



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN,
TRATAMIENTO, Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS ESPECIALES EN UNA INDUSTRIA DE
PRODUCCIÓN DE CONCRETO**

Pedro Pablo Luna Cabrera

Asesorado por la M.A. Ing. Lilly Patricia Aguilar Smith

Guatemala, abril de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN,
TRATAMIENTO, Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS ESPECIALES EN UNA INDUSTRIA DE
PRODUCCIÓN DE CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PEDRO PABLO LUNA CABRERA

ASESORADO POR LA M.A. ING. LILLY PATRICIA AGUILAR SMITH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
EXAMINADOR	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
EXAMINADOR	Inga. Karla Lizbeth Martínez Vargas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN,
TRATAMIENTO, Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS ESPECIALES EN UNA INDUSTRIA DE
PRODUCCIÓN DE CONCRETO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 17 de noviembre de 2022.

Pedro Pablo Luna Cabrera



EEPFI-PP-2137-2022

Guatemala, 17 de noviembre de 2022

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO, Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS ESPECIALES EN UNA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión Ambiental - Gestión y Tratamiento del Agua - Tratamientos avanzados de tratamiento de agua**, presentado por el estudiante **Pedro Pablo Luna Cabrera** carné número **200413430**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

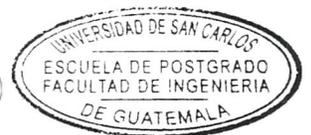
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Lilly Patricia Aguilar Smith
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Lilly Patricia Aguilar Smith
Ingeniera Química
Colegiado No. 2066



EEP-EIMI-1747-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO, Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS ESPECIALES EN UNA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario **Pedro Pablo Luna Cabrera**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2022

LNG.DECANATO.OI.402.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO, Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS ESPECIALES EN UNA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO**, presentada por **Pedro Pablo Luna Cabrera**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Ariabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, abril de 2023

AACE/gaoc

Mi hermana

Luisa Fernanda Luna, que siempre ha estado a mi lado en todo este camino y me ha brindado su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la *alma mater* que me permitió nutrirme de conocimientos.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.

Mi asesora

Ing. Lilly Patricia Aguilar quien me ha brindado todo su apoyo, conocimiento profesional y su amistad. Me ha hecho creer que soy capaz de esto y muchos más méritos en mi carrera profesional.

**Familia y amigos en
general**

A los amigos que conocí durante mis estudios y también a las nuevas amistades que he ido creando en mi ámbito laboral profesional y que me han apoyado en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Aguas residuales	17
7.1.1. Clasificación del agua residual	17
7.1.1.1. Aguas residuales industriales	18
7.1.1.2. Aguas residuales especiales	18
7.1.1.3. Aguas residuales urbanas	18

7.1.2.	Características de las aguas	18
7.1.2.1.	Características físicas	19
7.1.2.1.1.	Turbiedad	19
7.1.2.1.2.	Color	19
7.1.2.1.3.	Temperatura.....	20
7.1.2.1.4.	Conductividad	20
7.1.2.1.5.	Sólidos	20
7.1.2.1.6.	Sólidos disueltos	20
7.1.2.1.7.	Sólidos suspendidos	21
7.1.2.2.	Características químicas	21
7.1.2.2.1.	Demanda química de oxígeno	21
7.1.2.2.2.	Demanda química de oxígeno	22
7.1.2.2.3.	Oxígeno disuelto	22
7.1.2.2.4.	Grasas y aceites	22
7.1.2.2.5.	Potencial de hidrógeno.	23
7.1.2.2.6.	Potencial de oxido reduccion.....	23
7.1.2.2.7.	Nitrógeno y fosforo.....	23
7.2.	Concreto.....	24
7.2.1.	Fundamentos del concreto	24
7.2.1.1.	Concreto recién mezclado.....	25
7.2.1.2.	Concreto endurecido	26
7.2.1.3.	Curado.....	26
7.2.1.4.	Durabilidad	27
7.3.	Plantas de tratamiento de aguas.....	27
7.3.1.	Pretratamientos	28
7.3.2.	Tratamientos primarios.....	28

7.3.3.	Tratamientos secundarios	29
7.4.	Calidad del agua.....	29
7.4.1.	Fuentes de contaminación del agua	30
7.4.2.	Contaminación por microorganismos	30
7.4.3.	Contaminación por químicos	31
7.4.4.	Requisitos de calidad de agua para concreto	31
7.5.	Producción de concreto	32
7.6.	Instalaciones.....	34
7.7.	Proceso de producción	36
7.7.1.	Control, manejo y almacenamiento de materiales ..	36
7.7.2.	Manejo y almacenamiento del cemento	36
7.7.3.	Manejo y almacenamiento del agua	37
7.7.4.	Manejo y almacenamiento de los agregados	37
7.8.	Proceso de manejo.....	39
7.8.1.	Transporte del concreto	39
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	41
9.	METODOLOGÍA.....	45
9.1.	Diseño de la investigación	45
9.2.	Variables.....	46
9.3.	Fases.....	46
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	51
11.	CRONOGRAMA.....	53
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	55

13.	REFERENCIAS	57
14.	APÉNDICE.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol de Problemas.....	9
2.	Esquema de producción de concreto.....	34
3.	Diagrama de disposición de silos y tolvas de pesaje.....	35

TABLAS

I.	Parámetros para la calidad de agua en el concreto.....	32
II.	Variables.....	46
III.	Toma de datos para caracterización.....	51
IV.	Cronograma de ejecución.....	53
V.	Recursos financieros necesarios para la investigación.....	56

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
L	Litro
µm	Micrómetro
mg O ₂ /L	miligramo de oxígeno por litro
mg/L	miligramo por litro
ppm	partes por millón
pH	Potencial de hidrógeno

GLOSARIO

Aglutinante	Son materiales capaces de unir fragmentos de unos o más materiales para formar un conjunto compacto.
Agua	Sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.
Aguas residuales	Las aguas que han recibido uso y cuyas cualidades han sido modificadas.
Cemento	Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua.
Cimbras	Estructura auxiliar que sirve para sostener provisionalmente el peso de un arco o bodega.
Coloidales	Son la formadas por dos fases no miscibles, una dispersa en forma de partículas o gotas y una fase dispersante o continua.
Curado	Proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento.

Deseccación	Es la eliminación de agua de un sólido, líquido o gas, operación que consiste en separar mediante procedimientos no mecánicos de un líquido de un sólido.
Desecho sólido	Son los residuos generados por los humanos día a día, los cuales se caracterizan por presentarse en estado sólido no biodegradable.
Filtración	Separación mecánica de partículas de menor tamaño coloidal.
Flotación	Es un proceso fisicoquímico de tres fases que tiene por objetivo la separación de especies minerales.
Impurificar	Contaminar, adulterar, ensuciar.
Industria	Actividad económica y técnica que consiste en transformar las materias primas hasta convertirlas en productos adecuados para satisfacer las necesidades del hombre.
Materia orgánica	Es la materia conformada por compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos.
Materia prima	Conocido como bien intermedio, es todo bien que es transformado durante un proceso de producción hasta convertirse en un bien de consumo.

Neutralización	Es una reacción entre un ácido y una base.
Parámetro	Es cualquier característica que pueda ayudar a definir o clasificar un sistema particular.
Precipitación	Proceso de obtención de un sólido a partir de una disolución.
Sedimentación	Es una operación de separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas de una suspensión, más densa que el fluido, se separan de éste por la acción de la gravedad.
Suelo	Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física o química de rocas o residuos de seres vivos.

RESUMEN

El siguiente trabajo de protocolo presenta los fundamentos y la estructura para llevar a cabo la investigación en el diseño de un sistema que permita la captación, tratamiento y reutilización del agua residual proveniente de la industria de producción de concreto. Se establece una estructura teórica donde se definen los conceptos de aguas residuales, que son todas aquellas aguas resultantes que sufren transformación en sus propiedades físicas y químicas derivado de la industria en donde se utilizan, para este trabajo en específico se estudiarán las aguas residuales provenientes de la industria de fabricación de concreto premezclado.

El concreto premezclado es un producto utilizado en la industria de la construcción, puede tener diferentes usos y dependiendo de la necesidad de los proyectos así será su aplicación, puede utilizarse en la construcción de puentes, pavimentos, edificios y elementos que conforman diferentes estructuras como techos, paredes o pisos.

En este tipo de industria una de las materias primas principales es el agua que luego de pasar por diferentes procesos sufre distintos cambios físicos y químicos. Uno de los objetivos es establecer el diseño de un sistema que permita inicialmente captar toda el agua residual proveniente del proceso, posteriormente que se pueda tratar para que se alcancen los parámetros mínimos en sus propiedades que permita reutilizarse nuevamente para la fabricación del producto. Se investigarán y definirán todos los parámetros que debe tener el sistema de tratamiento y también el diseño que permitan introducir el agua ya tratada al sistema de producción.

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto presenta la propuesta de diseño de un sistema para realizar la captación de las aguas resultantes del proceso de fabricación de concreto a consecuencia del lavado de los equipos al finalizar la carga de los materiales, para luego ser tratada y que esta misma pueda ser reutilizada para dos fines: limpieza de los camiones revolvedores al finalizar el despacho del producto y proceso de producción de concreto.

El objetivo general es diseñar un sistema que permita disminuir costos por la compra del recurso del agua a un proveedor externo, además de cumplir con los requisitos medio ambientales en la descarga del excedente y manejo adecuado de los desechos resultantes del proceso, el trabajo de investigación se desea presentar las bases teóricas, conceptos y la aplicación de estas para la propuesta el diseño del sistema.

Durante la investigación se estudiarán conceptos de las aguas residuales, su clasificación y propiedades, también se desarrollará el concepto del concreto, cual es el proceso para su producción, las características que debe tener el agua como materia prima principal, esto con el fin de establecer los parámetros que deben alcanzarse durante la etapa de tratamiento. Se estudiarán cuáles son los tipos de tratamiento para las aguas residuales y según sus características cuales son las diferentes etapas que debe tener el sistema.

2. ANTECEDENTES

Alvarado (2016) presentó en su trabajo de graduación *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas para la recirculación en los procesos industriales de la hormigonera de los andes, provincia de Chimborazo*, realizó un sistema de tratamiento de aguas para la recirculación en los procesos industriales en una hormigonera, a través de un muestreo simple de las aguas residuales de la descarga de agua del lavado de los camiones la cual le realizo un análisis fisicoquímico para evaluar los parámetros fuera de rango y en base a esto planteó el diseño del sistema, sedimentador, tanque de filtración y lecho de secado. Por último, evaluaron el agua luego de ser tratada para ya realizar pruebas con cilindros de concreto y verificar la resistencia, la cual cumplía con las normas establecidas en el estudio.

Castillo y Laurent (2016) en su proyecto de graduación *Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales especiales generalizadas en las plantas de concreto del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón del Instituto Costarricense de Electricidad, Siquirres, Limón Costa Rica*, dividieron su estudio en tres fases, en la primera realizaron una caracterización del entorno biofísico y ambiental del proceso de producción de las plantas de concreto, luego en la fase 2 desarrollaron un diagnóstico de las aguas residuales especiales del proceso de producción en donde analizaron los siguientes parámetros: pH, temperatura, turbidez, demanda química de oxígeno (DQO), demanda Biológica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), sólidos sedimentables, grasas y aceites, y en la fase 3 ya con los dato obtenidos plantearon el diseño del sistema de tratamiento.

Guzmán y Perez (2011) explican brevemente que es el concreto premezclado y como se conforma, qué materiales son necesarios para llevar a cabo la fabricación de este producto, plantean la opción de utilizar materiales sólidos para mezclas en donde sustituyen los agregados obtenidos a través de extracciones en los suelos. Un aspecto importante del estudio y de la propuesta es el resultado final obtenido donde se cumple con los parámetros que garantizan cumplir con resistencia del concreto, y a través de estas nuevas mezclas se obtiene un beneficio económico en la reducción del costo de producción del producto.

Chumpitaz y Morales (2019) en su trabajo *Estudio y evaluación del agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento de Surco y San Borja para la elaboración de concreto en Lima metropolitana*, indican que para la construcción de proyectos de desarrollo como las hidroeléctricas es necesario el uso del concreto, en esta tesis se evalúa la construcción de nueva hidroeléctrica en una región de Costa Rica, en donde se utilizaron 6 plantas de concreto, surge la necesidad de evaluar y proponer un sistema de tratamiento de aguas resultantes de la fabricación de concreto y lavado de los mezcladores.

Cerda (2007) Desarrollo de metodología para calificar el desempeño de las plantas de hormigón premezclado desde el punto de vista ambiental, concluye lo siguiente, las plantas no deben ser tratadas como una unidad común, debido a que no todas presentan los mismos problemas, ni presentan las mismas características. Al adoptar un sistema de reciclado total, para que sea eficiente debe estar hecho a medida de las necesidades de cada planta. Ejemplo de esto es la planta ubicada en Quilín, que cuenta con un reciclador, pero por un mal diseño (no se consideraron las cantidades de producción, los tiempos de descarga de camiones) este sistema no da los resultados esperados porque el agua residual no se utiliza en un 100 %, lo que hace que igual existan excesos

de agua residual y como consecuencia finos y cemento que tienen que ser llevados a vertederos después de una decantación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la escasez de agua en Guatemala ha sido un problema que ha incrementado durante varios años por diversas causas, como puede ser el mal manejo del recurso, crecimiento poblacional o liberación de desechos sin tener control adecuado, y también el uso en procesos de diferentes industrias y una de ellas es la industria del concreto, este producto es el segundo más consumido a nivel mundial después del agua. El agua es una parte fundamental para el proceso de producción de concreto, tanto para la mezcla, lavado de los agregados y lavado de los camiones y equipos.

Según el proceso que se realice es importante tomar en cuenta varios factores, uno de ellos es el lugar donde se realiza la descarga de agua resultante del lavado de los equipos. En el lugar donde se llevará a cabo el estudio de investigación actualmente existe un sistema de captación de este elemento para que reciba el tratamiento correspondiente y pueda ser descargada correctamente al sistema de drenajes o se retorne a la línea de producción para hacer un reúso de ella en el proceso productivo. En el proceso actual se utiliza agua de pozo la cual se compra a un proveedor y esta es entregada a través de pipas a los tanques de almacenamiento el cual tiene un impacto significativo en el costo de fabricación del producto final.

Como se mencionó anteriormente en la actualidad existe un sistema de captación en el proceso de lavado, pero este no es suficiente para contener la totalidad de agua generada y que se pueda realizar el correcto tratamiento para su reutilización sin que afecte la calidad del producto. Con respecto a las instalaciones no se cuenta con un sistema capaz de retornar el recurso ya tratado

nuevamente hacia la línea de producción y al mismo ritmo sin que se vea afectada la eficiencia del proceso, lo que dificulta aún más poder realizar un ahorro en el consumo del recurso.

Otro punto importante a evaluar es que no están definidos cuáles deben ser los parámetros que se deben cumplir para la reutilización y esto dificulta llevar un control adecuado para realizar el procedimiento, es importante que se tenga un monitoreo constante, que se definan las frecuencias de las mediciones, los límites en los que se deben encontrar los parámetros, cuales deben ser los parámetros a evaluar, por mencionar algunos puntos relevantes y que esto permita durante todo el proceso tener una trazabilidad del comportamiento de la resistencia del concreto que es la variable principal para garantizar que se cumple con la calidad que se ofrece del producto.

Por último, respecto al lavado de los camiones y equipos con el agua captada en la fosa de decantación, no se puede garantizar que los camiones revolvedores o bombas se encuentren en óptimas condiciones de limpieza interna para que la mezcla cumpla con los requisitos necesarios de calidad, debido a que el agua que se necesita para realizar el mantenimiento luego de ser tratada no cumple con los parámetros que garanticen esas condiciones de limpieza, lo que incrementa el costo por su alto consumo.

Por lo anterior se propondrá el diseño de un sistema para la captación, tratamiento y reutilización de aguas especiales resultantes en el proceso de producción de concreto.

Figura 1. **Árbol del Problema**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

- Formulación del problema
 - Pregunta central
 - ¿Existe un sistema adecuado para el tratamiento del agua especial para la captación, tratamiento y reutilización de agua especial generada en el proceso de producción de concreto?
 - Preguntas auxiliares
 - ¿Existe un alto consumo y mal manejo de las aguas residuales del proceso de producción de concreto?

- ¿Existe un procedimiento para la reutilización eficiente del agua en el proceso de producción de concreto?
 - ¿Se cumple con los parámetros para la reutilización del agua en el proceso de producción de concreto?
- Delimitación del problema

El problema se delimitará al estudio de una planta de producción de concreto premezclado ubicada en la ciudad de Guatemala.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación está enfocado en la optimización para la utilización del recurso agua en el proceso de producción de concreto a través de un diseño en la captación, tratamiento y reutilización de las aguas especiales resultantes de este proceso.

En esta propuesta de mejora la línea de investigación es en el área de medio ambiente, para la gestión y tratamiento de agua, sistemas avanzados de tratamientos y reusó de agua. Los aportes serán en la disminución del consumo del recurso que es extraído de pozos y que afectan el sistema de mantos acuíferos del país, otro aporte importante es que a través de la adecuada captación y tratamiento se podrá proponer un procedimiento para la adecuada disposición de los lodos resultantes del tratamiento y que este tipo de industria pueda contribuir al cuidado del medio ambiente.

Es importante mencionar que el beneficio principal será la reducción en el impacto al medio ambiente ya que la extracción de esta será racionalizada y el manejo de desechos en forma correcta, todo esto aportará en la protección y cuidado del ambiente. También se reducirá el costo en el proceso de fabricación y mantenimiento de los equipos, primero con toda la captación producida por el proceso de producción, luego con el correcto tratamiento y cumplir con todos los parámetros necesarios para su uso en el lavado de equipos y en la reutilización de la línea de producción, también el medio ambiente tendrá un impacto positivo

Es pertinente porque se puede lograr una disminución y correcto uso del recurso de los acuíferos del sistema del país y se reduce la contaminación en las

descargas y manejo de todas aguas especiales resultantes del proceso de producción de concreto.

Por último, cabe mencionar que en el ámbito profesional relacionado a la maestría de Energía y Medio ambiente será en la gestión eficiente y tratamiento del agua, ya que, en el diseño de la investigación para la propuesta, se propondrá un sistema que ayude al tratamiento correcto y uso racionalizado en el proceso de producción del concreto.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un sistema adecuado para la captación, tratamiento y reutilización del agua residual en la industria de producción de concreto.

5.2. Específicos

- Realizar un análisis de la situación actual de la captación, tratamiento y reutilización del agua en una industria de producción de concreto.
- Proponer un procedimiento para la correcta reutilización del agua en una industria de producción de concreto.
- Realizar una caracterización de la calidad del agua para el tratamiento y reutilización en la industria de producción de concreto.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En este trabajo se pretende realizar una propuesta de mejora para la captación, tratamiento y reutilización de las aguas especiales resultantes del proceso de producción de concreto. Con el objetivo principal que la industria del concreto aporte en el cuidado del medio ambiente optimizando el uso del agua que se extrae de pozos y que afectan los acuíferos del país. Será necesario realizar un análisis de la situación actual del sistema con un levantamiento técnico de las instalaciones y equipos, verificar cuál es su funcionamiento, medir la cantidad de agua que resulta del proceso, evaluar las características y propiedades que tiene para verificar cómo afecta a los equipos y al concreto. Con toda la información recopilada se podrá definir cuál debe ser el diseño óptimo del sistema y los parámetros óptimos de operación para hacer reuso del agua en la fabricación del concreto.

El agua es un recurso vital para los seres humanos, en la actualidad no existen controles o leyes adecuadas que regulen la extracción y utilización del recurso, en el proceso de producción del concreto se demanda grandes cantidades de agua, entonces se vuelve necesario que existan buenas prácticas en la industria para el manejo adecuado del recurso, con un diseño óptimo que permita que los costos en la operación sean reducidos y que el impacto ambiental del proceso sea mínimo. Este proyecto va en la línea de medio ambiente específicamente en la gestión y diseño de sistemas avanzados para el manejo de las aguas, el reuso de ellas y el manejo adecuado de los desechos resultantes.

Para el diseño de este tipo de sistemas es importante tener los conocimientos técnicos en el manejo de los recursos renovables en este caso

específicamente el agua y cómo impacta en el medio ambiente el uso de estos recursos, adicional es necesario para el funcionamiento óptimo del sistema los conceptos mecánicos y eléctricos en el montaje e instalación de los equipos para que el sistema alcance los objetivos de todo el proceso.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son el resultado de un proceso ya sea industrial o urbano, dentro de la industria también se puede clasificar si estas son o no especiales, luego de pasar por cualquier tipo de proceso el agua sufre contaminación y cambios en sus propiedades físicas y químicas al final estas transformaciones las convierten en agua residual.

Ramalho (1993), define que las aguas residuales son aquellas que han sido impurificadas por la acción de contaminantes, sufriendo una pérdida en su calidad que puede ser mejorada por la acción de diversos tratamientos. Se caracterizan por acarrear desechos de origen humano y animal, desperdicios caseros, desechos industriales, corrientes pluviales y contaminantes originados por la actividad agrícola.

Es importante comprender que al final las aguas residuales son el resultado de la contaminación por diferentes procesos industriales o urbanos.

7.1.1. Clasificación del agua residual

Las aguas residuales se pueden clasificar en varios tipos, esta clasificación dependerá del tipo de uso que se le da al agua, el tipo de contaminación que esta pueda recibir y consecuencia de esto así será su transformación.

7.1.1.1. Aguas residuales industriales

Para Rigola (2008), son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial, presentan características diferentes en industrias diferentes, pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos, coloreados. Su composición refleja el tipo de materias primas utilizadas dentro del proceso industrial.

7.1.1.2. Aguas residuales especiales

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2016), son generadas por servicios públicos municipales, actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de estas.

7.1.1.3. Aguas residuales urbanas

Según Rigola (2008), son las provenientes de las actividades de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, entre otros. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.

7.1.2. Características de las aguas

Las características de las aguas residuales se dividen en dos en físicas y químicas, las características físicas son aquellas que se pueden percibir y que son de tipo estético y las características químicas son aquellos que muestran un cambio en la composición de estructura molecular del agua, a continuación, se

presentan los principales parámetros para medir cada una de estas características.

7.1.2.1. Características físicas

López (2018), la característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

7.1.2.1.1. Turbiedad

Para Cánepa *et. al.* (2004), es el parámetro que representa la calidad del agua, esta es ocasionada por coloidales que están suspendidas por causa de su magnitud lo que genera que la transparencia sea mínima.

7.1.2.1.2. Color

Para Cánepa *et. al.* (2004), el color que se observa en el agua residual se produce por la presencia de varios elementos o procesos como, por ejemplo, la descomposición de restos vegetales, la presencia de residuos domésticos e industriales, la materia orgánica del suelo y compuestos como el manganeso y hierro.

7.1.2.1.3. Temperatura

Para mantener un ambiente óptimo para una actividad microbiana adecuada la temperatura se encontrará entre un rango de 25 a 35 °C consiguiendo un buen desarrollo de los microorganismos.

7.1.2.1.4. Conductividad

Para Levlin (2010), los sólidos inorgánicos disueltos son los que afectan a la conductividad del agua, este parámetro es de utilidad para conocer la calidad del agua por las concentraciones de sal presentes ya que así se conoce la capacidad de disolución de oxígeno porque mientras más salinidad menos oxígeno hay. Por ello es importante conocer la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica”.

7.1.2.1.5. Sólidos

Para Cánepa *et. al.* (2004), es toda materia orgánica e inorgánica presente en el agua las cuales se consiguen sometiendo una muestra de agua residual a procesos de evaporación o secado a una temperatura y un volumen determinado. Estos pueden influir en las características físicas por ejemplo la turbiedad, color y olor.

7.1.2.1.6. Sólidos disueltos

Para Romero (2004), estos son los sólidos que quedan en el agua después de haber filtrado una muestra están compuestos por sistemas coloidales y solubles estos tienen un tamaño de partícula menor a 1.2 μm . Para su eliminación se realizan procesos de oxidación biológica o coagulación y sedimentación.

7.1.2.1.7. Sólidos suspendidos

Para Romero (2004), son los sólidos que después de un proceso de filtración son retenidos en el papel filtro cuyas partículas están conformadas por los sólidos no filtrados teniendo un tamaño de partícula mayor a 1.2 μm .

7.1.2.2. Características químicas

Para López (2018), las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

7.1.2.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno

Para Metcalf (1991), el parámetro de DBO resulta uno de los más importantes a ser analizado debido a que se utiliza para medir la calidad del agua además nos indica la cantidad de oxígeno a ser necesario para que los microorganismos puedan oxidar la materia orgánica biodegradable presente en el agua todo esto en condiciones aerobias. El ensayo analítico para su determinación se lo realiza mediante la incubación de la muestra con microorganismos a una temperatura de 20 °C y en un periodo de cinco días se tiene el resultado en unidades de mgO_2/L . Por otra parte, el resultado de los análisis va a servir para establecer el oxígeno necesario para que la materia orgánica se estabilice biológicamente, dimensionar y conocer la eficacia de los procesos de tratamiento y controlar los vertidos.

7.1.2.2.2. Demanda química de oxígeno

Según Romero (2004), en aguas industriales, municipales y naturales que posean contaminantes tóxicos se realiza de igual forma el análisis de la DQO para conocer la cantidad de materia orgánica que está presente. Para la determinación de dicho parámetro se utiliza dicromato de potasio como oxidante fuerte, en un medio ácido que puede ser ácido sulfúrico y para favorecer la oxidación de la materia orgánica se utiliza sulfato de plata como catalizador. Todo esto se debe realizar a altas temperaturas que por lo general es de 150 °C y por un periodo de dos horas, el resultado de la DQO puede ser mayor a la de la DBO debido a que se realiza oxidación química, sus unidades son mg/L.

7.1.2.2.3. Oxígeno disuelto

Para Romero (2004), la presencia de oxígeno disuelto en el agua es de gran importancia puesto que es indispensable para la vida acuática y para los microorganismos aerobios, siendo un indicador de la calidad de agua, además que la capacidad de autodepuración de un cuerpo de agua se va a ver afectada por la ausencia de oxígeno disuelto dando lugar así a la creación de unidades de tratamiento. Para procesos biológicos aerobios resulta necesario un suministro de oxígeno y una concentración de OD apropiado para su dimensionamiento y correcta operación. Como muestra en proceso de lodos activados se debe tener el oxígeno necesario para una buena actividad microbiana.

7.1.2.2.4. Grasas y aceites

Para Romero (2004), la presencia de concentraciones altas de grasas y aceites puede originar efectos negativos en el mantenimiento de las unidades de tratamiento y complicar la actividad biológica. En su mayor parte en su

composición se tiene carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos se originan de vertidos domésticos, mataderos, lavanderías y entre otras industrias, según la actividad se va a tener altas o bajas cargas de grasas emulsificadas.

7.1.2.2.5. Potencial de hidrógeno

Según Metcalf (1991), el valor de pH resulta importante para una adecuada tratabilidad del agua residual debido a que este interfiere en diferentes procesos, por lo cual un rango de 6.5 a 8.5 es recomendable para el tratamiento biológico puesto que podrá existir un incremento de la vida biológica y una correcta proliferación.

7.1.2.2.6. Potencial de óxido reducción

Según Romero (2004), para conocer si el agua se encuentra en condiciones anaeróbicas o aerobias se emplea el análisis del potencial de óxido reducción el cual determina la cantidad de materia que se está oxidando o reduciendo.

7.1.2.2.7. Nitrógeno y fósforo

Para Martin (2006) y Metcalf (1991), estos dos elementos nutritivos contribuyen al desarrollo de microorganismos y algas, en cantidades elevadas estos provocan el crecimiento de algas dando como resultado la eutrofización, la contaminación del agua y de la vida acuática presente. El uso de fertilizantes y detergentes son el principal motivo por el cual se originan estos dos elementos en el agua. Por lo tanto, su determinación es esencial para conocer su concentración debido a que se podrá conocer si un tratamiento biológico va a ser

factible o si se tendrá que agregar nitrógeno al agua residual para cumplir con el propósito de tratabilidad.

7.2. Concreto

El concreto es un producto usado en la industria de la construcción, tiene diferentes usos y aplicaciones, paredes, techos, pisos y pavimentos, dependiente del diseño de la estructura y la combinación de diferentes elementos con el concreto se pueden construir diferentes obras, y que beneficia de alguna manera al ser humano, a través de viviendas, edificaciones, carreteras o bien hidroeléctricas.

7.2.1. Fundamentos del concreto

El concreto también llamado hormigón se produce a partir de la mezcla de diferentes materias primas como lo es el cemento, piedras, arenas y agua, luego de pasar por un proceso de dosificado en diferentes proporciones y mezclado para homogeneizar estos materiales entre ellos el resultado final obtenido es el concreto.

Para Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, Tanesi (2004), el concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada, piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementantes (cementicios, cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta.

Para Sánchez (2001), en términos generales el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland hidráulico). un material de relleno (agregados o áridos). agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

7.2.1.1. Concreto recién mezclado

El concreto recién mezclado es aquel que luego de que todos los materiales han sido dosificados y mezclados poseen características que lo hacen fácil de transportar hasta el punto donde será usado, estas características permitirán que los trabajadores lo manipulen y lo apliquen en los moldes donde se fundirá el elemento de la estructura, el diseño de estos elementos definirá cual es el tipo de concreto a utilizar, características como resistencia, fluidez y tipos de agregados.

Para Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, Tanesi (2004), el concreto recién mezclado (amasado) debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla de concreto muy húmeda se puede moldear en el sentido de que puede colarse (colocarse) en el molde o cimbras (encofrado), pero no está dentro de la definición de plástico aquél que es flexible y capaz de ser moldeado de la misma manera que un terrón de arcilla para moldear. En una mezcla plástica de concreto todos los granos de arena y las partículas de grava o piedra son envueltos y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no son propensos a la segregación durante el transporte; y cuando el concreto se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. Durante la colocación, el concreto de consistencia plástica no se desmorona, más fluye lentamente sin segregarse. En la práctica de la construcción, las piezas o elementos muy delgados de concreto y fuertemente armados (reforzados)

requieren mezclas trabajables para facilitar su colocación, pero no con consistencia muy fluida. Es necesaria una mezcla plástica para la resistencia y el mantenimiento de la homogeneidad durante el manejo y la colocación. Como una mezcla plástica es apropiada para la mayoría de las obras en concreto, se pueden usar los aditivos plastificantes (fluidificantes) para que el concreto fluya más fácilmente en elementos delgados y fuertemente reforzados.

7.2.1.2. Concreto endurecido

Posterior a que el concreto ya ha sido depositado en los moldes y colocado de forma correcta para formar el elemento, este inicia un proceso de endurecimiento hasta alcanzar la resistencia deseada, esta duración del endurecimiento dependerá de varios factores como la temperatura misma del concreto, la temperatura ambiente y el diseño de la mezcla.

7.2.1.3. Curado

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, Tanesi (2004), el aumento de la resistencia con la edad continúa desde que el cemento no hidratado aún esté presente, el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80 %, la temperatura del concreto permanezca favorable y haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación.

Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja hasta cerca de 80 % o la temperatura del concreto baja para menos del cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen. Si se vuelve a saturar el concreto después del periodo de secado (deseccación), la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, es mucho mejor que el curado

húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo.

7.2.1.4. Durabilidad

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, Tanesi (2004), la durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto.

7.3. Plantas de tratamiento de aguas

Es importante conocer el concepto general de las plantas de tratamiento de aguas, para cada una de ellas, dependiendo del resultado que se desee obtener así será su diseño y su operación. Las plantas están diseñadas en varias etapas en todo su proceso, cada una de ellas realiza una función específica en el tratamiento hasta alcanzar los objetivos deseados, en cada una de estas etapas el agua recibe un cambio en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Para Russell (2012), una planta de tratamiento de agua residuales (PTAR) es una instalación que mejora los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales provenientes de un ente generador a través de diversos procesos físicos, químicos y biológicos que retiran los contaminantes del agua

para evitar daños al ambiente y a la salud de todos los seres vivos que puedan entrar en contacto con ella o la reutilicen para un fin en específico.

Su función principal es la de cambiar propiedades físicas, químicas y biológicas en el agua, para que esta pueda ser usada con un fin determinado, puede ser para consumo humano o alguna aplicación en la industria, según la aplicación posterior al tratamiento se definirán cuáles son las características que esta debe alcanzar luego del proceso.

7.3.1. Pretratamientos

Los pretratamientos de aguas residuales implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga bien en los receptores o para pasar a un tratamiento secundario a través de una neutralización u homogenización.

Para Alvarado (2016), a esta etapa corresponden todos los procesos que se ubican a la entrada de la planta, su finalidad es eliminar todo tipo de materiales sólidos, evitando obstrucciones en los equipos y un desgaste de estos. Los equipos empleados suelen ser rejas o cribas, tamices, desarenadores, entre otros.

7.3.2. Tratamientos primarios

Su finalidad es remover sólidos suspendidos que son removidos por sedimentación, filtración, flotación y precipitación. Parte de los sólidos suspendidos está constituido por materia orgánica, consecuencia del tratamiento primario. El grado de reducción de estos índices de contaminación depende del proceso utilizado y de las características del agua residual.

7.3.3. Tratamientos secundarios

Según U.S. Agency for International Development (2005), su objetivo es el remover material orgánico en suspensión. Se utilizan procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan o transforman la materia orgánica. El grado de reducción de estos índices de contaminación depende del proceso utilizado y de las características del agua residual.

7.4. Calidad del Agua

Es importante conocer cuáles son las características o parámetros que se deben analizar en el agua, lo cual dependerá del uso que ésta recibirá, estas características definirán la calidad de esta, y apoyará en el diseño del sistema de tratamiento.

Para Garita (2005) y Guzmán *et. al.* (2016), el término calidad del agua hace referencia al grado en el cual el agua se ajusta a los estándares físicos, químicos y microbiológicos que fija el usuario.

Para Prat (1998) y Guzmán *et. al.* (2016), la valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles.

La calidad del agua es un atributo que mide las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido; su estado es determinante para el uso que se le asigne, ya sea como agua potable, para recreación, la agricultura o la industria, por lo que se hace necesaria la existencia de estándares de calidad específicos para los distintos usos.

7.4.1. Fuentes de contaminación del agua

En la industria el agua es un factor importante, tanto en el aspecto humano como en los procesos de producción, durante estos procesos el agua puede contaminarse de distintas formas y de diferentes materiales, dependerá tanto de la industria como del proceso, en el caso de la fabricación del concreto, existen distintas fuentes de contaminación, una de ellas es el lavado de camiones posterior a la entrega del producto, de forma general se comparte una definición de lo que pueden ser las fuentes de contaminación:

Para Ríos-Tobón *et. al.* (2017) y Marrugo y Uribe (2011), en general, el agua está sometida a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros). En la actualidad, la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre, la cual se inicia desde los primeros intentos de industrialización, para transformarse en un problema generalizado.

Está claro que la contaminación realizada por el hombre es la más importante y la que más afecta al medio ambiente, la industria brindará la guía para los diseños de los sistemas que ayuden a la reducción de estas fuentes de contaminación del agua.

7.4.2. Contaminación por microorganismos

Para Abera *et. al.* (2017), algunos microorganismos son indicadores de contaminación microbiológica en el agua. Su presencia determina la existencia de muchos otros organismos causantes de enfermedades.

7.4.3. Contaminación por químicos

Para Bueno-Zavala *et. al.* (2013), incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua, que provienen de vertimientos domésticos, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales contaminantes inorgánicos son: cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También lo son los desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).

Fondo para la comunicación y la educación ambiental, Guzmán *et. al.* (2016), los contaminantes orgánicos son, típicamente, desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, solo por mencionar algunos. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática.

7.4.4. Requisitos de calidad de agua para concreto

Para Valera (2018), el agua empleada en la fabricación y curado del concreto debe de cumplir con las estipulaciones de la Norma NTP 339.088 y ser, preferentemente, potable.

Está prohibido el uso de aguas ácidas; calcáreas; minerales; carbonatadas; agua que provengan de minas o relaves; aguas que con contenido de residuos minerales o industriales; aguas que contengan sulfatos en un porcentaje mayor al 1 %; aguas que contengan algas, materia orgánica, humus o descargas de desagües; aguas que contengan azúcares o sus derivados. Se

utilizarán aguas naturales no potables, con autorización de la inspección, solamente si:

Están limpias y sin contenido de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser perjudiciales para el concreto, acero de refuerzo, o elementos embebidos.

La calidad del agua debe cumplir con ciertos parámetros luego del análisis de laboratorio, a continuación de presentan estos parámetros:

Tabla I. **Parámetros para calidad de agua en el concreto**

Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	1500 ppm
Ph	Mayor a 7
Solidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: Sánchez (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*.

7.5. Producción de concreto

La producción del concreto consiste en la dosificación correcta de los materiales, cantidades que ya han sido establecidas en el diseño del producto, según la resistencia, el tipo de elemento a fundir o fabricar. La producción de concreto inicia desde la recepción de los materiales a utilizar, gravas, arenas, cemento y el agua, cada uno de estos debe cumplir con estándares de calidad definidos por diferentes normativas. Luego de recibir los materiales, también se

deben considerar dónde y cómo estos se almacenarán para luego ser introducidos en la línea de producción y así se puedan mezclar hasta transformarse en concreto.

Según Sánchez (2001), dentro del proceso de producción, la correcta medida de cada uno de los ingredientes que componen la mezcla, es decir su dosificación constituye un aspecto extremadamente importante al cual pocas veces se da la importancia que merece. La falta de suficiente atención en la medida y control de los ingredientes no sólo puede dar como resultado un concreto pobre proveniente de una mezcla bien diseñada, sino también un deficiente inventario de materias primas con sus consecuentes pérdidas económicas. Para asegurar que un diseño de mezcla determinado se está reproduciendo fielmente en el campo, hay que conjugar dos factores en la medida de los ingredientes: dosificación por peso, y cambios en el contenido de humedad de los agregados.

Para Sánchez (2001), la dosificación de los materiales sólidos debe hacerse siempre por peso. ya que si éstos se miden en volumen ello conduce a graves errores. Adicionalmente debido a que los agregados tienen alguna porosidad el agua de mezclado puede ser absorbida o retenida en la superficie de las partículas.

Figura 2. **Proceso de producción de concreto**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Point.

7.6. **Instalaciones**

Las instalaciones son el conjunto de elementos mecánicos, eléctricos y neumáticos que conforman la planta de producción de concreto, dependiendo de las especificaciones técnicas de estos, y de la capacidad que se desea tener para los diferentes proyectos e importante la magnitud de estos así se diseñarán todos los elementos de la planta.

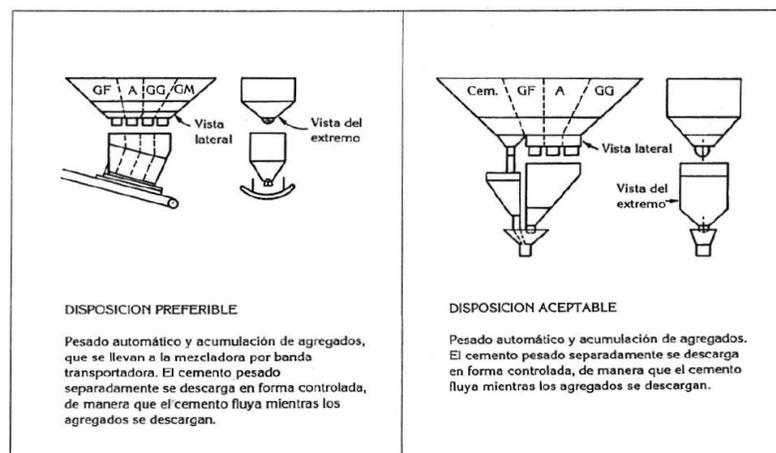
Según Sánchez (2001):

Hoy en día existen muchos tipos de sistemas de producción de concreto, desde mezcladoras pequeñas cuya capacidad puede ser tan baja como 50 litros hasta modernas plantas de producción automatizadas y computarizadas. La elección del sistema apropiado depende

esencialmente de la calidad del concreto a producir, de la importancia de los costos de funcionamiento, del tamaño máximo del agregado de la mezcla, del rendimiento horario de la instalación, así como del tamaño de la obra. Dentro de las mezcladoras se encuentran los siguientes tipos: para construcción en general, montadas sobre camiones y para pavimentaciones.

En cuanto a las plantas de producción de concreto, éstas son instalaciones en donde se centralizan todas las operaciones de producción y suministro, en cuyo caso el concreto se entrega listo para su colocación y se conoce como concreto premezclado. Este tipo de concreto es ampliamente utilizado en todo el mundo, ofrece muchas ventajas respecto a los métodos tradicionales de dosificar y mezclar en obra y constituye hoy en día una de las industrias de la construcción más importantes y avanzadas del mundo. En la mayoría de los países más de la mitad del concreto vaciado en obra es concreto premezclado. (p. 281)

Figura 3. Disposición de silos y tolvas de pesaje



Fuente: Sánchez (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.*

7.7. Proceso de producción

En el proceso de producción para la fabricación de concreto existen varios factores que deben considerarse como lo son el control y manejo de materiales necesarios como el cemento, agua y agregados, controles que a continuación se detallan.

7.7.1. Control, manejo y almacenamiento de materiales

Para Sánchez (2001), como se ha visto cada uno de los componentes del concreto tiene sus propiedades y características que en la mayoría de los casos son logradas a través de procesos de producción anteriores y que deben conservarse con un adecuado manejo para garantizar un buen comportamiento en el concreto ya que los abusos en su manipulación y almacenamiento deterioran esas propiedades.

7.7.2. Manejo y almacenamiento del cemento

Como se mencionó anteriormente el cemento que se emplea en la producción de concreto de preferencia debe ser a granel. Este normalmente es transportado en camiones-silo (conocidos como pipas en nuestro medio), cuya capacidad es del orden de 30 a 45 toneladas y descargado por mecanismos apropiados (compresores de aire) en silos protegidos contra la intemperie y adecuadamente ventilados para impedir la absorción de humedad. En general el interior de un silo de cemento debe ser liso con una inclinación mínima de 50 grados respecto de la horizontal en la tolva inferior para un silo circular, y desde 55 a 60 grados para un silo rectangular los más recomendables son los silos circulares (Sánchez, 2001).

Para el empleo simultáneo de diversos cementos se deben establecer varios silos. Uno por cada tipo e inclusive para cada marca de cemento. En cuanto a la dosificación cada silo debe disponer de un mecanismo apropiado (tornillo sinfín, conducto de aire, alimentador rotatorio, entre otros.) que garantice un flujo constante del material con corte preciso, para lograr pesos exactos de cemento en cada fachada de concreto. De otra parte, los silos de almacenamiento deben ser desocupados con frecuencia preferiblemente una vez por mes, para impedir la formación de pelotas y costras de cemento en su interior (Sánchez, 2001).

7.7.3. Manejo y almacenamiento del agua

El agua de mezclado en zonas urbanas se toma del abastecimiento local. Si no es posible o no existe, hay necesidad de instalar una captación que ofrezca un agua no agresiva. La demanda de agua desde luego depende del tipo de planta, su capacidad de producción, el sistema de mezclado y las condiciones ambientales ya que no es sólo necesaria como ingrediente de la mezcla. Sino también para el lavado de las ollas de los camiones mezcladores después de cada descarga. Pero para efectos de calcular la demanda de agua, en términos generales se puede asumir que, por cada metro cúbico de concreto, es necesario otro metro cúbico de agua (Sánchez, 2001).

7.7.4. Manejo y almacenamiento de los agregados

El almacenamiento de los agregados debe hacerse en patios con suficiente amplitud para permitir la circulación y operación de los equipos destinados a su transporte y manejo. En general en la organización de los patios de almacenamiento para agregados, se deben observar las siguientes recomendaciones (Sánchez, 2001).

- El patio se debe diseñar de manera que la circulación de vehículos no contamine los agregados, y que los accesos estén libres y limpios.
- Para evitar contaminación del material con el piso o fondo, es conveniente que el patio tenga un piso duro (de preferencia concreto o suelo cemento).
- De igual manera, también se debe disponer de un sistema adecuado de drenaje con el fin de evacuar el agua libre del material, evitando humedad diferencial entre los montones.
- Para evitar traslapes entre los acopios de materiales con diferente granulometría se deben proveer muros divisorios.
- Los muros divisorios deben delinear zonas definidas y de volumen apropiado para que cada material se descargue, ordene, almacene y utilice de acuerdo con el sistema de manejo de inventarios FIFO (en inglés, lo primero que entra es lo primero que sale), de manera que se evite el almacenamiento prolongado del material.
- Para ordenar el material, las pilas de almacenamiento se deben construir en capas horizontales o de pendiente suave de tal manera que se eviten las pilas de forma cónica y la descarga del material en los lados inclinados de las pilas (por volteo).
- Se debe evitar el tránsito de camiones, bulldozers, cargadores o cualquier otro vehículo sobre los montones del material debido a que además de contaminar el material, éste se puede quebrar. Con lo cual se altera su granulometría y eventualmente su resistencia.

- Cuando el manejo de los agregados en el patio se ejecuta por medio de cucharones, bandas transportadoras, cangilones. Estos no deben oscilar sobre los montones de agregados de diferente tamaño, a fin de evitar la contaminación con partículas de otros tamaños.
- Se debe evitar la acción del viento sobre la arena seca debido a que esto causa pérdida de finos, segregación del material y en algunos casos contaminación con polvo. Para ello, los muros divisorios deben tener suficiente altura para dar la protección requerida.

7.8. Proceso de manejo

El proceso de manejo se refiere a la posterior fabricación de concreto con la dosificación de materiales directamente a los camiones mezcladores.

7.8.1. Transporte del concreto

El sistema de transporte del concreto bien sea desde una planta central o dentro de la misma obra depende de la capacidad y tiempo de entrega, las condiciones de uso, el acceso y la ubicación del sitio de colocación, los ingredientes de la mezcla y las condiciones ambientales, entre otros factores. Para ello, existen diferentes sistemas, tales como el camión mezclador, el camión de platón fijo o con vuelco que puede tener o no agitadores; recipientes de volteo transportados por camión o ferrocarril; conductos o mangueras y bandas transportadoras. Cualquier procedimiento de transporte es adecuado, siempre y cuando se evite la segregación de la mezcla durante el viaje; el sistema sea rápido, con el fin de evitar pérdidas de agua por evaporación, y no ocurran retrasos o interrupciones por mala organización del transporte que pueden dar lugar a juntas frías o juntas de construcción no previstas (Sánchez, 2001).

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aguas residuales

1.1.1. Clasificación de las aguas residuales

1.1.1.1. Aguas residuales industriales

1.1.1.2. Aguas residuales especiales

1.1.1.3. Aguas residuales urbanas

1.1.2. Características de las aguas residuales

1.1.2.1. Características físicas

1.1.2.2. Características químicas

1.1.3. Calidad de agua

1.1.3.1. Fuentes de contaminación del agua

1.1.3.2. Contaminación por microorganismos

1.1.3.3. Contaminación por químicos

- 1.1.3.4. Requisitos de calidad de agua para concreto
 - 1.2. Concreto
 - 1.2.1. Fundamentos del concreto
 - 1.2.2. Características del concreto
 - 1.2.2.1. Resistencia del concreto
 - 1.2.2.2. Concreto recién mezclado
 - 1.2.2.3. Concreto endurecido
 - 1.2.3. Planta de tratamiento de agua
 - 1.2.3.1. Diseño de plantas de tratamiento
 - 1.2.3.1.1. Tipos de plantas de tratamiento
 - 1.2.3.1.2. Características de una planta de tratamiento
 - 1.2.3.2. Diseño de una planta de tratamiento
 - 1.2.3.2.1. Etapas de una planta de tratamiento
 - 1.2.3.2.1.1. Tratamiento preliminar
 - 1.2.3.2.1.2. Tratamiento primario
 - 1.2.3.2.1.3. Tratamiento secundario
 - 1.2.3.2.1.4. Tratamiento terciario
- 1.3. Producción de concreto
 - 1.3.1. Instalaciones
 - 1.3.1.1. Partes que conforman una concretera
 - 1.3.1.2. Bandas transportadoras
 - 1.3.1.3. Básculas
 - 1.3.1.4. Tolvas de carga
 - 1.3.1.5. Compresores
 - 1.3.1.6. Bombas de agua
 - 1.3.1.7. Dosificadores de aditivo
 - 1.3.2. Equipo móvil

- 1.3.3. Proceso de producción
 - 1.3.3.1. Control, manejo y almacenamiento de materiales
 - 1.3.3.2. Manejo y almacenamiento de cemento
 - 1.3.3.3. Manejo y almacenamiento del agua
 - 1.3.3.4. Manejo y almacenamiento de los agregados
 - 1.3.3.5. Proceso de manejo
- 1.3.4. Transporte del concreto
- 1.3.5. Mantenimiento de equipos

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 2.1. Propuesta de diseño para la captación, tratamiento y reutilización de las aguas residuales
- 2.2. Análisis de la situación actual, tratamiento y reutilización del agua
- 2.3. Propuesta del procedimiento para la correcta reutilización de las aguas residuales
- 2.4. Caracterización de la calidad del agua para el tratamiento y reutilización de las aguas residuales

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño de la investigación

Para la siguiente investigación el diseño será de tipo no experimental descriptivo ya que se utilizarán las bases teóricas de los diferentes conceptos a investigar para definir el diseño un sistema que permita primero lograr la captación del agua al final de proceso, luego definir el diseño que deberá tener el sistema para el tratamiento y así lograr alcanzar los parámetros que debe cumplir el agua posterior a su tratamiento para que esta puede ser reutilizada en el la fabricación del concreto.

La investigación tendrá un enfoque mixto ya que se analizarán y estudiarán variables de tipo cualitativo y cuantitativo, como son las características físicas y química que debe tener el agua residual y también los parámetros posteriores a su tratamiento, serán analizados para que permitan establecer los principales procesos en el diseño del sistema y que se logre reutilizar esta de manera eficiente en la línea de producción.

El alcance de la investigación será de tipo descriptivo, ya que se requiere definir primero todos los conceptos fundamentales de las aguas residuales, como son sus propiedades y tipos, en base a estos conceptos cuales deben ser los procesos por el cual el agua debe pasar para transformarse nuevamente en un producto aceptable y por último los conceptos básicos de lo que es el concreto, su producción y sus usos.

ya que las variables establecidas son de tipo cuantitativo la investigación tendrá un alcance descriptivo cuantitativo.

9.2. Variables

Las variables por estudiar en el desarrollo de la investigación son las que se indican a continuación:

Tabla II. **Variables**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Resistencia del concreto	Es la característica mecánica principal del concreto	Se mide en kg/cm ²
Caudal de agua residual	Es la cantidad de agua resultante del proceso	Se medirá en litros por minuto
Dosificación de agua	Es la cantidad de agua necesaria para el proceso de producción del concreto	Litros
Aguas residuales	Son el resultado del proceso industrial donde el agua sufre contaminación	Características físicas y químicas
Lodos	Es el resultado obtenido luego del tratamiento, los desechos producidos del proceso	M ³
Calidad del agua	Características que debe tener el agua para cumplir con los parámetros de calidad el producto	Turbiedad

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

9.3. Fases

A continuación, se describen las distintas fases del estudio que serán desarrolladas durante la investigación, a través de la recolección de información

bibliográfica, se estudiarán también los últimos análisis realizados a las aguas residuales que se producen actualmente, datos y levantamientos de la situación actual en campo.

- Fase 1: revisión documental

Durante esta primera fase documental, se recopilará toda la información técnica necesaria para el estudio de las aguas residuales, se recopilarán los datos técnicos necesarios del proceso actual de operación en la producción, y también se estudiarán todas aquellas características que debe tener el concreto para cumplir con sus parámetros de calidad, que va desde sus materias primas la transformación y el uso final de este.

- Fase 2: análisis de la información

En esta fase se realizará el análisis de toda la información recopilada, se organizará y se establecerán las bases para el diseño final de la propuesta, que permitan una gestión eficiente de las aguas residuales. Se establecerán las bases para la correcta captación y las fases que tendrá el sistema de tratamiento para poder reutilizarla con fase final del sistema en el proceso de producción. En esta etapa es importante contar con todos los datos e información que permitan que el diseño sea el más eficiente y que se adapte a las necesidades de la situación actual.

- Fase 3: Trabajo de campo

Se realizará un levantamiento y análisis de la situación actual, primero se evaluará cuál es el estado actual del punto donde se realiza la descarga de las aguas residuales, luego se evaluará el estado actual de la línea de producción

actual, cuáles son sus características ya que es importante para el diseño y establecimiento de un adecuado procedimiento que permita la reutilización del agua posterior a su tratamiento y garantizar la calidad del producto final.

- Fase 4: planteamiento de las bases para el diseño del sistema

Luego de recopilada la información técnica, el análisis de esta y el levantamiento de campo de la situación actual, se realizará la propuesta del diseño que permita cumplir con los objetivos establecidos, que nos permita captar de forma eficiente y dar el tratamiento adecuado a la misma para lograr reducir el consumo externo del agua como materia prima en esta industria. La propuesta definirá los procedimientos y parámetros necesarios para brindar una solución al problema detectado, también se definirán las bases que permitan que la industria inicie por un proceso de sostenibilidad y aporte más en el cuidado y uso racional de este recurso.

- Resultados esperados

Los resultados esperados para la investigación será el diseño de un sistema que sea eficiente, donde se logre captar todas las aguas residuales especiales resultantes del proceso, definir cuáles deben ser las características que según su tipo permitan el diseño del sistema de tratamiento, y cuáles deben ser los parámetros que se deben obtener al final de este proceso, para que cumplan con los requisitos establecidos por diferentes normas nacionales e internacionales para su reúso en la producción del concreto premezclado.

Se desea captar en su totalidad toda el agua resultante de este proceso de producción, y así lograr un uso más eficiente del recurso, disminuir la compra a terceros que explotan el suelo para obtener el agua y también lograr una

disminución en costos relacionados a esta materia prima, como son el almacenamiento ya que reutilizado la mayoría de agua tratada esta será inyectada a la línea de producción de una forma más directa, también podrá ser usada para temas de mantenimiento de equipos luego de realizar el traslado del producto, con esto mejorar la calidad y reducción de reclamos por parte de los clientes.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Las técnicas de análisis para la investigación serán las de evaluar las propiedades del agua resultante del proceso de producción, se estudiarán los análisis realizados en el último año para determinar los parámetros de las características físicas y químicas del agua.

Tabla III. **Toma de datos para caracterización**

Parámetro	Dato 1		Dato 2		Dato 3	
	Valor	Fecha	Valor	Fecha	Valor	Fecha
Temperatura						
Potencial de hidrógeno						
Grasas y aceites						
Materia flotante						
Sólidos suspendidos totales						
Demanda bioquímica de oxígeno						
Demanda química de oxígeno						
Nitrógeno total						
Fósforo total						
Arsénico						
Cadmio						
Cianuro total						
Cobre						
Cromo hexavalente						
Mercurio						
Níquel						
Plomo						
Zinc						
Color						
Coliformes fecales						

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Posterior a obtener los resultados se realizará un cruce en los resultados obtenidos y los parámetros que debe cumplir el agua luego de ser tratada para poder ser utilizada en el proceso de producción, los parámetros a cumplir se describen a continuación:

- Cloruros (300 ppm)
- Sulfatos (300 ppm)
- Sales de magnesio (150 ppm)
- Sales solubles totales (1,500 ppm)
- pH (mayor de 7)
- Sólidos en suspensión (1,500 ppm)
- Materia orgánica (10 ppm)

11. CRONOGRAMA

Tabla IV. Cronograma de ejecución

Actividades	AÑO 2023																															
	MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Levantamiento de la situación actual	■	■	■	■																												
Evaluación de los parámetros actuales					■	■	■	■	■	■																						
Diseño del sistema para la captación					■	■	■	■	■	■																						
Diseño del sistema para el tratamiento y reutilización									■	■	■	■	■	■																		
Definir los parámetros que debe cumplir el sistema									■	■	■	■	■	■																		
Definir los procedimientos de operación de los equipos									■	■	■	■	■	■																		
Definir los procedimientos para el mantenimiento de los equipos																	■	■	■	■	■	■										
Consolidación de toda la información y resultados finales																					■	■										
Redacción de informe final																									■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación no experimental cuantitativa, se tendrán en cuenta los gastos para los siguientes recursos:

- Gastos de asesor: se considera el costo equivalente del asesor durante el tiempo que realice las revisiones de la investigación.
- Gastos de equipo: el equipo de cómputo y accesorios necesarios para poder realizar el trabajo de investigación.
- Gastos de internet: se considera el uso y acceso a una red para la búsqueda de información para la elaboración del marco teórico y las bases del diseño para la investigación.
- Gastos varios: gastos como energía, combustible y algún gasto adicional que pueda resultar durante el desarrollo del trabajo de investigación.
- Gastos de librería y papelería: los gastos contemplados aquí serán aquellos relacionados a todas las herramientas papelería, bolígrafos e impresiones.

Tabla V. **Recursos financieros necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Gastos asesores	Q. 3,500.00
Internet	Q. 1,200.00
Equipo de computo	Q. 2500.00
Gastos varios	Q. 800.00
Gastos de librería y papelería	Q. 1500.00
TOTAL	Q. 9500.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

13. REFERENCIAS

1. Abera B, Bezabih B, Hailu D. (noviembre, 2017). Microbial quality of community drinking water supplies: A ten year (2004–2014) analyses in west Amhara, Ethiopia. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9-10, 22–26. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221261391630037X>.
2. Alvarado, K. (2016). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas para la recirculación en los procesos industriales de la hormigonera de Los Andes, provincia Chimborazo* (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
3. Bueno–Zabala, K. A., Pérez-Vidal, A., Torres–Lozada, P. (septiembre, 2013). Identificación de peligros químicos en cuencas de abastecimiento de agua como instrumento para la evaluación del riesgo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(24), 60-75.
4. Cánepa de Vargas, L., Barrenechea, A., Maldonado, V., y Aurazo, M. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría tomo I*. Lima, Perú: CEPIS/OPS.
5. Castillo, M. y Laurent, I. (2016). *Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales especiales generalizadas en las plantas de concreto del Proyecto hidroeléctrico Reventazón del*

Instituto Costarricense de Electricidad (Tesis de licenciatura).
Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica.

6. Cerda, S. (2007). *Desarrollo de metodología para calificar el desempeño de las plantas de hormigón premezclado desde el punto de vista ambiental*. Chile: Universidad Católica de Chile.
7. Chumpitaz, L. y Morales, R. (2019). *Estudio y evaluación del agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento de Surco y San Borja para la elaboración de concreto en Lima metropolitana* (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana de Ciencia Aplicadas, Perú.
8. Garita, P. (2005). *Análisis del riesgo de contaminación de diez nacientes utilizadas por la empresa de servicios públicos de Heredia para el abastecimiento de agua potable* (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
9. Guzmán B., Nava, G., y Bevilacqua, P. (mayo, 2016). Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia: desafíos para la salud ambiental. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(2), 175-183.
10. Guzmán, M. F., y Pérez, D. D. (marzo, 2011). Concreto preparado con residuos industriales. *Revista Educación En Ingeniería*, 6(11), 1-11.
11. Klein, K. (2015). *Eficiencia de la remediación de parámetros de calidad de agua en la planta de tratamiento de aguas residuales La Cerra, Villa Canales, Guatemala, 2008-2013* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

12. Kosmatka, A., Kerkhoff, N., Panarese, A. y Tanesi, M. (2004). *Diseño y control de mezclas*. Estados Unidos: Portland Cement Association.
13. López, M. (2018). *Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito el alto, talara Piura* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú.
14. Marrugo, N. y Uribe, R. (2011). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Ciénaga la Soledad y Bahía de Cispatá, Cuenca del Bajo Sinú, Departamento de Córdoba*. Argentina: Autor.
15. Martin, I. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Canarias: Autor.
16. Metcalf, E. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, disposal and reuse*. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill, Inc.
17. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2006). *Reglamento de descargas y reúso de aguas residuales*. Guatemala: Autor.
18. Prat, N. (1998). *Bioindicadores de calidad de las aguas, Memorias del curso de bioindicadores de calidad del agua*. Colombia: Universidad de Antioquia.
19. Ramalho, R. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.
20. Rigola, M. (2008). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Editorial Marcombo.

21. Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R., Gutiérrez-Builes, L. (febrero, 2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247.
22. Romero, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieros.
23. Russell, D. (2012). *Tratamiento de las aguas residuales: Un enfoque práctico*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.
24. Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá, Colombia: Editorial Bhandar Editores LTDA.
25. U.S. Agency for International Development - USAID (2005). *Guía de referencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Centro América*. Estados Unidos: Autor.
26. Valera, P. (2018). *Influencia de las propiedades físico-químicas del agua del río Shilcayo en la resistencia del concreto $f'c=210$ kg/cm², Tarapoto* (Tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo, Perú.

14. APÉNDICE

Apéndice 1. Matriz de coherencia y conceptualización

Problema	Objetivo general	Marco teórico	Hipótesis	Variables	Indicadores
Deficiencia en el manejo de las aguas residuales especiales	Diseñar un sistema adecuado para la captación, tratamiento y reutilización del agua en la industria de producción de concreto.	Aguas Residuales			
PREGUNTA PRINCIPAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Concreto	El presente trabajo de investigación no comprobará una hipótesis	Concreto Agua Residual	Propiedades químicas y físicas Resistencias kg/cm ² M3 de concreto
¿Existe un sistema adecuado para el tratamiento del agua especial para captación, tratamiento y reutilización de agua especial generada en el proceso de producción de concreto?	1. Realizar un análisis de la situación actual de la captación, tratamiento y reutilización del agua en una industria de producción de concreto.	Plantas de Tratamiento Proceso de producción de concreto			

Continuación apéndice 1.

Preguntas secundarias	Objetivos específicos	Marco teórico	Hipótesis	Variables	Indicadores
<p>¿Existe un alto consumo y mal manejo de las aguas residuales del proceso de producción de concreto?</p> <p>¿Existe un procedimiento para la reutilización eficiente del agua en el proceso de producción de concreto?</p> <p>¿Se cumplen con los parámetros para la reutilización del agua en el proceso de producción de concreto?</p>	<p>2. Proponer un procedimiento para la correcta reutilización del agua en una industria de producción de concreto.</p> <p>3. Realizar una caracterización de la calidad del agua para el tratamiento y reutilización en la industria de producción de concreto.</p>				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 2. Necesidades por cubrir

No.	Aspecto	Descripción
1	Descripción de las necesidades laborales que el trabajo pretende cubrir en el contexto específico del problema	En este trabajo se pretende realizar un diseño para la captación, tratamiento y reutilización de las aguas especiales resultantes del proceso de producción de concreto.
2	En el ámbito nacional o regional	Que la industria del concreto aporte en el cuidado del medio ambiente optimizando el uso del agua que se extrae de pozos y que afectan los acuíferos del país.
3	Descripción detallada del esquema o arquitectura de la solución que se propone ensayar para resolver el problema planteado	Será necesario realizar un análisis de la situación actual del sistema con un levantamiento técnico de las instalaciones y equipos, verificar cuál es su funcionamiento, medir la cantidad de agua que resulta del proceso, evaluar las características y propiedades que tiene para hacer verificar como afecta a los equipos y al concreto. Con toda la información recopilada se podrá definir cuál será el diseño óptimo del sistema y los parámetros óptimos de operación para hacer reuso del agua en la fabricación del concreto.
4	Argumentar la originalidad en el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría	El agua es un recurso vital para los seres humanos, en la actualidad no existe controles o leyes adecuadas que regulen la extracción y utilización del recurso, en el proceso de producción del concreto se demanda grandes cantidades de agua, entonces se vuelve necesario que existan buenas prácticas en la industria para el manejo adecuado del recurso, con un diseño óptimo que permita que los costos en la operación se reducidos y que el impacto ambiental del proceso sea mínimo.

Continuación apéndice 2.

5	Argumentar la pertinencia en el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría	Este proyecto va en la línea de medio ambiente específicamente en la gestión y diseño de sistemas avanzados para el manejo de las aguas, el reúso de ellas y el manejo adecuado de los desechos resultantes.
6	Argumentar la validez técnica en el marco de la práctica profesional del ámbito de la maestría	Para el diseño de este tipo de sistemas es importante tener los conocimientos técnicos en el manejo de los recursos renovables en este caso específicamente el agua y como impacta en el medio ambiente el uso de estos recursos, adicional es necesario para el funcionamiento optimo del sistema los conceptos mecánicos y eléctricos en el montaje e instalación de los equipos para que el sistema alcance los objetivos de todo el proceso.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.