33		
Febrero/ 2013	52	74	136	40		
Marzo/ 2013	29	61	92	38		
Abril/ 2013	62	61	127	57		
Mayo/ 2013	34	21	102	42	104	67
Junio/ 2013	63	44	129	58	74	51
Agosto/ 2013	73	102	127	31	68	42
Octubre/ 2013	33	57	169	58	35	4
Diciembre/2013	122	89	140	47	5	7
Febrero/ 2014	99	136	149	30	43	54
Abril / 2014	69	128	69	8	75	38
Junio/ 2014	129	83	167	42	58	66
Agosto/ 2014	130	95	144	95	38	69
Octubre/ 2014	111	88	185	78	50	59
Diciembre/2014	133	103	136	78	50	27

Fuente: USAP, P.H. Reventazón: Enero, 2013 – Diciembre 2014

Cuadro 8 Clasificación de la calidad de agua BMWP

Nivel de calidad	Índice Biológico BMWP	Color
Calidad excelente	Mayor a 120	AZUL
Calidad buena / No contaminadas de manera sensible	101-120	AZUL
Calidad regular / contaminación moderada	61-100	VERDE
Calidad mala / contaminadas	36-60	AMARILLO
Calidad mala / muy contaminadas	16-35	NARANJA
Calidad muy mala / extremadamente contaminadas	Menor a 15	ROJO

Fuente: Decreto N° 33 903 Minae –S. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Gaceta N° 178 del 17 de setiembre del 2007.

6.2.3.1 Caracterización de las plantas mezcladoras de concreto.

A continuación se realiza una caracterización de las plantas de concreto Pozzuoli, Arbau 120, del Lavadero de automezcladoras y del Fogón, lo anterior por medio de la aplicación del instrumento de investigación de observación mixta (Anexo 5).

Planta Pozuoli

Se ubicaba en la margen izquierda del río Reventazón, contaba con un área de planta impermeabilizada, pero no contaba con separación de aguas pluviales (Figura 22). La cantidad de automezcladoras despachadas dependía de la producción del día.



Figura 22. Planta Pozuolli.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

Contaba con un sedimentador para tratar aguas residuales, todas las automezcladoras vertían el agua al inicio del sistema, la velocidad del sistema de sedimentación era mínima lo que favorecía el proceso. El desfogue final no ocasionaba erosión. (Figura 23).



Figura 23. Desfogue al río del sedimentador de la Planta Pozuolli.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

Para el mes de abril del año 2014, la Unidad de Supervisión Ambiental de Proyectos (USAP) realizó análisis de la calidad físico-química de las aguas residuales de la planta Pozzuolli, obteniendo los siguientes resultados (Cuadro 9):

Cuadro 9 Resultado de análisis de sólidos a la entrada y salida de los sistemas de sedimentación de la planta de concreto Pozzuolli en abril 2014.

Parámetro	Límite establecido en la Legislación Nacional*	Abril	
		Entrada	Salida
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1	42 ± 2,5	4 ± 0,25
Sólidos Suspendidos (mg/L)	50	506 ± 3	909 ± 3

Fuente: USAP 2014

Se puede observar que a la entrada y salida del sedimentador no se cumple con el parámetro de sólidos sedimentables y sólidos suspendidos (datos marcados en rojo), establecido en el *Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, el cual es de 1 ml/l para sólidos sedimentables y de 50 mg/l para sólidos suspendidos (Cuadro 9), lo anterior fue producto de la alta producción de la planta de concreto en el momento del muestreo. Por lo anterior, se puede observar que los sedimentadores implementados por el proyecto no eran eficientes, ya que la salida del vertido no cumplía con los límites de la legislación. Para solventar esta deficiencia se implementaron medidas como colocación de barreras y realizar la limpieza de los sedimentadores con mayor frecuencia.

Planta Arbau 120

Se ubicaba en la margen derecha del río Reventazón, con un área de planta impermeabilizada con separación de aguas pluviales (Figura 24), al igual que la planta Pozoulli la cantidad de automezcladoras despachadas dependía de la producción del día.



Figura 24. Planta Arbau 120.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

La quebrada impactada por la actividad correspondía a la Tres Amigos, para reducir este impacto contaba con tres sedimentadores para tratar aguas residuales y barreras para retención de sedimentos. Todas las automezcladoras vertían el agua al inicio del proceso, la velocidad del sistema de sedimentación era alta lo que dificultaba el proceso de sedimentación. El desfogue final no ocasionaba erosión (Figura 25).



Figura 25. Desfogue al río del sedimentador de la Planta Arbau 120.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

A continuación (Cuadro 10) se detallan los datos obtenidos producto del análisis físico-químico realizado por la USAP, del agua que ingresa y sale de los sedimentadores de la planta Arbau 120; se contemplaron las mediciones realizadas desde agosto del 2013 hasta abril del 2014.

Cuadro 10 Resultados de análisis de sólidos a la entrada y salida de los sistemas de sedimentación de la planta de concreto Arbau 120 en agosto, octubre, diciembre del 2013 y febrero, abril del 2014.

Parámetro	Límite establecido en la Legislación Nacional*	Agosto 2013		Octubre 2013		Diciembre 2013		Febrero 2014		Abril 2014	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1	18 ± 2,5	6 ± 0,25	5 ± 0,25	2 ± 2,5	25 ± 0,50	2 ± 0,25	18 ± 2,5	0,50 ± 0,05	11 ± 0,50	<0,10
Sólidos Suspendidos (mg/L)	50	1259 ± 3	827 ± 3	1033 ± 3	540 ± 3	254 3± 3	98 ± 3	505 ± 3	112 ± 3	331 ± 3	118 ± 3

Fuente: USAP 2013-2014

Según el *Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, solo en los meses de febrero y abril del 2014, se cumplió con el límite establecido para sólidos sedimentables (1ml/l), lo anterior fue debido a que la planta redujo su producción para dichos meses, lo que favoreció la disminución de los sólidos sedimentables, contrario a lo determinado para sólidos suspendidos (50 mg/l), el cual sobrepasó el valor en todos los meses monitoreados, debido a que los sedimentadores lograron reducir en mayor medida la cantidad de sólidos sedimentables en comparación con los sólidos suspendidos. Para minimizar este impacto, el proyecto realizó limpieza de la quebrada impactada de manera periódica, además se realizó la reubicación del punto de vertido final, para que las aguas pasaran por mayor cantidad de sedimentadores y barreras hasta ser vertidas en el mismo río pero aguas abajo del punto inicial.

Lavadero de automezcladoras

El lavadero se ubicaba cerca de la Planta Arbau 120, en la margen derecha del río Reventazón e impactaba a la quebrada Tres Amigos. El área de planta se encontraba impermeabilizada y con separación de las aguas pluviales (Figura 26).



Figura 26. Lavadero de Automezcladora.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

El agua era vertida al inicio del sistema de sedimentación, aunque la velocidad del agua era alta su desfogue no ocasionaba erosión. Pudo observarse el proceso de limpieza del sedimentador, en el cual los sedimentos extraídos eran escurridos un poco con la pala del backhoe para luego ser depositados en la vagoneta. El desfogue del sedimentador tenía una velocidad muy alta (Figura 27).



Figura 27. Desfogue al río del sedimentador del Lavadero de Automezcladora.

Fuente: P.H. Reventazón 2013.

A partir de los análisis físico-químicos realizados por la USAP, se obtuvo los siguientes resultados del agua que ingresaba y salía de los sedimentadores del lavadero de automezcladoras realizados durante los meses de agosto a diciembre del 2013.

El único mes que cumplió con el parámetro de sólidos sedimentables y suspendidos a la salida de los sedimentadores fue octubre debido al aumento de precipitaciones, en los demás meses se incumple alguno de los parámetros (Cuadro 11).

El lavadero presentaba una menor cantidad de sólidos sedimentables y suspendidos en comparación con las plantas, debido a que el sedimentador tenía un mayor recorrido para el agua lo que favorecía la sedimentación de los sólidos sedimentables. Para el caso de los sólidos suspendidos, la cantidad era menor debido a que el agua que se vertía producto del lavado de automezcladoras tenía una concentración menor de concreto.

Cuadro 11. Resultados de análisis de sólidos a la entrada y salida de los sedimentadores del Lavadero de automezcladoras durante los meses de agosto, octubre y diciembre del 2013.

Parámetro	Límite establecido en la Legislación Nacional	Agosto 2013		Octubre 2013		Diciembre 2013	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1	<0,10	1,50 ± 0.25	<0,10	<0,10	8 ± 0,25	<0,10
Sólidos Suspendidos (mg/L)	50	155 ± 3	136 ± 3	28 ± 3	19 ± 3	69 ± 3	97 ± 3

Fuente: USAP 2013

Fogón

Se ubicaba en la margen derecha de río Reventazón, contaba con un área impermeabilizada con piedra (Figura 28). El Fogón era utilizado para el lavado de las automezcladoras, en dicho sector se contaba con una tubería para el llenado de la automezcladora hasta 2 m³ de su capacidad, se mezclaba dentro de la automezcladora el agua agregada para separar el concreto de las paredes, luego se realizaba el vertido en la entrada del sedimentador.

Para agosto del 2014, el Fogón contaba con dos piletas de sedimentación, una al inicio del sistema y otra a la mitad del mismo.



Figura 28. Fogón

Fuente: P.H. Reventazón 2015.

Las aguas eran canalizadas, por medio de una cuneta con barreras, hasta la quebrada Sibon, la cual fue una de las quebradas más afectadas a raíz de la adherencia del concreto a las rocas.

Con el fin de reducir dicha afectación, para finales de 2014 se canalizó el agua por medio de una tubería hasta un sedimentador que desfogaba en el río Reventazón, no existía separación en la canalización de aguas pluviales y residuales (Figura 29).



Figura 29. Sedimentadores del Fogón.

Fuente: P.H. Reventazón 2015.

Según los análisis físico-químicos de las aguas residuales realizados por la USAP (Cuadro 12), en el mes de octubre 2013, agosto, octubre y diciembre del 2014, no se cumplió con el límite establecido para los sólidos sedimentables, lo que denota que los sedimentadores no brindaron un tratamiento eficiente.

En el caso de los sólidos suspendidos solo en el mes de octubre del 2014 se cumplió con el límite establecido en el *Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, dicha afectación fue disminuida con la limpieza de la quebrada afectada.

Cuadro 12. Resultados de análisis de sólidos a la entrada y salida de los sistemas de sedimentación del Fogón, durante los meses de agosto, octubre del 2013 y junio, agosto, octubre, diciembre del 2014.

Parámetro	Límite establecido en la Legislación Nacional*	Agosto 2013		Octubre 2013		Junio 2014		Agosto 2014		Octubre 2014		Diciembre 2014	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1	6 ± 0,25	<0,10	22 ± 2,5	7 ± 0,25	10 ± 0,25	<0,10	8 ± 0,25	4.50 ± 0,25	1,00 ± 0,25	1.50 ± 0,25	60 ± 0,50	6 ± 0,25
Sólidos Suspendidos (mg/L)	50	1284 ± 3	32 ± 3	502 ± 3	136 ± 3	679 ± 3	25 ± 3	244 ± 3	137 ± 3	27 ± 3	23 ± 3	3710 ± 3	145 ± 3

Fuente: USAP 2013- 2014

Dada la cantidad de parámetros del fogón que incumplieron la legislación y a la afectación sufrida por la quebrada Sibon (Cuadro 7), se realizó un muestreo con un laboratorio externo (Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional), con el fin de contar con otra fuente de análisis físico-químicos de aguas residuales y ampliar los parámetros a monitorear (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis físico-químico de las aguas residuales del Fogón del PHR, realizado el 13 de agosto del 2014.

Parámetro	Límite establecido en la Legislación Nacional*	Fogón entrada	Fogón salida
pH	5 a 9	11,87 ± 0,05	11,28 ± 0,05
Temperatura (°C)	15 ≤ T ≤ 40	30,4	34,7
Turbidez	-	146	70
DQO (mg/L)	150	<27	<27
DBO (mg/L)	50	24 ± 8	17 ± 7
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	50	186,5 ± 0,9	138,3 ± 0,9
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1	11,0 ± 0,6	2,0 ± 0,3
Grasas y aceites (mg/L)	30	14 ± 4	nd
SAAM (mg/L)	5	< 0,2	0,5 ± 0,2
Aluminio (mg/L)	5	0,428 0 ± 0,052 0	0,376 0 ± 0,052 0
Zinc (mg/L)	5	nd	nd
Plomo (mg/L)	0,5	0,007 0 ± 0,004 0	0,008 0 ± 0,004 0
Níquel (mg/L)	1	0,026 0 ± 0,004 0	0,016 0 ± 0,004 0
Cadmio (mg/L)	0,1	nd	nd
Arsénico (mg/L)	0,1	nd	nd
Cromo (mg/L)	1,5	0,018 0 ± 0,003 0	0,017 0 ± 0,003 0
Plata (mg/L)	1	nd	nd
Mercurio (mg/L)	0,01	0,000 4 ± 0,0000 2	<0,0002 5

Fuente: Lab. de Análisis Ambiental UNA 2014.

Según los resultados obtenidos los parámetros que incumplieron los límites son el pH, el cual se caracteriza por su basicidad debido al concreto presente en el agua, además de los sólidos suspendidos y sedimentables.

Estos dos últimos parámetros concuerdan con los realizados por la USAP, lo que indica que el sedimentador implementado no logró retener la cantidad de sólidos para cumplir con los límites de vertido. Esto se debe a que los sedimentadores construidos no fueron diseñados según el caudal que se generaría tras la producción del concreto ni a la concentración de sólidos presente en el agua residual.

Los parámetros de grasas y aceites no se percibieron en el agua y las sustancias activas al azul de metileno y metales pesados cumplieron con el límite que establece la legislación.

En los apartados anteriores se ha realizado una caracterización de las aguas residuales tratadas por medio de los sedimentadores habilitados en las plantas de concreto, pero no solo el agua es un residuo de la producción de concreto también debe considerarse los sedimentos residuales.

Estos sedimentos eran retirados de los sedimentadores cada bisemana, se llevaba un registro de los sedimentos extraídos y se depositaban en la escombrera 15, en dicha escombrera se realizaron fosas de 15 m de largo por 13 m de ancho, con una profundidad de 5 m en la parte trasera de la fosa y 3m en la parte frontal (Figura 30). Una vez que la fosa estaba llena se cubría con material de la escombrera. También, se construía fosa sobre fosa, una vez que el sedimento de concreto estuviera seco.



Figura 30. Fosa de sedimentación escombrera 15.

Fuente: P.H. Reventazón 2015.

Los sedimentos depositados en la escombrera fueron analizados por el laboratorio AQUYLASA, (anexo 6) para conocer la presencia de metales pesados donde el metal que se presenta en mayor cantidad corresponde al Magnesio con 219 ± 3 mg/kg y el menor valor corresponde al Mercurio con menos de 0,02 mg/kg (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de metales pesados en sedimentos de la escombreras 15.

Parámetro analizado	Valor reportado
Aluminio %m/m	0,21±0,06
Plomo, mg/kg	9,00 ±0,05
Mercurio, mg/kg	< 0,02
Cromo, mg/Kg	14±2
Plata, mg/kg	2,00±0,05
Níquel, mg/kg	18,5±0,5
Cadmio, mg/kg	< 2
Zinc, mg/kg	12,1±0,1
Magnesio, mg/kg	219±3
Arsénico, mg/kg	< 0,05

Fuente: AQUYLASA, 2014

Si bien es cierto a nivel nacional no existe legislación que regule los límites de metales pesados en sedimentos de concreto, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) reafirma que las aguas de concreto y por ende sus componentes sólidos (sedimentos) se consideran una suspensión que contiene metales tóxicos, además es cáustico, corrosivo y tiene un pH cercano a 12, llegando a ser comparable con el pH de un limpiador de drenajes, el cual es de 13,5 (EPA 2012).

Estas características cáusticas pueden dañar los ojos y branquias de los peces e interferir en la reproducción. Además los rangos seguros de pH para el desarrollo de la vida acuática están entre 6,5 y 9 en agua dulce y entre 6,5 y 8,5 en agua salada, parámetro que se puede ver impactado por el vertido de sedimentos de concreto (EPA 2012).

A partir del diagnóstico realizado se pudo observar la deficiencia que presentaban los sedimentadores en cuanto al diseño, conformación y mantenimiento, situación que se hizo evidente por medio de los análisis realizados a las aguas, donde la mayor parte de los muestreos no cumplen con el Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, además la determinación de metales pesados y sus posibles impactos en los cuerpos de agua.

A continuación se presenta un cuadro resumen de las debilidades y fortalezas de los sedimentadores de las plantas Arbau 120 y Pouzolli, Lavadero y Fogón, determinadas por medio del diagnóstico realizado.

Los sedimentadores analizados presentaron debilidades tales como no contar con diseños planteados previo a la construcción, se presentaron problemas de saturación de sedimentos y la mayoría realizaban el vertido de aguas residuales en cuerpos de agua con poca capacidad de dilución (quebradas), generando un mayor impacto, además no se cumplía con los límites que establece la Ley de vertido y reuso de aguas residuales.

Dentro de las fortalezas se pudo identificar la existencia de áreas impermeabilizadas, desfogue sin erosión debido a una reducción de la velocidad del agua en el sedimentador y a la restauración de cuerpos de agua mayormente impactados. (Cuadro 15).

Cuadro 15. Debilidades y fortalezas de los sedimentadores utilizados en el PHR en las plantas Arbau 120, Pouzolli , Lavadero de automezcladora y Fogón.

Aspecto	Planta Arbau 120		Planta Pouzolli		Lavadero		Fogón	
	Debilidad	Fortaleza	Debilidad	Fortaleza	Debilidad	Fortaleza	Debilidad	Fortaleza
Existencia de diseños de sedimentadores previo a la construcción de la planta	X	-	X	-	X	-	X	-
Área impermeabilizada	-	X	-	X	-	X	-	X
Baja velocidad de sedimentación	X	-	-	X	X	-	-	X
Saturación de barreras por el uso de fibra sintética	X	-	X	-	X	-	X	-
Desfogue no genera erosión	-	X	-	X	-	X	-	X
Canalización de aguas pluviales separada de las aguas residuales	-	X	X	-	-	X	X	-
Vertido a pequeños cuerpos de agua con poca capacidad de disolución	X	-	-	-	X	-	X	-
Vertido a cuerpos de agua mayores con alta capacidad de disolución	-	-	-	X	-	-	-	-
Cumplimiento de parámetros de la Ley de vertido y reuso de aguas residuales	X	-	X	-	X	-	X	-
Restauración de cuerpos de agua impactados	-	X	-	X	-	X	-	X

Elaboración propia 2015.

6.3 Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales especiales de plantas de concreto

A raíz de las debilidades identificadas en los sedimentadores de las plantas de concreto y lavaderos de automezcladoras, es que se plantea la siguiente propuesta, para crear un sistema de tratamiento de aguas residuales, desde su diseño, conformación y mantenimiento, que permita cumplir con los parámetros del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, promueva la reutilización de aguas residuales y sedimentos, además sea una herramienta aplicable a los proyectos constructivos del ICE en la conformación de sistemas de tratamiento de aguas residuales especiales de las plantas de concreto.

6.3.1 Descripción del sistema de tratamiento

6.3.1.1 Sedimentación

El sistema de tratamiento de las aguas residuales especiales, consiste en un proceso de sedimentación de las partículas sedimentables presentes en las aguas residuales de las plantas de concreto, básicamente conformadas por arenas y gravas (PCA 2004).

El agua por tratar proviene de la limpieza del área de planta (derrames de concreto) y del lavado de las automezcladoras, la cual será canalizada hasta las dos piletas de sedimentación, las cuales se ubicarán en secuencia, de manera que el agua realice un recorrido que permita la sedimentación de las partículas (Figura 31).

6.3.1.2 Recirculación de aguas

Conectado a la última fosa se encontrará un tanque o especie de embalse (esto se definirá según la magnitud de producción de la planta) para el almacenamiento del agua que será recirculada en el proceso o en el lavado de las automezcladoras, por lo que aledaño

a este tanque se ubicará el área de lavado de automezcladoras, para canalizar el agua hasta el sistema de lavado.

El uso del agua será restringido, contando con un periodo determinado para el llenado del equipo, de manera que se asegure el uso racional del recurso. Para lograrlo se contará con una llave de cierre automatizado.

Para poder recircular el agua en el proceso, se deben realizar análisis del agua con el fin de determinar si la misma aplica para su reutilización, por medio de un laboratorio certificado. La decisión de uso o no uso del agua la tomará el área de Control de Calidad del proyecto, para lo cual se pueden utilizar criterios como la norma INTE 06-03-2009: Especificaciones para el agua de mezcla utilizada en la fabricación de concreto de cemento hidráulico.

Es importante considerar que a pesar de que el agua aceptable para las mezclas de concreto es potable, existen aguas inaceptables para beber que son satisfactorias para fabricar concretos y permiten alcanzar la resistencia a compresión requerida; a menos que dichas aguas presenten muchas impurezas e influyan desfavorablemente en el proceso de endurecimiento y fraguado.

A continuación se presenta el diseño del sistema de tratamiento, el cual incluye la etapa de recirculación del agua para ser aprovechada nuevamente en la preparación de mezclas de concreto que no requieren altos índices de calidad o en el lavado de la planta de concreto y automezcladoras, además se incluye un área para el almacenamiento temporal de sedimentos, los cuales pueden ser reutilizados en caminos o en obras de bajos requerimientos de calidad (Figura 31).

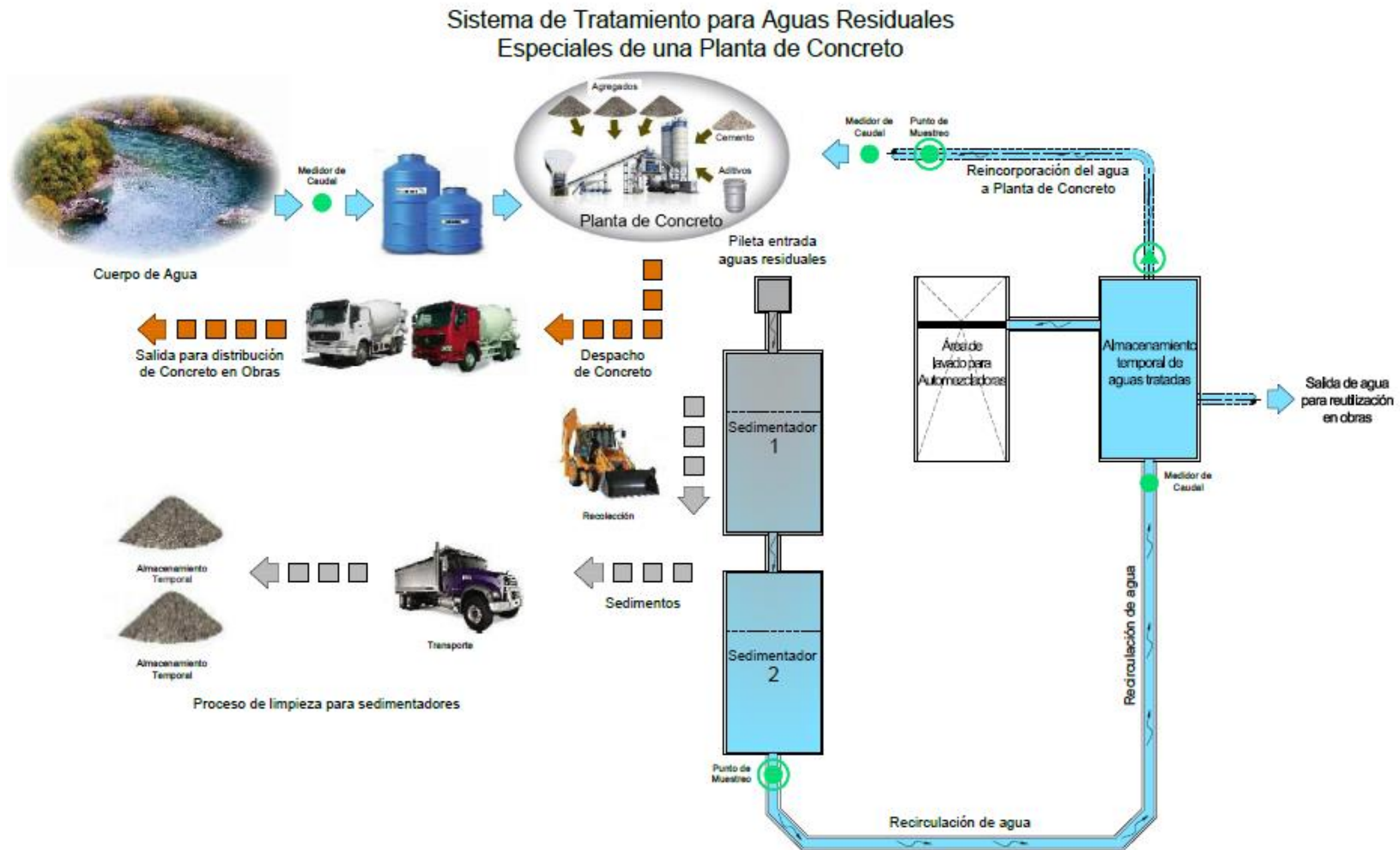


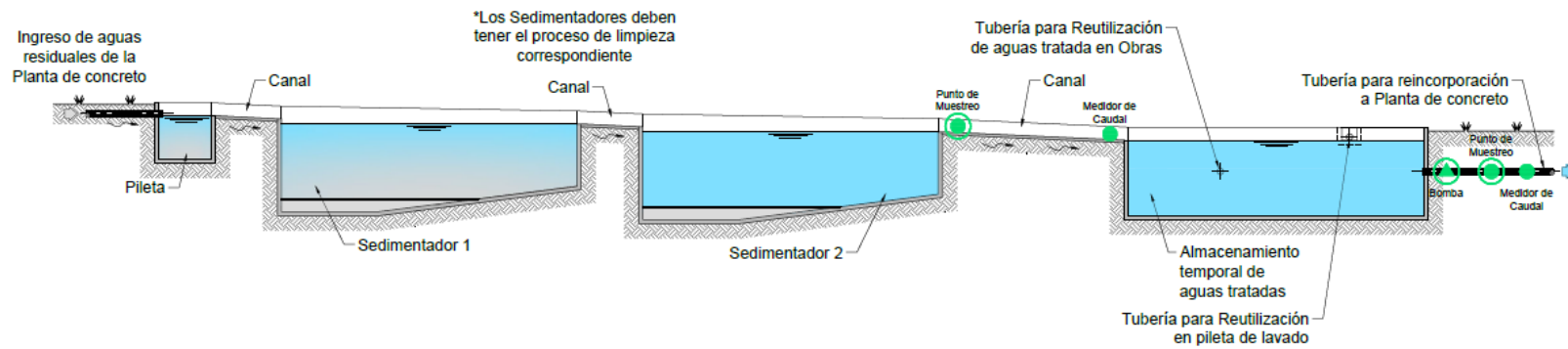
Figura 31. Diseño sistema de tratamiento de aguas residuales especiales, recirculación de agua, lavado de automezcladoras y almacenamiento temporal de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia 2015.

También se presenta el perfil del sistema de tratamiento en el cual se observa la pileta donde ingresan las aguas residuales, la cual es canalizada hasta los dos sedimentadores, posterior a esto se habilita un punto de monitoreo para determinar las características del agua tratada por los sedimentadores.

Esta agua es canalizada al tanque de almacenamiento temporal de aguas residuales donde se ubicará un medidor de caudal para determinar la cantidad de agua que ingresa al tanque, a partir de este tanque se distribuirá agua para el lavado de automezcladoras y para reincorporar en el proceso de producción de concreto, en este punto se habilitará un punto de muestreo y un medidor de caudal (Figura 32).

Perfil del Sistema de Tratamiento para Aguas Residuales Especiales de una Planta de Concreto



Sección típica de Sedimentador

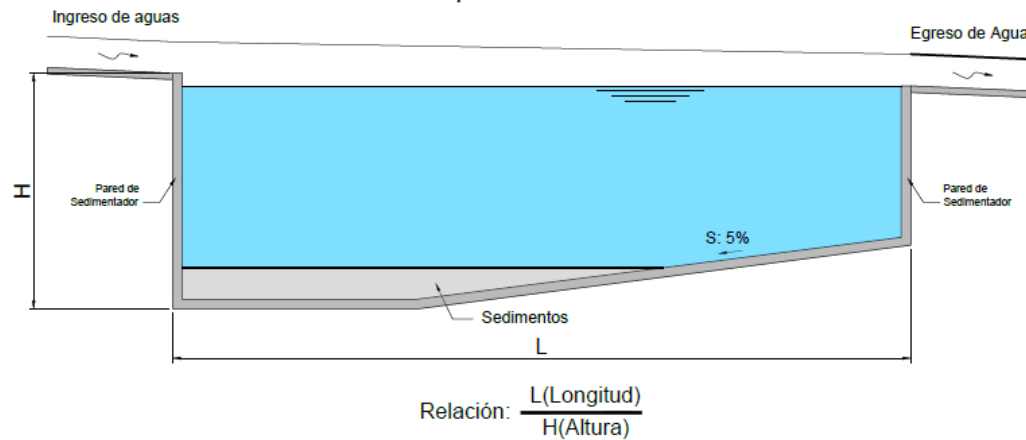


Figura 32. Perfil del diseño sistema de tratamiento de aguas residuales especiales y perfil del sedimentador.

Fuente: Elaboración propia 2015

Las ventajas y desventajas de la recirculación de las aguas residuales, se describen a continuación (Cuadro 16).

Cuadro 16. Ventajas y desventajas de la recirculación de las aguas residuales.

Ventajas	Desventajas
Ahorro en el consumo de agua.	Se requiere de un área amplia para la construcción del embalse para el almacenamiento del agua por recircular.
Uso eficiente del agua.	Gastos en construcción del embalse de almacenamiento de agua, sistema de bombeo y tuberías.
Reducción de costos en la compra de materias primas	El agua de lavado no debe tener cantidades tales de impurezas como para producir daños en la superficie del hormigón, en la superficie de las partículas de agregado o en la mezcla de hormigón.
Reducción de impacto ambiental al disminuir o eliminar el vertido de agua a cuerpos receptores.	No debe usarse agua de lavado para mezclado, cuando el tambor que se lava, haya contenido concreto con algún aditivo, que pueda tener influencia sobre las características del concreto que se cargue de nuevo.
Control estricto de la calidad del agua debido a la realización de monitoreos frecuentes.	Altamente sensible si se tiene otras sustancias en el agua como son hidrocarburos.
Se cumple el ciclo de producción más limpia, al reutilizar los residuos generados.	Exige la presencia de un seguimiento y control constante del sistema.
Disminución de los costos de tratamiento. Si se vierte a un cuerpo receptor deberá realizar tratamiento de pH y de metales.	Se requiere un área amplia para la colocación de las estructuras de almacenamiento de agua tratada, sedimentadores.

Fuente: Carrasco 2013

6.3.1.3 Reutilización de sedimentos de concreto.

Los sedimentos se dispondrán en fosas ubicadas cerca del sistema de tratamiento, para reducir costos en el traslado. Estos residuos se podrían utilizar para la elaboración de concretos pobres para la construcción de obras no estructurales, en la conformación de caminos o en la impermeabilización de los alrededores de la planta de concreto (Cerdea 2007).

En caso de que los sedimentos se sequen, estos pueden triturarse y reutilizarse en el relleno y recuperación de terrenos o conformación de bases, también se pueden reciclar como sustituto de áridos para agregados en el concreto, como capa inerte de separación en la disposición de residuos industriales, como terraplenes, reciclaje para utilizar en el asfalto, entre otros, todo lo anterior se podrá implementar previo a la realización de análisis del tipo de concreto y sus posibles aplicaciones (EPA 2012).

Es importante considerar que la reutilización de los sedimentos de concreto se realizaría en zonas designadas como áreas constructivas, además los aditivos utilizados,, según las norma NFPA no contiene sustancias peligrosas

A continuación se describen algunas ventajas y desventajas de la reutilización de sedimentos (Cuadro 17).

Cuadro 17. Ventajas y desventajas de la reutilización de sedimentos.

Ventajas	Desventajas
Reducción de la contaminación al reducirse la generación residuos de concreto.	El uso de los sedimentos se restringe a la elaboración de concretos pobres.
Ahorro en el consumo de materias primas (agregados, aditivos, cemento, agua).	Se requiere de un espacio amplio para la conformación de las fosas de acopio de los sedimentos.
Se cumple el ciclo de producción más limpia, al reutilizar los residuos generados.	El uso de sedimentos debe ser constante para evitar que se solidifique

Fuente: Cerda 2007

6.3.2 Diseño del sistema de tratamiento

Para la elaboración del sistema de tratamiento se tomaron como referencia la planta Arbau 120 y el Fogón, porque para ambos se pudo obtener mayor cantidad de datos, además de que generaron impactos importantes en las quebradas a las cuales vertían.

El caudal requerido para la formulación del diseño se obtuvo por medio de los datos registrados de la limpieza de los sedimentadores de la planta Arbau y el del Fogón del P.H.

Reventazón (Anexo 7), también se consideró el valor obtenido de sólidos sedimentables a la entrada de los sedimentadores, tras los análisis de aguas residuales realizados por la USAP (Cuadros 10 y 12).

Los datos obtenidos de la limpieza de sedimentadores fueron desglosados por limpieza diaria, para poder determinar la cantidad de sedimento por día, a estos datos se les aplicó un análisis estadístico para determinar las probabilidades en que se producían los sedimentos y poder diseñar un sistema bajo una probabilidad (eficiencia) del 75%. En el caso de la planta Arbau 120, el valor obtenido para un 75% de probabilidad (eficiencia) fue de 6,00 m³/día, para el caso del Fogón el valor fue de 8,75m³/día.

El mismo proceso se realizó con los datos obtenidos de los análisis de aguas (sólidos sedimentables), a partir del cual se obtuvo un volumen de 18 ml/l para la planta Arbau y 10 ml/l para el Fogón.

A partir de los datos de concentración y volumen se procedió a realizar el cálculo indirecto del caudal a un 75% de eficiencia, por medio de la siguiente fórmula (ver Anexo 8):

$$\frac{Cn \text{ sedimentos por día}}{\text{Volumen de sedimentos por día}} = \text{Volumen de agua por día}$$

Ecuación 7

Se obtuvo los siguientes valores de caudal (volumen de agua por día):

Planta Arbau 120

$$Q= 333,3 \text{ m}^3/\text{día}$$

Fogón

$$Q= 875 \text{ m}^3/\text{día}$$

Estos valores se introducen en la Matriz de Cálculo de Dimensionamiento de Sedimentadores, la cual contiene los criterios de diseño de sedimentadores establecidos en Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores, elaborada por la Organización

Panamericana de la Salud (Anexo 9). En la misma se introduce primeramente el valor del caudal de agua a tratar, el cual de manera automática se convierte en m^3/s . Posterior a esto se introduce en la matriz el diámetro de la partícula a tratar, este es un dato teórico ya establecido (Cuadro 2) para este caso se utiliza el valor para partículas de arena fina, se introduce también la velocidad de sedimentación establecida según el tamaño de la partícula.

Una vez definida la velocidad de sedimentación se establece la profundidad, para la cual existe un rango definido. La definición de este criterio va a depender del presupuesto y del área disponible para la construcción del sistema de tratamiento.

Se calcula también el área superficial, por medio de la fórmula establecida en la matriz, así como el largo, por medio de la profundidad multiplicado por la relación velocidad horizontal, dividido entre la velocidad de sedimentación y el ancho del sedimentador se determina dividiendo el área superficial entre el largo.

El volumen se determina multiplicando el largo por el ancho y por la profundidad, en la matriz también se obtiene la relación largo ancho, dividiendo ambos valores, la cual debe estar entre 3 y 6. Otros criterios que se establecen son la velocidad horizontal, la relación entre velocidad horizontal y velocidad de sedimentación, relación largo y profundidad, área de orificios de salida y tiempo de retención, todos se obtienen por las fórmulas establecidas en la matriz (Cuadro 18).

Cuadro 18. Diseño de sedimentador con un caudal de 300 m³/día.

Diseño de Sedimentadores*			Criterios de diseño
Caudal	m ³ /día	m ³ /s	El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
	300	0,003 5	El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
			La carga superficial será entre los valores 2,10 m ³ /m ² /día.
			El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
			Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
			El periodo de operación es de 24 horas por días.
Diámetro de partícula	cm	Metros	Considerado para partícula de arena fina (dato teórico).
	0,001	0,000 01	
Velocidad de sedimentación	cm/s	m/s	La velocidad está en función del diámetro de la partícula, para este caso arena fina (dato teórico).
	0,015 4	0,000 154	
Profundidad H	Metros		La profundidad del sedimentador será entre 1,5- 2,5 m. La profundidad depende de los costos y del área disponible.
	1,5		
As	22,55		Se debe determinar el área superficial de la unidad (As), que es el área superficial de la zona sedimentación, de acuerdo con la relación: $As = \frac{Q}{Vs}$ Siendo: Vs: Velocidad de sedimentación (m/g) Q: Caudal de diseño (m ³ /s)
Largo mínimo L (Mínimo 5H)	Metros		$L = H / \text{Relación } v_h/v_s$
	9		
Ancho mínimo B (Máximo 1/3 L)	Metros		$B = As/L$
	3		
Volumen	m ³		Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
	34		
Relación largo ancho	3,59		La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.

Velocidad horizontal	m/s		Determinar la velocidad horizontal V_H (m/s) de la unidad mediante la ecuación. El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente. $V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$
	0,000 924		
Relación v_h/v_s	6		Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. $\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$
Relación L/H	6		La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20.
Velocidad máxima de salida	m/s		La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
	0,15		
Área de orificios de salida	M²	cm²	Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño. $A_o = \frac{Q}{V_o}$ Siendo: V_o : Velocidad en los orificios (m/s) Q : Caudal de diseño (m ³ /s) A_o : Área total de orificios (m ²)
	0,02	231,48	
Tiempo de retención (horas)	Horas		El tiempo de retención será entre 2-6 horas.
	2,7		Determinar el tiempo de retención T_o (horas), mediante la relación: $T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$

Fuente: OPS, 2005

A continuación se presentan las posibles medidas de largo, ancho y profundidad del sedimentador, según los diferentes volúmenes que se puedan tratar, el rango (de 300 a 800 m³/día) se estableció según los datos obtenidos en la determinación de caudal de la planta Arbau 120 y el Fogón. El tamaño de almacenamiento corresponde al almacenamiento del agua tratada que será recirculada en el lavado de automezcladoras o en el proceso de

elaboración de concreto y que equivale al 50% del volumen del sedimentador obtenido de los cálculos realizados en la matriz (Cuadro 19).

Cuadro 19. Dimensiones del sedimentador según volumen.

Volumen a tratar (m ³ /día)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Tamaño de almacenamiento (m ³)*
300	9	3	1.5	17
400	12	3	1.5	22.5
500	12	3	1.5	28
600	12	4	1.5	33.4
700	14	4	1.5	23
800	14	4	1.5	45

Fuente: Matriz de Cálculo de Dimensionamiento de Sedimentadores

6.3.3 Análisis de costos y beneficios asociados

Para que todo proyecto por desarrollar sea viable debe considerarse el factor económico, por esto se realizó un análisis costo beneficio en cuatro escenarios diferentes: a) planta de concreto sin sistema de tratamiento de aguas residuales especiales, b) con tratamiento por parte de un tercero, c) con un sistema para el tratamiento de las aguas residuales especiales que incluya la recirculación de aguas construido y operado por el ICE y d) con un sistema de tratamiento y recirculación de aguas comprado y operado por el ICE.

El análisis requirió la determinación del costo de la contaminación que genera el vertido de las aguas residuales a los cuerpos de agua, dicho costo fue determinado por medio de la metodología implementada en el caso “Valoración Económica del Daño Ambiental Ocasionado por el Proyecto Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, Coyol de Alajuela” (Setena 2001).

La metodología aplicada en el caso de Valoración del Daño Ambiental ocasionado por la Cooperativa Dos Pinos, no valora, en rigor, el daño ambiental ocasionado si la contaminación ya se ha producido. Aproxima el valor del daño con el costo de haber

aplicado las medidas pertinentes para que la fuente de daño (la contaminación por encima de la norma) no se produjera. Por lo tanto, es un valor mínimo aplicable (Setena 2001).

Se propone que el costo social de la contaminación causada está compuesto por el costo de haberla evitado más el costo del daño causado, más el costo de las gestiones que las personas emprenden para el reconocimiento de los mismos. El costo de gestión para el caso de la contaminación causada por las aguas de las plantas de concreto, se considera cero:

$$\text{Costo Total Contaminación} = \text{Costo de Tratamiento} + \text{Costo del daño} + \text{Costo de Gestión}$$

Ecuación 8

En un estudio en Ecuador (Barrantes 2001) se aplicó con éxito el aproximar el costo del daño como un porcentaje del costo de tratarlo o evitarlo.

$$\text{Costo Total} = \text{Costo de Tratamiento} + \alpha \text{ Costo de Tratamiento}$$

Ecuación 9

Donde α está entre 0 y 1, y fue determinado con una metodología participativa de expertos en el recurso. Cuanto más se acerque a uno, significa que mayor es el daño causado por contaminación (Setena 2001).

Para el costo de tratamiento se determinó el costo del tratamiento de las aguas residuales por un tercero el cual es de 0,28 \$/kg. Aplicado en la fórmula de la siguiente manera:

$$\text{Costo Total} = 0,28 + 1 \times 0,28 = 0,56 \text{ \$/kg}$$

Ecuación 10

Una vez obtenido el costo de la contaminación, se procedió a determinar el costo de construcción, el cual es de 0,34 \$/m³. La operación del sistema de tratamiento por parte del ICE con un costo de 0,25 \$/m³ y la operación del sistema por parte de un tercero 486 \$/m³. También se utilizó el dato del costo de un sistema de tratamiento comprado en el exterior, el cual tiene un valor de \$250 000 USD (ver Anexo 10).

A partir de los datos anteriores se realizó el análisis costo beneficio, con el fin de determinar cuál de los tres escenarios analizados era el más factible económicamente para ser implementado.

Los criterios utilizados para el análisis costo beneficio fueron los siguientes:

- $B/C > 1$ indica que los beneficios superan los costos, por lo que el proyecto se considera rentable.
- $B/C = 1$ indica que no hay ganancias, ya que los beneficios son iguales a los costos.
- $B/C < 1$ indica que los costos son mayores que los beneficios, por lo que el proyecto no se considera rentable.

Aplicando lo anterior se obtuvo que una planta de concreto sin sistema de tratamiento de aguas residuales especiales tiene una relación costo beneficio equivalente a 0,58, por lo que se considera que al ser la relación menor a uno, dicho escenario no es rentable económicamente, ya que al incurrir en daños ambientales se deben pagar dichos daños, generando más costos que al implementar un sistema de tratamiento, esto sin considerar los daños ambientales generados.

Para el caso del segundo escenario, el cual corresponde a una planta de concreto con tratamiento de aguas residuales especiales gestionada por un tercero, se obtuvo un costo beneficio de 1,73.

El tercer escenario planta de concreto con tratamiento de aguas residuales especiales y recirculación de aguas construido y operado por el ICE, se obtuvo un beneficio costo de 1 424,56; y en el cuarto escenario planta de concreto con tratamiento de aguas residuales especiales y recirculación de aguas comprado y operado por el ICE, se obtuvo un beneficio costo de 518,82 (ver Anexo 11).

En los tres últimos escenarios se obtuvo una relación beneficio costo mayor a uno, por lo que los tres escenarios serían factibles de implementar; sin embargo, el que obtuvo una relación mayor corresponde al tercer escenario (1 424,56) por lo que este sería el más

factible por ser implementado, en donde el ICE construiría y operaría el sistema en el cual podría recircularse el agua, reduciendo los costos de consumo del recurso, además de reutilizar los residuos de sedimentos de concreto, proveniente de la limpieza de los sedimentadores.

6.3.4 Guía para la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales especiales de las plantas de concreto.

La siguiente guía tiene por objetivo establecer los criterios que se deben considerar para la instalación e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas por las plantas de concreto, utilizadas en proyectos constructivos del ICE.

6.3.4.1 Selección del área donde se ubicará la planta

Según establece la Ley de Aguas en el artículo 31: "Se declaran como reserva de dominio a favor de la Nación: a) Las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable, en un perímetro no menor de doscientos metros de radio".

Además, la Ley Forestal en el artículo 33 establece como área de protección las siguientes: "a) Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal. b) Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado. c) Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados. d) Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley".

De acuerdo con lo anterior para ubicar, la planta de concreto se debe respetar las distancias indicadas, con el fin de no incurrir en alguna afectación.

Otro aspecto que debe considerarse es el tamaño del área, ya que debe disponerse un sector para depositar los sedimentos de concreto generados ya sean frescos o solidificados, por lo que provisionalmente, los sedimentos se colocarían en un área destinada para tal fin.

También, debe tenerse presente la distancia a las escombreras, ya que en caso de que los sedimentos se solidifiquen estos serían colocados de manera provisional en las escombreras para lo cual se requiere que las mismas se encuentren cerca de las áreas de producción.

6.3.4.2 Área de lavado

Dado que se deben realizar lavados de las automezcladoras es importante ubicar cerca de la planta las áreas de lavado, de manera que el sistema de tratamiento procese las aguas de limpieza de la planta y del lavado de las automezcladoras (Figura 35). Al tener cerca este sistema puede recurrirse a la circulación del agua en el proceso productivo del concreto, lo que generaría una reducción en el consumo del recurso y en el vertido a cuerpos de agua, disminuyendo la contaminación.

6.3.4.3 Manejo de aguas

El agua de lluvia debe ser canalizada de manera que no se mezcle con las aguas residuales, para no alterar los caudales que ingresan al sistema de tratamiento.

El agua que se utilice en el proceso debe tener un cauce determinado, para controlarla y evitar que se pueda salir del área de trabajo, ya que puede contaminar otras aguas y suelos.

En caso de que deba verterse algún excedente a los cuerpos de agua, debe canalizarse los desfogues a los ríos, y no a las quebradas existentes, ya que estas al tener condiciones de mayor fragilidad ambiental se verían mayormente impactadas.

6.3.4.4 Limpieza, mantenimiento.

La limpieza se debe realizar mínimo tres veces por semana, si la producción es continua y los sistemas se encuentran saturados; para lo cual es necesario observar diariamente las piletas de sedimentación y canales, y así actuar de manera efectiva su limpieza. Cuando la producción sea mínima podrá realizarse una vez a la semana.

6.3.4.5 Derrames de concreto en áreas de trabajo

Los derrames de concreto se presentan, porque la mezcla tiene un alto grado de asentamiento, al transportar concretos con alta fluidez o cuando el tambor del camión mezclador no tiene una adecuada limpieza.

Por tal razón, debe estarse al tanto de la salida de las automezcladoras de las plantas, para identificar derrames y retirarlos del lugar lo antes posible y así evitar impactos negativos en el ambiente. En caso de que una automezcladora presente derrames de concreto, esta se debe detener hasta corregir la situación.

Si el derrame es muy acuoso el mismo se debe incorporar al sistema de tratamiento, en caso de tener una consistencia más sólida debe depositarse en el área de almacenamiento temporal de sedimentos para proceder con su reutilización.

6.3.4.6 Dispositivos a implementar en el sistema de tratamiento.

En caso de utilizar fibras sintéticas en el proceso de producción deben instalarse barreras, tales como las elaboradas en el P.H Reventazón, las cuales estaban conformadas por una malla electrosoldada y serán de diámetro menor al de la fibra, como filtro para evitar el aporte de este residuo a los cuerpos de agua. Sin embargo, por un mantenimiento inadecuado las barreras pueden saturar los canales, lo que puede generar desborde del agua y salida de la fibra al cuerpo de agua; por tal situación es que debe darse un control

continuo de las descargas a los cuerpos de agua y mantenimiento al sistema de tratamiento, en especial cuando se trabaja con este tipo de fibra.

Los sedimentos que contengan fibra serán depositados en fosas para luego ser reutilizados, ya que las barreras deben retener la mayor cantidad de esta. La misma aportará firmeza en la reutilización de estos sedimentos.

La implementación de las barreras también ayuda a retener los sólidos suspendidos, las mismas deben ser diseñadas de manera que impida el paso de estos sólidos.

6.3.4.7 Monitoreo de las aguas residuales

Es importante también, mantener un monitoreo periódico (1 vez a la semana) del agua que sale del sistema de tratamiento, para asegurar el cumplimiento de los parámetros y, por lo tanto, asegurar la eficiencia de los sistemas de tratamiento.

Los parámetros que deben monitorearse son los establecidos en el Reglamento de vertido y rehúso de aguas residuales, los cuales se detallan a continuación (Cuadro 20).

Cuadro 20. Parámetros establecidos en la legislación nacional.

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO
DBO _{5,20}	50 mg/L
DQO	150 mg/L
Sólidos suspendidos	50 mg/L
Potencial hidrógeno	5 a 9
Temperatura	15 °C – 40 °C
Sólidos sedimentables	1 ml/L
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Fuente: Reglamento de vertido y rehúso de aguas residuales

Debe tomarse una muestra a la entrada y salida del sistema de tratamiento, para determinar la eficacia del mismo e implementar las medidas correctivas en caso de incumplimiento de los límites que establece legislación nacional, tales como limpiar con mayor frecuencia el sistema de tratamiento, mantener un mayor control de los caudales de agua que ingresan, entre otros. Los análisis los debe realizar un laboratorio acreditado.

Además, es conveniente monitorear la calidad del agua que se utilizará para el lavado de automezcladoras, así como la que ingresará al sistema productivo, esto bajo criterios establecidos por el área de Control de Calidad de la planta o del proyecto.

6.3.4.8 Registros

Con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento se deben mantener los siguientes registros, así como el indicador el cual ayudará a controlar el funcionamiento del sistema y a identificar anomalías (Cuadro 21):

Cuadro 201. Registros de datos para la operación del sistema de tratamiento de aguas residuales de las plantas de concreto.

Registro	Indicador	Función del registro
Resultados de los análisis de las aguas residuales tratadas.	Límites de los parámetros físico químicos establecido Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales	Mantener un control de la calidad del agua procesada por el sistema de tratamiento con el fin de asegurar un correcto funcionamiento
Cantidad de sedimentos recolectados en la limpieza de los sedimentadores.	m ³ /día	Control de la frecuencia de limpieza y la cantidad de sedimentos que podrían ser reutilizados.
Cantidad de derrames de concreto generados tanto en la planta como en otras áreas.	Número de derrames/día	Control de la frecuencia de la generación de derrames para buscar alternativas de reducción de los derrames.
Medición de caudal de entrada al proceso (bombeado).	m ³	Control del agua que ingresa al sistema productivo para poder comparar con el consumo de agua en el proceso y el volumen de agua tratada.
Consumo de agua en el proceso.	m ³	Control del agua que se consume en el proceso para poder comparar con el de agua de entrada en el proceso y el volumen de agua tratada.
Medición del caudal o volumen a la entrada de los sistemas de tratamiento.	m ³	Control del volumen de agua tratada para poder comparar con el agua que ingresa al sistema productivo.
Medición de caudal o volumen de agua a la salida o desfogue (si existe vertido).	m ³	Control del caudal de agua que se dispone en cuerpos de agua.
Medición de entrada de agua recirculada.	m ³	Control del agua que se recircula en el proceso y en el lavado.

Fuente: Elaboración propia

6.3.4.9 Capacitación

Todo el personal que labora en la planta de concreto debe llevar un proceso de formación para conocer el funcionamiento del sistema de tratamiento desde su construcción hasta su operación, para lo cual se desarrollarán módulos de capacitación; tanto al personal de nuevo ingreso, como al que labora diariamente.

Para esto se establecen dos módulos de capacitación, el primero debe ser impartido al personal de nuevo ingreso y el segundo para el personal que labora diariamente.

En el módulo 1 se impartirán los siguientes temas:

- a. Concienciación del personal en el tema de la contaminación del agua, posibles impactos e importancia del tratamiento de aguas residuales de las plantas de concreto.
- b. Descripción general del proceso de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales especiales, así como el funcionamiento específico de las partes que lo componen y del proceso que sigue el sistema de tratamiento.
- c. Procedimiento a seguir para la limpieza del sistema de tratamiento, así como la frecuencia de limpieza (Apartado 6.3.4.5)
- d. Atención de los derrames de concreto en el sitio de la planta u otros sectores.
- e. Registros que se deben recopilar, los cuales corresponden al apartado 6.3.4.8 de la guía.

Dicho módulo será impartido cada vez que ingrese nuevo personal.

El módulo 2 consistirá en un repaso general de los temas anteriores, compartir experiencias a manera de lecciones aprendidas y fortalecimiento de temas en los que requiere mejorarse el conocimiento.

7. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

a. El Proyecto Hidroeléctrico Reventazón contaba con una evaluación ambiental por medio de la cual se identificaron los principales impactos ambientales así como también se establecieron las medidas para prevenir, mitigar o compensar dichas afectaciones al ambiente, sin embargo, los sistemas de tratamiento (sedimentadores) de las aguas especiales de las plantas de concreto que utilizaba el proyecto durante la fase de diagnóstico de esta propuesta; no cumplieron con los parámetros para el vertido en un cuerpo receptor, esto de acuerdo con los diferentes análisis de laboratorio que se realizaron.

b. Asimismo, producto de las entrevistas con los responsables de las plantas de concreto se determinó que estos sistemas no contaban con diseños ni memorias de cálculo adecuados para la cantidad de agua residual especial por tratar. Los sedimentadores fueron construidos según las necesidades del momento sin considerar medidas estandarizadas para su construcción, ya que algunas plantas de concreto contaban con canalización de aguas pluviales (planta Arabu 120 y Lavadero), mientras que las otras plantas carecían de la canalización (Pozzuolli y Fogón).

c. El sistema propuesto en este trabajo de graduación permite estandarizar los procesos de tratamiento de las aguas residuales especiales de las plantas de concreto, ya que establece los criterios por implementar en el diseño del sistema, según el caudal por tratar.

d. Por medio de la propuesta planteada se promueve la reutilización del agua en el proceso productivo y el lavado de automezcladoras, así como la reutilización de los sedimentos, todo lo anterior bajo análisis de calidad que determinen el aprovechamiento adecuado de estos residuos.

e. Por medio del análisis beneficio/costo, se obtuvo que la opción más rentable de los casos analizados, corresponde al caso tres (1 424,56), donde el ICE construiría y operaría el sistema de tratamiento; en el cual podría recircularse el agua, reduciendo los costos de consumo del recurso, además de reutilizar los residuos de sedimentos de concreto, proveniente de la limpieza de los sedimentadores.

f. Con esta propuesta se promueve el desarrollo sostenible, ya que se plantea una herramienta que permita la ejecución de actividades antrópicas (producción de concreto) de la mano del ambiente (sistema de tratamiento de aguas residuales) y por ende proporciona un desempeño positivo de los procesos en todos los ámbitos ambiental, social y económico.

Recomendaciones

Pueden establecerse las siguientes recomendaciones:

a. La reutilización de los sedimentos que se producen producto de la aplicación de sistema de tratamiento, se podrá efectuar en concretos pobres (aceras, piletas, losas) o en relleno de caminos y vías de influencia del proyecto. En caso de querer utilizar los sedimentos en concretos estructurales se deberá realizar la consulta al departamento o área de Control de Calidad del proyecto para que valide los análisis a realizar.

b. Es necesario de que en las plantas de concreto, se implemente la norma ISO 13315-1:2012: Environmental Management for Concrete and Concrete Structures, ya que tiene por objeto proporcionar las normas básicas en materia de gestión ambiental para la producción de concreto. También, pretende contribuirse a la mejora continua de los impactos ambientales resultantes de las actividades relacionadas con la producción de concreto.

c. Analizar la posibilidad (tanto económica como técnica) de implementar estructuras portátiles para la conformación de los sedimentadores, de tal forma que permita transportarse con las estructuras de las plantas de concreto.

d. Se recomienda que los encargados de los procesos de las plantas de concreto implementen registros de consumo de agua en cada una de las partes del proceso, es decir: agua para el concreto, agua para lavados; y en caso de reutilizar el agua mantener un registro de las cantidades de esta que se reincorporan al proceso.

e. Si bien es cierto el sistema de tratamiento está diseñado para no verter en ningún momento, razón por la cual se propone un monitoreo constante de caudal así como de análisis de la calidad de las aguas tratadas, es importante considerar que se pueden presentar imprevistos en el proceso, razón por la cual se recomienda contar con el uso de floculantes para que en caso de una eventualidad, el vertido pueda ser tratado por este

método secundario y así cumplir con el parámetro de sólidos suspendidos, o recurrir tratamiento por un gestor autorizado. Además de reforzar la implementación de barreras que retengan estos sólidos.

f. Establecer un procedimiento institucional para la conformación de sistemas de tratamiento de las aguas especiales de las plantas de concreto, que incluya la reutilización del agua tratada y de los sedimentos, así como la implementación de la Guía para la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales especiales de las plantas de concreto, incluida en este documento.

8. Bibliografía

Asociación de Cemento Portland (PCA). 2014. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Estados Unidos. 468 p

Azevedo, J. s.f.. Experiencia Brasileña en el diseño de sedimentadores (en línea): Consultado el 13 ago. 2013. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/02554-brasilena.pdf>.

Barrantes, G. 2011. El Bosque en el Ecuador. Una Visión Transformada para el Desarrollo y la Conservación. IPS-COMAFORS.

Blog 360, CO. 2015. Plan de Manejo Ambiental en el Uso de Concreto (en línea). Colombia. Consultado el 13 ago. Disponible en <http://blog.360gradosenconcreto.com/plan-de-manejo-ambiental-en-el-uso-del-concreto/>

Briones, G. 2002. Metodología de la investigación cuantitativa en las Ciencias Sociales. Colombia. ARFO Editores e Impresores Ltda. 219 p

Cánepa, L de. 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Perú. 306 p

Carrasco, MF. 2013. Cátedra Tecnología del Hormigón. Unidad 4. Agua para morteros y hormigones. Argentina, Universidad Tecnológica Nacional. 9 p

César, E. 2003. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México. Fundación ICA. 341 p

Cerda, R. 2007. Desarrollo de Metodología para Calificar el Desempeño de las Plantas de Hormigón Premezclado desde el Punto de Vista Ambiental. Tesis Ing. Santiago, CL, Universidad de Chile. 128 p.

CGR (Contraloría General de la República, CR). (2013). Informe acerca de la Eficacia del Estado para Garantizar la Calidad del Agua en sus Diferentes Usos. 69 p

Davis, M., Masten, S. 2004. Ingeniería y Ciencias Ambientales. México. McGraw-Hill Interamericana. 750 p

DIGECA (Dirección de Gestión de Calidad Ambiental, CR). 2009. Propuesta del Sistema de Protección Ambiental –SIPA Plan Nacional de Calidad Ambiental. 163 p

EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). 2012. Concrete Washout Stormwater Best Management Practice. EPA 833-F-11-006. 1-5.

Fraume, N. 2007. Diccionario Ambiental. Ed. Ecoediciones. 465 p

Hernández, E. 2010. Importancia del agua para los seres vivos. Elemental watson “la” Revista no 1. 1(1): 9-16.

Hernández, R. et al. 2006. Metodología de la Investigación. México. McGraw-Hill Interamericana. 850 p

Huerga, E. 2005. Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes. Tesis Dr. Valencia, ES, Universidad de Valencia. 376 p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2008. Estudio de Impacto Ambiental (EsIA). Siquirres, Costa Rica.

Marín, A. 2013. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados. México. 256 p.

OPS (Organización Panamericana de la Salud, PE). 2005 Guía para el diseño de desarenadores y Sedimentadores. Lima, PE. 34 p.

Panza, VH. 2010. Agua potable, un derecho postergado para los más humildes Elementalwatson “la” revista no 1. 1 (1): 17-21

Pérez. L. 2005. Teoría de la Sedimentación (en línea). Consultado el 19 de mayo del 2013. Formato pdf. Disponible en <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Sedimentacion.pdf>

Pliego, G. 2012. Intensificación del Proceso Fenton para el Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Tesis Dr. Madrid, ES. Universidad Autónoma de Madrid. 226 p

Ramalho, R. 2003. Tratamiento de aguas residuales. España: Reverté, S.A. 705 p

Rodríguez, A. 2006. Informe de Vigilancia Tecnológica: Tratamientos Avanzados de aguas Residuales Industriales. Madrid, ES. 136.

Salcedo, M. (2006). Concreto de Alto Desempeño en Colombia. Escala. 236 p

Setena (Secretaría Técnica Nacional Ambiental, CR); IPS (Instituto de Políticas para la Sostenibilidad) (2001). Valoración Económica del Daño Ambiental Ocasionado por el Proyecto Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, Coyol de Alajuela (en línea). Costa Rica. Consultado 21 oct. 2015. Formato pdf. Disponible en <http://www.ips.or.cr/Publicaciones/Caso%20Dos%20pinos.pdf>.

9. Anexos

Anexo 1. Cronograma

Fases para el periodo I

Fases	Actividad	Periodo I				
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
	Correcciones anteproyecto	X				
1	Determinar los expertos o encargados de los procesos de plantas de concreto en Proyecto Hidroeléctrico Reventazón		X			
	Elaboración del instrumento entrevista semiestructurada, la cual será aplicada a los expertos de interés.		X			
	Inspecciones con los encargados de los procesos de Plantas de concreto, aplicando la observación directa mixta.			X		
	Realizar búsqueda de datos secundarios que sustenten la parte teórica de la caracterización del proceso.		X	X		
	Síntesis para la elaboración del apartado.			X	X	
2	Determinar los puntos de medición de las aguas residuales, la cantidad de muestras y frecuencia de monitoreo.		X			
	Establecer los parámetros que desean analizarse de las muestras tomadas.		X			
	Buscar un laboratorio para realizar el análisis de las muestras.			X		
	Confortar los resultados del laboratorio con el Decreto N° 33 601 sobre Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.			X	X	

Fases para el periodo II.

Fases	Actividad	Periodo II				
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
3	Para el diseño del sistema se utilizará la información obtenida de los análisis de aguas residuales, y caracterización de cuerpos receptores; así como aplicación de diferentes fórmulas.	X	X			
	Se realizará una búsqueda de diferentes tecnologías prediseñadas que se utilizan para la disminución de sólidos gruesos, para su posible reutilización.			X		
4	Realizar un análisis de los posibles residuos generados por el sistema de tratamiento, además analizar su composición.			X	X	
	Proponer una alternativa para el manejo y disposición final de los residuos generados.				X	
5	Determinar el costo aproximado por m ³ de agua antes del tratamiento y después del tratamiento.				X	X
	Comparar tres posibles escenarios de tratamiento: planta de concreto sin sistema de tratamiento, con sistema de tratamiento parcial y con un sistema adecuado para el tratamiento de las aguas residuales especiales.				X	X
	Una vez realizado el análisis comparativo, determinar cuál de los tres escenarios es factible económicamente para ser implementado.				X	X

Anexo 2. Entrevista semiestructura aplicada al encargado de las plantas de concreto , Sr. Juan Carlos Mata Bonilla.

Tema: Propuesta de un sistema de tratamiento de las aguas residuales especiales de las plantas de concreto del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón del Instituto Costarricense de Electricidad, Siquirres Costa Rica.

Encabezado: Somos estudiantes de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Tecnologías Limpias, estamos desarrollando el Proyecto de Graduación en el tema de sistemas de tratamiento de aguas residuales de las plantas de concreto. Debido a su experiencia en el tema, queremos realizar una serie de preguntas con el fin de recabar información que nos permita formular nuestro proyecto.

Entrevista dirigida al Ingeniero o encargado de las plantas de concreto.

Aspectos Generales

- ¿Cuál es su profesión y experiencia laboral?
- ¿Cuál es el proceso básico que siguen las plantas de concreto?

Proceso de Producción

- ¿Qué tipos de concretos se producen?
- ¿Tipo de aditivos utilizados, cantidades utilizadas?
- ¿Existe una cantidad y frecuencia de producción establecida según el tipo de concreto?
- ¿Cuál es la frecuencia y el método utilizado para el lavado de chompipas, la cantidad de agua utilizada en cada chompipa y la cantidad de mezcladoras lavadas por planta aproximadamente, o esto va a depender de la demanda de producción, brindar un número aproximado?

Proceso de tratamiento

- Sabemos que para el tratamiento de las aguas residuales especiales se han construido sedimentadores, ¿Qué aspectos se han considerado para realizar la construcción de estos sistemas de tratamiento implementados en las plantas de concreto?
- Una vez que el sedimentador llega a su nivel de uso, ¿Cuál es el proceso y frecuencia de limpieza de los mismos, qué equipo se utiliza para la limpieza, cuál es el costo?

- ¿Cuáles han sido los principales problemas que se generan en el sistema de tratamiento diseñado que actualmente se utiliza?
- ¿Qué se ha hecho para solucionar los problemas presentados?
- ¿Se tiene contabilizado la cantidad de sedimentos que se extraen con cada limpieza?
- ¿Cuál es la disposición final o tratamiento que se le da a los sedimentos?
- ¿Cuáles son los impactos que se generan producto de la actividad?
- ¿Cuál es el mayor impacto que genera la actividad desarrollada?
- ¿Cuáles son las quebradas que impacta cada planta?
- ¿Se realizan análisis de las aguas vertidas así como de los sedimentos, cuál es la frecuencia del muestreo?
- ¿Se ha valorado la posibilidad de reutilización de los sedimentos o líquidos vertidos?
- Le agradecemos su tiempo, en caso de que requerir más información ¿nos podemos comunicar nuevamente con usted?

Anexo 3. Solicitud de concreto por frente de obra.

OBRA	ESTRUCTURA	FECHA REQUERIDA	BISEMANA	VOLUMEN m	DISEÑO	OBSERVACIONE
Tubería Forzada	Montura 7	01/06/2013	13_2013	210	280-19-2#1	Primera etapa
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	28/05/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	29/05/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	30/05/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	31/05/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	01/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	02/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	03/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	04/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	05/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	06/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	07/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	08/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	09/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Presa	Losa nivelación Plinto Cause	10/06/2013	13_2013	29	150-38-2#1	-
Túnel Conducción	Banco Superior	28/05/2013	13_2013	24	MD CLVH 250-13-2#3	Con fibra

Obra donde será colocado el concreto

Lugar específico de la obra donde se colocará el concreto.

Fecha en la que se necesita que se coloque el concreto.

Incluye formula.

Cantidad requerida por día.

Diseño requerido según hoja "Diseño de Concretos".

Cualquier comentario necesario para producir el concreto que se está solicitando.

Anexo 4. Diseño de mezclas de concreto actuales con cemento Holcim MP, Control de Calidad Obra Civil.

P.H. Reventazón - Control de Calidad Obra Civil

Diseños de mezcla con cemento Holcim MP. Rigen a partir del: 05/04/2013

Código mezcla	Condición del diseño	Fecha de modificación	Tipo de Concreto	Resistencia a 28 días (kg/cm ²)	Contenido Cemento (kg/m ³)	Relación A/C	Fabricante Cemento	Marca Aditivo	Dosis Aditivo (Litros)	Agregados			
										38 mm (m ³)	19 mm (m ³)	13 mm (m ³)	Arena (m ³)
Mortero (Lubricación)	Actual	30/01/2013	Bombeable	N/A	500	0.49	Holcim MP	-	-	-	-	-	0.818
Bordillo #1	Actual	30/01/2013	Descarga directa	40	75	2.49	Holcim MP	Polyheed 7530	0.3	-	0.627	-	0.558
75-38-2#1	Actual	30/01/2013	Descarga directa	75	200	1.02	Holcim MP	Polyheed 7530	0.9	0.277	0.381	-	0.452
140-19-2#1	Actual	30/01/2013	Descarga directa	140	275	0.76	Holcim MP	Polyheed 7530	1.3	-	0.629	-	0.422
140-38-2#1	Actual	30/01/2013	Descarga directa	140	260	0.78	Holcim MP	Polyheed 7530	1.2	0.305	0.337	-	0.440
150-38-2#2	Actual	30/01/2013	Descarga directa	150	270	0.78	Holcim MP	Polyheed 7530	1.2	0.231	0.386	-	0.442
175-19-2#1	Actual	30/01/2013	Descarga directa	175	300	0.70	Holcim MP	Polyheed 7530	1.4	-	0.609	-	0.426
175-38-2#4	Actual	06/03/2013	Descarga directa	175	280	0.72	Holcim MP	Polyheed 7530	1.3	0.267	0.389	-	0.416
210-19-2#1	Actual	30/01/2013	Bombeable	210	340	0.64	Holcim MP	Polyheed 7530	1.6	-	0.631	-	0.375
210-38-2#1	Actual	30/01/2013	Bombeable	210	330	0.68	Holcim MP	Polyheed 7530	1.5	0.252	0.366	-	0.391
280-19-2#1	Actual	30/01/2013	Bombeable	280	390	0.60	Holcim MP	Polyheed 7530	1.8	-	0.578	-	0.373
280-19-2#2 *	Actual	06/02/2013	Bombeable	280	400	0.56	Holcim MP	Polyheed 7530	2.6	-	0.563	-	0.394
280-38-2#1	Actual	30/01/2013	Bombeable	280	360	0.60	Holcim MP	Polyheed 7530	1.7	0.196	0.365	-	0.436
280-38-2#2 *	Actual	30/01/2013	Bombeable	280	390	0.54	Holcim MP	Polyheed 7530	2.5	0.194	0.362	-	0.432
350-19-2#1	Actual	30/01/2013	Bombeable	350	450	0.55	Holcim MP	Polyheed 7530	2.1	-	0.564	-	0.335
350-38-2#1	Actual	30/01/2013	Bombeable	350	430	0.54	Holcim MP	Polyheed 7530	2.0	0.194	0.361	-	0.383
210-38-3#2 **	Actual	04/04/2013	Bombeable	210	310	0.65	Holcim MP	Polyheed 7530	2.0	0.274	0.372	-	0.409
280-19-3#1 **	Actual	30/01/2013	Bombeable	280	370	0.59	Holcim MP	Polyheed 7530	2.4	-	0.558	-	0.423
280-38-3#1 **	Actual	30/01/2013	Bombeable	280	360	0.59	Holcim MP	Polyheed 7530	2.3	0.197	0.367	-	0.438
Concretos Lanzados													
MI CLVH 210-13-2#9	Actual	30/01/2013	Vía Húmeda	210	410	0.58	Holcim MP	Polyheed 7530	1.90	-	-	0.454	0.479
MI CLVH 240-13-2#4	Actual	30/01/2013	Vía Húmeda	240	420	0.58	Holcim MP	Polyheed 7530	1.90	-	-	0.447	0.472
MI CLVH 280-13-2#12	Actual	30/01/2013	Vía Húmeda	280	450	0.58	Holcim MP	Polyheed 7530	2.10	-	-	0.426	0.450
MI CLVS 210-13-2#10	Actual	30/01/2013	Vía Seca	210	440	0.50	Holcim MP	Polyheed 7530	-	-	-	0.461	0.487
MI CLVS 240-13-2#4	Actual	30/01/2013	Vía Seca	240	470	0.50	Holcim MP	Polyheed 7530	-	-	-	0.442	0.466
MD CLVH 250-13-2#3	Actual	20/02/2013	Vía Húmeda	250	415	0.52	Holcim MP	Polyheed 7530	2.70	-	-	0.521	0.450
MD CLVH 280-13-2#3	Actual	25/02/2013	Vía Húmeda	280	390	0.55	Holcim MP	Polyheed 7530	2.50	-	-	0.614	0.384
MD CLVH 210-13-3#1 **	Actual	30/01/2013	Vía Húmeda	210	350	0.58	Holcim MP	Polyheed 7530	2.20	-	-	0.551	0.476
MD CLVH 210-13-3#2 **	Actual	30/01/2013	Vía Húmeda	210	325	0.59	Holcim MP	Polyheed 7530	2.10	-	-	0.567	0.490

Notas: 1- Todos los pesos y volúmenes indicados en la tabla son para producir 1 m³ de concreto.

2- * Diseño de mezcla exclusivo para casa de máquinas.

3- ** Diseño de mezcla a 60 días de edad.

Anexo 5. Instrumento de investigación: Observación mixta.

Lista de control para el sistema de tratamiento de aguas residuales especiales de las plantas de concreto del P.H Reventazón

El propósito de la aplicación de este instrumento de investigación es observar el entorno en donde está inmersa la actividad de las plantas de concreto, el proceso productivo y el de limpieza del sistema de tratamiento implementado, para recabar información para la elaboración del diagnóstico de la investigación.

Nombre de la planta: Pozzuolli

Actividad	Si	No	Observaciones
1. Entorno			
¿Se observa ubicada muy cerca de quebradas o cuerpos de agua?	x		Se ubica a 50 metro del río Reventazón
El Área de planta esta impermeabilizada con canales recolectores de agua.	x		
Se observa separación de las aguas pluviales		x	
2. Producción			
Diseño o estructuras de las planta de concreto.	x		
¿Cantidad de mezcladoras despachadas?			No se observaron automezcladoras ya que la planta estaba en proceso de limpieza.
3. Sistema de tratamiento			
¿El agua del lavado de las chompipas, se vierte al principio del sistema de sedimentación?	x		
¿Se utiliza agua del río para realizar los lavados?	x		También se utiliza el agua de una quebrada cercana
¿Se reutiliza el agua para los lavados?		x	
¿La velocidad de las aguas es mínima, casi cero, para mejorar la sedimentación?	x		
¿La frecuencia de lavado, permite que se obtenga una buena sedimentación?			
¿El desfogue final permite un adecuado vertido en el río y no hay erosión causado por el vertido?	x		
4. Sedimentos			

¿Se observa sedimentos dispersos, fuera del sitio de sedimentación, es decir fuera del sistema de tratamiento?	x	Los sedimentos dispersos se colocaron dentro del sistema por medio de las mangueras utilizadas para la limpieza.
¿Los sedimentos cuando son retirados de los sedimentadores se escurren o son transportados con lixiviados?		No se pudo observar esta actividad
¿El lugar donde se colocan los sedimentos está cerca de un río?	x	El lugar corresponde a escombrera 11
¿Se observa la recuperación de agua y agregados en el sitio de tratamiento?	x	

Nombre de la planta: Arbau 120

Actividad	Sí	No	Observaciones
1. Entorno			
¿Se observa ubicada muy cerca de quebradas o cuerpos de agua?	x		Quebrada Tres Amigos
El Área de planta esta impermeabilizada con canales recolectores de agua.	x		
Se observa separación de las aguas pluviales	x		
2. Producción			
Diseño o estructuras de las planta de concreto.	x		
¿Cantidad de mezcladoras despachadas?	x		Se observó el despacho de tres automezcladoras
3. Sistema de tratamiento			
¿El agua del lavado de las chompipas, se vierte al principio del sistema de sedimentación?	x		
¿Se utiliza agua del río para realizar los lavados?	x		
¿Se reutiliza el agua para los lavados?		x	
¿La velocidad de las aguas es mínima, casi cero, para mejorar la sedimentación?		x	La velocidad del agua es alta.
¿La frecuencia de lavado, permite que se obtenga una buena sedimentación?			
¿El desfogue final permite un adecuado vertido en el río y no hay erosión causado por el vertido?	x		
4. Sedimentos			
¿Se observa sedimentos dispersos, fuera del sitio de sedimentación, es decir fuera del sistema de tratamiento?		x	
¿Los sedimentos cuando son retirados de los sedimentadores se escurren o son transportados con lixiviados?			No se pudo observar esta actividad
¿El lugar donde se colocan los sedimentos está cerca de un río?		x	El lugar corresponde a escombrera 11
¿Se observa la recuperación de agua y agregados en el sitio de tratamiento?		x	

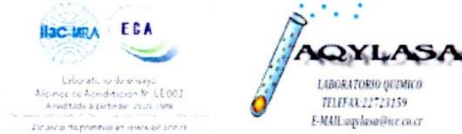
Nombre de la planta: Lavadero de automezcladoras

Actividad	Sí	No	Observaciones
1. Entorno			
¿Se observa ubicada muy cerca de quebradas o cuerpos de agua?	X		
El Área de planta esta impermeabilizada con canales recolectores de agua.	X		
Se observa separación de las aguas pluviales	X		
2. Producción			
Diseño o estructuras de las planta de concreto.	N	A	
¿Cantidad de mezcladoras despachadas?	N	A	
3. Sistema de tratamiento			
¿El agua del lavado de las chompipas, se vierte al al principio del sistema de sedimentación?	x		
¿Se utiliza agua del río para realizar los lavados?	x		
¿Se reutiliza el agua para los lavados?		x	
¿La velocidad de las aguas es mínima, casi cero, para mejorar la sedimentación?		x	
¿La frecuencia de lavado, permite que se obtenga una buena sedimentación?		x	
¿El desfogue final permite un adecuado vertido en el río y no hay erosión causado por el vertido?		x	
4. Sedimentos			
¿Se observa sedimentos dispersos, fuera del sitio de sedimentación, es decir fuera del sistema de tratamiento?		x	
¿Los sedimentos cuando son retirados de los sedimentadores se escurren o son transportados con lixiviados?	x		
¿El lugar donde se colocan los sedimentos está cerca de un río?		x	El lugar corresponde a escombrera 11
¿Se observa la recuperación de agua y agregados en el sitio de tratamiento?		x	

Nombre de la planta: Fogón

Actividad	Sí	No	Observaciones
1. Entorno			
¿Se observa ubicada muy cerca de quebradas o cuerpos de agua?	x		Desfogue en la quebrada Sibon
El Área de planta esta impermeabilizada con canales recolectores de agua.	x		
Se observa separación de las aguas pluviales	x		Aledaño al canal del sedimentador se construyó un canal para la canalización de las aguas pluviales.
2. Producción			
Diseño o estructuras de las planta de concreto.	N	A	
¿Cantidad de mezcladoras despachadas?	N	A	
3. Sistema de tratamiento			
¿El agua del lavado de las automezcladoras, se vierte al principio del sistema de sedimentación?	x		
¿Se utiliza agua del río para realizar los lavados?	x		
¿Se reutiliza el agua para los lavados?		x	
¿La velocidad de las aguas es mínima, casi cero, para mejorar la sedimentación?	x		El sistema solo cuenta con una pileta de sedimentación
¿La frecuencia de lavado, permite que se obtenga una buena sedimentación?			La frecuencia de lavado depende de la producción diaria.
¿El desfogue final permite un adecuado vertido en el río y no hay erosión causado por el vertido?	x		El agua fluye por medio de las rocas alrededor del camino, la cuales se dirigen directamente al río.
3.Sedimentos			
¿Se observa sedimentos dispersos, fuera del sitio de sedimentación, es decir fuera del sistema de tratamiento?	x		En los alrededores de la pileta de sedimentación se observaron sedimentos en el suelo.
¿Los sedimentos cuando son retirados de los sedimentadores se escurren o son transportados con lixiviados?	N A	N A	No se pudo observar esta actividad.
¿El lugar donde se colocan los sedimentos está cerca de un río?		x	El lugar corresponde a escombrera 15.
¿Se observa la recuperación de agua y agregados en el sitio de tratamiento?		x	El proceso consiste en enterrar los sedimentos en las fosas de la escombrera.

Anexo 6. Análisis químico de metales pesados en los sedimentos de las plantas de concreto.



RESULTADO DE ANALISIS QUÍMICO
Informe 05092014

Tipo de muestra . Sedimento de plantas de concreto
Interesado: Ing Ignacio Laurent
Fecha de recibo de muestra 14-08-2014.
Fecha de reporte. 05 -09-2014

Parámetro analizado	Valor reportado
Aluminio % m/m	0,21±0,06
Plomo ,mg/Kg	9,00 ±0,05
Mercurio, µg/Kg	Menos de 20
Cromo , mg/Kg	14±2
Plata , mg/Kg	2,00±0,05
Niquel , mg/Kg	18,5±0,5
Cadmio , mg/Kg	Menos de 2
Zinc, mg/Kg	12,1±0,1
Magnesio , mg/Kg	219±3
Arsenico ,µg/Kg	Menos de 50

METODOLOGIA DE ANALISIS. Absorción Atómica

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQLA, .S.A.
Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente.

Lic. Leonor Rodríguez
Química



Hace constar que
RODRIGUEZ MONTERO LEONOR
Es Miembro Activo de este Colegio
bajo el N° 00428



Dirección Ejecutiva

30-Set-2014
Fecha



Anexo 7. Cantidad de sedimentos recolectados en la limpieza de sedimentadores de la planta de concreto Arbau 120 y Fogón.

Cantidad de sedimentos recolectados en la limpieza de sedimentadores de la planta de concreto Arbau 120 de enero a abril del 2014.

Fecha (2014)	Cantidad de sedimentos recolectados (m³)
09-Ene	14
15-Ene	21
23-Ene	8
25-Ene	24
29-Ene	12
31-Ene	8
06-Feb	14
07-Feb	21
09-Feb	21
12-Feb	14
13-Feb	14
14-Feb	7
20-Feb	21
23-Feb	24
05-Mar	35
07-Mar	14
08-Mar	7
11-Mar	14
12-Mar	14
13-Mar	7
14-Mar	7
22-Mar	16
24-Mar	16
25-Mar	16
27-Mar	24
08-Abr	23
09-Abr	7
21-Abr	16

Fuente: P.H. Reventazón, 2014

Cantidad de sedimentos recolectados en la limpieza de sedimentadores del Fogón, de enero a diciembre del 2014.

Fecha (2014)	Cantidad de sedimentos recolectados m ³	Fecha (2014)	Cantidad de sedimentos recolectados m ³	Fecha (2014)	Cantidad de sedimentos recolectados m ³
14-Ene	67	04-Ago	24	02-Nov	40
27-Ene	8	07-Ago	56	07-Nov	8
14-Feb	16	08-Ago	16	10-Nov	48
10-Mar	30	09-Ago	32	13-Nov	16
27-Mar	24	16-Ago	14	16-Nov	16
02-Abr	16	18-Ago	42	17-Nov	32
08-Abr	65	21-Ago	49	19-Nov	32
24-Abr	40	24-Ago	56	20-Nov	80
29-Abr	7	30-Ago	16	26-Nov	32
02-May	21	01-Sept	32	27-Nov	16
16-May	28	03-Sept	104	28-Nov	40
20-May	16	09-Sept	32	29-Nov	16
31-May	42	13-Sept	56	30-Nov	32
06-Jun	21	15-Sept	8	02-Dic	16
11-Jun	16	18-Sept	8	03-Dic	8
12-Jun	48	20-Sept	16	09-Dic	8
14-Jun	24	21-Sept	16	12-Dic	96
15-Jun	40	23-Sept	8	14-Dic	16
16-Jun	8	26-Sept	8	19-Dic	16
19-Jun	8	29-Sept	72		
25-Jun	51	02-Oct	8		
28-Jun	21	03-Oct	56		
30-Jun	8	04-Oct	16		
01-Jul	42	06-Oct	8		
03-Jul	7	07-Oct	24		
04-Jul	24	11-Oct	64		
12-Jul	8	13-Oct	64		
13-Jul	24	16-Oct	8		
14-Jul	8	20-Oct	16		
16-Jul	48	21-Oct	48		
26-Jul	22	23-Oct	24		
27-Jul	84	27-Oct	24		
30-Jul	14	29-Oct	32		
31-Jul	14	31-Oct	8		

Fuente: P.H. Reventazón, 2014

Anexo 8. Cálculo del caudal de la planta Arbau y el Fogón.

Planta Arbau 120

Concentración sedimentador = 6 m³/día

Volumen sedimentador = 18 ml/L

$$\frac{18 \text{ ml}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ l}}{1\,000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ l}} = 0,000\,018 \times \frac{1\,000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0,018 \text{ m}^3 \frac{\text{sed}}{\text{m}^3} \text{ agua}$$

$$\frac{6 \text{ m}^3}{\text{día}} \div 0,018 \text{ m}^3 \frac{\text{sed}}{\text{m}^3} \text{ agua} = 333,3 \text{ m}^3/\text{día}$$

Fogón

Concentración sedimentador = 8,75 m³/día

Volumen sedimentador = 10 ml/L

$$\frac{10 \text{ ml}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ l}}{1\,000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ l}} = 0,000\,01 \times \frac{1\,000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0,01 \text{ m}^3 \frac{\text{sed}}{\text{m}^3} \text{ agua}$$

$$8,75 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \div 0,01 \text{ m}^3 \frac{\text{sed}}{\text{m}^3} \text{ agua} = 875 \text{ m}^3/\text{día}$$

Anexo 9. Matriz de Cálculo de Dimensionamiento de Sedimentadores.

Diseño de sedimentador con un caudal de 300 m³/día

Diseño de Sedimentadores*			Criterios de diseño
Caudal	m³/día	m³/s	El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
	300	0,003 5	El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
			La carga superficial será entre los valores 2,10 m ³ /m ² /día.
			El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
			Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
			El periodo de operación es de 24 horas por días.
Diámetro de partícula	cm	Metros	Considerado para partícula de arena fina (dato teórico).
	0,001	0,000 01	
Velocidad de sedimentación	cm/s	m/s	La velocidad está en función del diámetro de la partícula, para este caso arena fina (dato teórico).
	0,015 4	0,000 154	
Profundidad H	Metros		La profundidad del sedimentador será entre 1,5- 2,5 m. La profundidad depende de los costos y del área disponible.
	1,5		

As	22,55		<p>Se debe determinar el área superficial de la unidad (As), que es el área superficial de la zona sedimentación, de acuerdo con la relación:</p> $As = \frac{Q}{Vs}$ <p>Siendo: Vs: Velocidad de sedimentación (m/g) Q: Caudal de diseño (m³/s)</p>
Largo mínimo L (Mínimo 5H)	Metros 9		
Ancho mínimo B (Máximo 1/3 L)	Metros 3		
Volumen	m3 34		Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
Relación largo ancho	3,59		La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.
Velocidad horizontal	m/s 0,000 924		<p>Determinar la velocidad horizontal VH (m/s) de la unidad mediante la ecuación. El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.</p> $V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$

Relación vh/vs	6		Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. $\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$
Relación L/H	6		La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20.
Velocidad máxima de salida	m/s 0,15		La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
Área de orificios de salida	M² 0,02	cm² 231,48	Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño. $A_o = \frac{Q}{V_o}$ Siendo: Vo: Velocidad en los orificios (m/s) Q: Caudal de diseño (m ³ /s) Ao: Área total de orificios (m ²)
Tiempo de retención (horas)	Horas 2,7		El tiempo de retención será entre 2-6 horas. Determinar el tiempo de retención To (horas), mediante la relación: $T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$

Diseño de sedimentador con un caudal de 400 m³/día

Diseño de Sedimentadores*			Criterios de diseño
Caudal	m³/día	m³/s	El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
	400	0,004 63	El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
			La carga superficial será entre los valores 2.10 m ³ /m ² /día.
			El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
			Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
			El periodo de operación es de 24 horas por días.
<hr/>			
Diámetro de partícula	cm	Metros	Considerado para partícula de arena fina (dato teórico).
	0,001	0,000 01	
<hr/>			
Velocidad de sedimentación	cm/s	m/s	La velocidad está en función del diámetro de la partícula, para este caso arena fina (dato teórico).
	0,015 4	0,000 154	
<hr/>			
Profundidad H	Metros		La profundidad del sedimentador será entre 1,5- 2,5 m.
	1,5		
<hr/>			

As	30,06		Se debe determinar el área superficial de la unidad (As), que es el área superficial de la zona sedimentación, de acuerdo con la relación: $As = \frac{Q}{Vs}$ Siendo: Vs: Velocidad de sedimentación (m/ Q: Caudal de diseño (m ³ /s)
Largo mínimo L (Mínimo 5H)	Metros 12		
Ancho mínimo B (Máximo 1/3 L)	Metros 3		
Volumen	m³ 45		Debe efectuarse experimentalmente la determinación del volumen máximo que va a producirse.
Relación largo ancho	4,79		La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.
Velocidad horizontal	m/s 0,001 232		Determinar la velocidad horizontal VH (m/s) de la unidad mediante la ecuación. El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente. $V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$

Relación vh/vs	8		Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. $\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$
Relación L/H	8		La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5-20.
Velocidad máxima de salida	m/s 0,15		La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
Área de orificios de salida	m² 0,03	cm² 308,64	Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño. $A_o = \frac{Q}{V_o}$ Siendo: Vo: Velocidad en los orificios (m/s) Q: Caudal de diseño (m ³ /s) Ao: Área total de orificios (m ²)
Tiempo de retención (horas)	Horas 2,7		El tiempo de retención será entre 2-6 horas. Determinar el tiempo de retención To(horas), mediante la relación: $T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$

Diseño de sedimentador con un caudal de 500 m³/día

Diseño de Sedimentadores*			Criterios de diseño
Caudal	m³/día	m³/s	El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
	500	0,01	El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
			La carga superficial será entre los valores 2,10 m ³ /m ² /día.
			El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
			Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
			El periodo de operación es de 24 horas por días.
Diámetro de partícula	cm	Metros	Considerado para partícula de arena fina (dato teórico).
	0,001	0,000 01	
Velocidad de sedimentación	cm/s	m/s	La velocidad está en función del diámetro de la partícula, para este caso arena fina (dato teórico).
		0,0154	
Profundidad H	Metros		La profundidad del sedimentador será entre 1,5- 2,5 m. La profundidad depende de los costos y del área disponible.
		1,5	

As	37,58		Se debe determinar el área superficial de la unidad (As), que es el área superficial de la zona sedimentación, de acuerdo con la relación: $As = \frac{Q}{Vs}$ Siendo: Vs: Velocidad de sedimentación (m/s) Q: Caudal de diseño (m ³ /s)
Largo mínimo L (Mínimo 5H)	Metros 12		
Ancho mínimo B (Máximo 1/3 L)	Metros 3		
Volumen	m³ 56,37		Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que va a producirse.
Relación largo ancho	3,83		La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.
Velocidad horizontal	m/s 0,001 232		Determinar la velocidad horizontal VH (m/s) de la unidad mediante la ecuación. Estel debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente. $V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$

Relación vh/vs	8		Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. $\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$
Relación L/H	8		La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5-20.
Velocidad máxima de salida	m/s 0,15		La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
Área de orificios de salida	m² 0,04	cm² 385,80	Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño. $A_o = \frac{Q}{V_o}$ Siendo: Vo: Velocidad en los orificios (m/s) Q: Caudal de diseño (m ³ /s) Ao: Área total de orificios (m ²)
Tiempo de retención (horas)	Horas 2,7		El tiempo de retención será entre 2-6 horas. Determinar el tiempo de retención To (horas), mediante la relación $T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$

Diseño de sedimentador con un caudal de 600 m³/día

Diseño de Sedimentadores*			Criterios de diseño
Caudal	m³/día	m³/s	El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
	600	0,01	El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
			La carga superficial será entre los valores 2,10 m ³ /m ² /día.
			El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
			Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
			El periodo de operación es de 24 horas por días.
Diámetro de partícula	cm	Metros	Considerado para partícula de arena fina (dato teórico).
	0,001	0,000 01	
Velocidad de sedimentación	cm/s	m/s	La velocidad está en función del diámetro de la partícula, para este caso arena fina (dato teórico).
	0,015 4	0,000 154	
Profundidad H	Metros		La profundidad del sedimentador será entre 1,5-2,5 m. La profundidad depende de los costos y del área disponible.
	1,5		

As	45,09		<p>Se debe determinar el área superficial de la unidad (As), que es el área superficial de la zona sedimentación, de acuerdo con la relación:</p> $As = \frac{Q}{Vs}$ <p>Siendo: Vs: Velocidad de sedimentación (m/s) Q: Caudal de diseño (m³/s)</p>
Largo mínimo L (Mínimo 5H)	Metros 12		
Ancho mínimo B (Máximo 1/3 L)	Metros 4		
Volumen	m³ 68		Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que va a producirse.
Relación largo ancho	3,19		La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.
Velocidad horizontal	m/s 0,001 232		<p>Determinar la velocidad horizontal VH (m/s) de la unidad mediante la ecuación.</p> <p>El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.</p> $V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$

Relación vh/vs	8		Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. $\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$
Relación L/H	8		La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5-20.
Velocidad máxima de salida	m/s 0,15		La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
Área de orificios de salida	m² 0,05	cm² 462,96	Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño. $A_o = \frac{Q}{V_o}$ Siendo: Vo: Velocidad en los orificios (m/s) Q: Caudal de diseño (m ³ /s) Ao: Área total de orificios (m ²)
Tiempo de retención (horas)	Horas 2,7		El tiempo de retención será entre 2-6 horas. Determinar el tiempo de retención To (horas), mediante la relación $T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$

Diseño de sedimentador con un caudal de 700 m³/día

Diseño de Sedimentadores*			Criterios de diseño
Caudal	m³/día	m³/s	El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
	700	0,01	El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
			La carga superficial será entre los valores 2,10 m ³ /m ² /día.
			El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
			Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
			El periodo de operación es de 24 horas por días.
Diámetro de partícula	cm	Metros	Considerado para partícula de arena fina (dato teórico).
	0,001	0,000 01	
Velocidad de sedimentación	cm/s	m/s	La velocidad está en función del diámetro de la partícula, para este caso arena fina (dato teórico).
	0,015 4	0,000 154	
Profundidad H	Metros		La profundidad del sedimentador será entre 1,5-2,5 m. La profundidad depende de los costos y del área disponible.
	1,5		

As	52,61		<p>Se debe determinar el área superficial de la unidad (As), que es el área superficial de la zona sedimentación, de acuerdo con la relación:</p> $As = \frac{Q}{Vs}$ <p>Siendo: Vs: Velocidad de sedimentación (m/s) Q: Caudal de diseño (m³/s)</p>
Largo mínimo L (Mínimo 5H)	Metros 14		
Ancho mínimo B (Máximo 1/3 L)	Metros 4		
Volumen	m³ 79		Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
Relación largo ancho	3,46		La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.
Velocidad horizontal	m/s 0,001386		<p>Determinar la velocidad horizontal VH (m/s) de la unidad mediante la ecuación. Este debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.</p> $V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$

Relación vh/vs	9		Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. $\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$
Relación L/H	9		La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 20.
Velocidad máxima de salida	m/s 0,15		La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
Área de orificios de salida	m² 0,05	cm² 540,12	Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño. $A_o = \frac{Q}{V_o}$ Siendo: Vo: Velocidad en los orificios (m/s) Q: Caudal de diseño (m ³ /s) Ao: Área total de orificios (m ²)
Tiempo de retención (horas)	Horas 2,7		El tiempo de retención será entre 2-6 horas. Determinar el tiempo de retención To (horas), mediante la relación: $T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$

Diseño de sedimentador con un caudal de 800 m³/día

Diseño de Sedimentadores*			Criterios de diseño
Caudal	m³/día	m³/s	El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
	800	0,01	El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
			La carga superficial será entre los valores 2,10 m ³ /m ² /día.
			El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
			Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
			El periodo de operación es de 24 horas por días.
Diámetro de partícula	cm	Metros	Considerado para partículas de arena fina (dato teórico).
	0,001	0,000 01	
Velocidad de sedimentación	cm/s	m/s	La velocidad está en función del diámetro de la partícula, para este caso arena fina (dato teórico).
	0,015 4	0,000 154	
Profundidad H	Metros		La profundidad del sedimentador será entre 1,5- 2,5 m. La profundidad depende de los costos y del área disponible.
	1,5		

As	60,13		<p>Se debe determinar el área superficial de la unidad (As), que es el área superficial de la zona sedimentación, de acuerdo con la relación:</p> $As = \frac{Q}{Vs}$ <p>Siendo: Vs: Velocidad de sedimentación (m/s) Q: Caudal de diseño (m³/s)</p>
Largo mínimo L (Mínimo 5H)	Metros 14		
Ancho mínimo B (Máximo 1/3 L)	Metros 4		
Volumen	m³ 90		Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
Relación largo ancho	3,03		La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.
Velocidad horizontal	m/s 0,001 386		<p>Determinar la velocidad horizontal VH (m/s) de la unidad mediante la ecuación. Este debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.</p> $V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$

Relación vh/vs	9		Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. $\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$
Relación L/H	9		La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5-20.
Velocidad máxima de salida	m/s 0,15		La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
Área de orificios de salida	m² 0,06	cm² 617,28	Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño. $A_o = \frac{Q}{V_o}$ Siendo: Vo: Velocidad en los orificios (m/s) Q: Caudal de diseño (m ³ /s) Ao: Área total de orificios (m ²)
Tiempo de retención (horas)	Horas 2,7		El tiempo de retención será entre 2-6 horas. Determinar el tiempo de retención To (horas), mediante la relación: $T_o = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$

*Fuente: Elaboración propia.

**Fuente: OPS (Organización Panamericana de la Salud, PE). (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y Sedimentadores (en línea)*. Lima, PE. Consultado 12 abr., 2013. Formato pdf. Disponible en <http://www.bvsde.opsoms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>.

Anexo 10. Datos análisis beneficio-costos.

Costos construcción							
Variable	Unidades	Monto	Moneda	Referencia	Observación	Costos en \$/m ³	Supuestos para el cálculo por m ³
Costo metro cubico de construcción en ICE	₡/m ³	250 000,00	₡	Gestión Financiera	-	0,26	Se supone un uso de los sistemas de al menos un año, convertido a dólares
Costo de compra de la bomba	\$	2 000,00	\$	Valores de mercado	-	0,01	Se supone un uso de los sistemas de al menos un año, convertido a dólares
Costo de compra de tanque	₡	7 174 800,00	₡	Valores de mercado	La capacidad de almacenamiento equivale al 50% del volumen de agua por tratar.	0,07	Se supone un uso de los sistemas de al menos un año, convertido a dólares
Total de costos de construcción						0,34	

Costos de operación							
Variable	Unidades	Monto	Moneda	Referencia	Observación	Costos \$/m ³	Supuestos para el cálculo por m ³
Costo por m ³ de agua limpia	m ³	262,00	₡	Aresep		0,49	-
Consumo una bomba	kw/h	122,60	₡	Gestión Financiera ICE	Falta multiplicar por la jornada laboral.	0,01	-
Operario de mantenimiento	hora	2,80	\$	Gestión Financiera ICE	Falta agregar parámetro de cargas sociales para trabajadores ocasiones que sería de 38%	0,07	-
Costo de extracción de sedimentos	\$/m	2,5	-	Gestión Financiera	-	0,05	-
Costo de transporte de sedimentos	\$/m ³ /km	0,55	\$	Gestión Financiera ICE	-	0,11	-
Costos de tratamiento de sedimentos por Gestor de residuos	\$/kg	0,03	\$	Convenio ICE-Madisa Programa Gestión Integral de Residuos (SIGIR)	-	66	-
Costos de tratamiento de agua residual por Gestor de residuos	\$/kg	0,28	\$	Convenio ICE-Madisa Programa Gestión Integral de Residuos (Sigir)	-	420	Suponiendo una densidad del agua sucia de 1 500 kg/m ³
Costo de análisis de laboratorio	Por muestra	110 000,00	₡	Cotizaciones de laboratorios	Análisis mensual	0,01	-
Total de costos operado por tercero						486	
Total de costos operado por el ICE						0,25	

Otros costos referenciales							
Variable	Unidades	Monto	Moneda	Referencia	Observación	Costos	Supuestos para el cálculo por m ³
Costo de contaminación	\$/kg	0,56	\$	Según la ecuación del caso de la Dos Pinos, se toma como el costo de contaminación 2 veces el costo de tratamiento asumiendo costos de gestión cero	-	840,00	Suponiendo una densidad del agua sucia de 1 500 kg/m ³
Costo de contaminación según caso DOS PINOS	\$/m ³	36,00	\$	el caso de la DOS PINOS esa fue la indemnización según lo pagado y los m ³ de agua contaminados	-	36,00	Este valor se obtiene como la división del total de metros cúbicos contaminados entre lo que finalmente se tuvo que pagar como indemnización
Compra de equipo de tratamiento portátil (Tratamiento, almacenamiento y recirculación)	unidad	250 000,00	\$	Cotización Euromateriales	El equipo está diseñado para un caudal de 10 a 11 m ³ /hora	1,37	-
Costo de tratamiento por un tercero (agua residual)	\$/kg	0,28	\$	Convenio ICE-Madisa	-	420,00	Suponiendo una densidad del agua sucia de 1 500 kg/m ³
Costo de tratamiento por un tercero (sedimentos)	\$/kg	0,03	\$	Convenio ICE-Madisa	-	66,00	Suponiendo una densidad de sedimentos de 2 200 kg/m ³

Anexo 11. Análisis costo beneficio.

Caso 1	
Sin tratamiento	Precios (\$/m³)
Beneficios	
Ahorro en los costos de tratamiento de las aguas	420
Ahorro en los costos de tratamiento de sedimentos	66
Total beneficios	486,00
Costos	
Ahorro en gastos por contaminación de cuerpos de agua y/o demandas	840,00
Costos ambientales y sociales (difíciles de contabilizar en este caso)	0
Total costos	840,00
Relación beneficio/costo por metro cúbico	0,58

Caso 2	
Con tratamiento por parte de un tercero	Precios (\$/m³)
Beneficios	
Ahorro en gastos por contaminación de cuerpos de agua y/o demandas	840,00
Costos ambientales y sociales (difíciles de contabilizar en este caso)	0
Total beneficios	840,00
Costos	
Costos de operación y tratamiento por un tercero	486
Total costos	486,00
Relación beneficio/costo por metro cúbico	1,73

Caso 3	
Con tratamiento en los sistemas y recirculación de aguas construido y operado por el ICE	Precios (\$/m³)
Beneficios	
Ahorro en gastos por contaminación de cuerpos de agua y/o demandas	840,00
Beneficio por ahorro en reuso de agua tratada	0,49
Costos ambientales y sociales (difíciles de contabilizar en este caso)	0
Total beneficios	840,49
Costos	
Costos de inversión inicial (construcción de infraestructura)	0,34
Costos de operación y tratamiento por parte del ICE	0,25
Total costos	0,59
Relación beneficio/costo por metro cúbico	1424,56

Caso 4	
Con tratamiento en los sistemas y recirculación de aguas comprado y operado por el ICE	Precios (\$/m³)
Beneficios	
Ahorro en gastos por contaminación de cuerpos de agua y/o demandas	840,00
Beneficio por ahorro en reuso de agua tratada	0,49
Costos ambientales y sociales (difíciles de contabilizar en este caso)	0
Total beneficios	840,49
Costos	
Costos de inversión inicial (construcción de infraestructura)	1,37
Costos de operación y tratamiento por parte del ICE	0,25
Total costos	1,62
Relación beneficio/costo por metro cúbico	518,82