

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

Dimensionamiento del sistema de acondicionamiento de agua residual de una planta empacadora de mariscos, para su reúso en los condensadores evaporativos.

Proyecto de Graduación sometido a la consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Carlos Enrique Coy Herrera

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2022

Proyecto de graduación sometido a la consideración de la Escuela de Ingeniería Química
como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Sustentante:

Carlos Enrique Coy Herrera

Aprobado por:



M.Sc. Paula Solano Sánchez
Universidad de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Química

Presidente del Tribunal



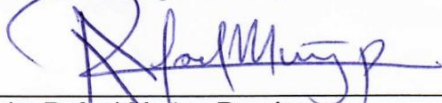
M.sc. Fernando González Chacón
Universidad de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Química

Director



M.sc. Bernardo Mora Gómez
Universidad de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Química

Lector



Lic. Rafael Muñoz Ramírez
Asesor independiente

Lector



Lic. Luis Urvina Savelli
Universidad de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Química

Miembro invitado

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2022

Dedicatoria

Dedicado a Nidia, Diego y Mariana, que me han motivado a salir adelante y me han apoyado en las buenas y en las malas.

A don Enrique por su paciencia.

En memoria de doña Xinia.

Agradecimientos

A René Diers y Walter González, por su interés y valiosa colaboración en la realización de este trabajo.

A Fernando González Chacón por su guía y motivación.

A Bernardo Mora y Rafael Muñoz por su colaboración y consejos.

A mi familia, por su paciencia y apoyo incondicional.

RESUMEN

El objetivo principal del presente proyecto es “dimensionar un sistema de acondicionamiento de agua residual de una planta empacadora de mariscos, para su reúso en los condensadores evaporativos de la empresa”.

En primer lugar, se estudia la operación de los dos condensadores evaporativos, los cuales son parte del sistema de refrigeración que trabaja 24 horas al día, 365 días al año. El condensador #1 utiliza agua potable a razón de $3.28 \text{ m}^3/\text{d}$ y mantiene 5.9 ciclos de concentración, mientras que el condensador #2 utiliza $5.88 \text{ m}^3/\text{d}$ de agua potable y mantiene apenas 1.7 ciclos de concentración debido a una fuga en el sello mecánico de la bomba de recirculación mientras se desarrolló el presente trabajo. Para evitar las distorsiones en el consumo de agua y en los ciclos de concentración provocada por la fuga, se utilizan valores teóricos a 4 ciclos de concentración para ambos equipos quedando el consumo de agua potable en $3.84 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ y $3.65 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente (que equivale a $3.32 \text{ m}^3/\text{d}$ y $3.16 \text{ m}^3/\text{d}$).

La caracterización del agua de los condensadores evaporativos se realizó con base a los análisis aportados por la empresa y de acuerdo con la bibliografía se calcularon los valores que debería tener el agua de reposición proveniente del sistema propuesto de acondicionamiento del agua para reúso, para trabajar los condensadores evaporativos al menos a 4 ciclos de concentración.

A continuación, se estudia la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales y se caracteriza el flujo y calidad del efluente con los datos suministrados por la empresa. Se reporta un caudal promedio de $1.0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ($86.6 \text{ m}^3/\text{d}$), lo que indica que se tendría suficiente caudal para suplir el agua de reposición en los condensadores evaporativos, la caracterización del efluente se realizó mediante dos análisis en un laboratorio privado.

Una vez caracterizada el agua residual se establecieron las necesidades de tratamiento y según la bibliografía consultada, se propone utilizar reactores biológicos secuenciales seguidos de un proceso de coagulación - floculación y otro de filtración para eliminar la carga orgánica, turbidez y los sólidos suspendidos. Además, se propone el uso de un desmineralizador para disminuir la concentración de calcio, magnesio, sílice, alcalinidad y cloruros mediante un proceso de intercambio iónico. El sistema de control propuesto ayuda a mantener los niveles de los tanques y reactores, mantener los tiempos adecuados de reacción y asegurar que el agua enviada a los condensadores evaporativos cumple con los parámetros establecidos.

La inversión de capital fijo para llevar a cabo este proyecto es de \$ 57 979.52 con un costo total de tratamiento de \$ 50 779.14. La viabilidad económica del proyecto se evalúa mediante el VAN el cual, para las condiciones del sistema propuesto, es negativo por que los ahorros generados por el proyecto son menores a la inversión que se debe realizar. Sólo en un escenario en el que se logre disminuir la inversión y el costo del tratamiento a raíz del mejoramiento de la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, junto con un aumento de más de cuatro veces en el caudal del agua reutilizada, se lograría un valor positivo del VAN, por lo que se concluye que no se debe realizar la inversión si sólo se va a reutilizar el agua en los condensadores evaporativos.

Se recomienda hacer una evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad del efluente y un estudio para saber los procesos y las cantidades que se consumen de agua potable, y así poder disminuir su consumo.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Índice general	VI
Índice de cuadros	VIII
Índice de figuras	XII
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Sistemas de refrigeración	4
Capítulo 3. Tratamiento de aguas residuales.....	15
Capítulo 4. Descripción de los procesos	23
Capítulo 5. Propuesta del sistema de tratamiento.....	38
Capítulo 6. Dimensionamiento del sistema propuesto.....	51
Capítulo 7. Evaluación de costos del sistema propuesto	61
Capítulo 8. Protocolo de operación	66
Capítulo 9. Conclusiones y recomendaciones.....	77
Capítulo 10. Nomenclatura	79
Capítulo 11. Bibliografía.....	82
Apéndices.....	86
Apéndice A	
Datos utilizados para el dimensionamiento	87

Apéndice B	
Resultados intermedios y resultados del dimensionamiento	97
Apéndice C	
Muestra de cálculo.....	107
Anexos.....	132

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Caracterización de las aguas residuales del procesamiento de mariscos.	20
Cuadro 3.2 Distribución del consumo de agua en una planta procesadora de mariscos según Tay.....	20
Cuadro 4.1 Características de los condensadores evaporativos.....	26
Cuadro 4.2 Descripción de los equipos del diagrama de flujo del agua en los condensadores evaporativos.	28
Cuadro 4.3 Características físico – químicas promedio del agua potable y del agua en los condensadores evaporativos.....	29
Cuadro 4.4 Condiciones operativas promedio de los condensadores evaporativos.	29
Cuadro 4.5 Nomenclatura de los equipos del diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empacadora de mariscos.....	33
Cuadro 4.6 Dimensiones de los tanques de la PTAR.....	34
Cuadro 4.7 Análisis adicionales del efluente de la PTAR.....	35
Cuadro 4.8 Análisis obligatorios del efluente de la PTAR	36
Cuadro 4.9 Límites permisibles para el reúso tipo 1	36
Cuadro 5.1 Consumo de agua de los condensadores evaporativos a 4 ciclos.....	38
Cuadro 5.2 Características que debe mantener el agua en los condensadores evaporativos.	39
Cuadro 5.3 Características que debe tener el agua de reposición de los condensadores evaporativos al reutilizar el efluente de la PTAR y trabajar a 4 ciclos de concentración.	40
Cuadro 5.4 Necesidad de tratamiento del contenido orgánico del efluente de la PTAR para utilizarlo como agua de reposición de los condensadores evaporativos.	41

Cuadro 5.5 Necesidad de tratamiento de las características físico – químicas del efluente de la PTAR para utilizarlo como agua de reposición de los condensadores evaporativos.	41
.....	50
Cuadro 6.1 Características del afluente y efluente del SBR.	51
Cuadro 6.2 Valores de diseño SBR	52
Cuadro 6.3 Valores de diseño de los sopladores del SBR	52
Cuadro 6.4 Resultado del dimensionamiento de los SBR	53
Cuadro 6.5 Requerimientos de aireación de los SBR	53
Cuadro 6.6 Resultados del dimensionamiento de la bomba de alimentación B-101	54
.....	54
Cuadro 6.7 Resultados del dimensionamiento de la bomba de alimentación B-102	54
.....	54
Cuadro 6.8 Resultado del dimensionamiento del tanque de almacenamiento T-101	55
.....	55
Cuadro 6.9 Resultados del dimensionamiento floculador FL-101	56
Cuadro 6.10 Características del afluente y efluente del floculador.	56
Cuadro 6.11 Características de las bombas dosificadoras BD-101 y BD-102	56
Cuadro 6.12 Resultado del dimensionamiento del filtro F-102.	57
Cuadro 6.13 Resultado del dimensionamiento del filtro F-103.	57
Cuadro 6.14 Datos del desmineralizador F-104	58
Cuadro 6.15 Resultados del dimensionamiento de la bomba de filtración B-103 ..	58
Cuadro 6.16 Resultado del dimensionamiento del tanque de almacenamiento T-102	59
.....	59
Cuadro 6.17 Capacidad requerida de la bomba dosificadora de cloro BD-103	59
Cuadro 6.18 Resultados del dimensionamiento de la bomba de agua limpia B-104	60
.....	60
Cuadro 7.1 Costos de los equipos requeridos.....	61
Cuadro 7.2 Estimación de la inversión de capital fijo	62
Cuadro 7.3 Capital de trabajo para el sistema propuesto.....	63

Cuadro 7.4 Inversión total de capital (ITC).....	64
Cuadro 7.5 Costo total del tratamiento (CTT), del sistema propuesto	64
Cuadro 7.6 Valor actual neto del sistema propuesto	65
Cuadro A.1 Características físico – químicas del agua potable utilizada en los condensadores evaporativos.	87
Cuadro A.2 Características físico – químicas del agua en el condensador evaporativo #1 de la Planta Empacadora de Mariscos.....	88
Cuadro A.3 Características físico – químicas del agua en el condensador evaporativo #2 de la Planta Empacadora de Mariscos.....	90
Cuadro A.4 Datos de los contadores de agua potable de los condensadores evaporativos de la Planta Empacadora de Mariscos.....	91
Cuadro A.5 Resultados de la caracterización del efluente de la PTAR	92
Cuadro A.6 Análisis adicionales para la caracterización del efluente de la PTAR .	92
Cuadro A7 Datos del efluente de la PTAR suministrados por la Planta Empacadora de Mariscos.	93
Cuadro A.8 Datos para el cálculo de la potencia de las bombas.....	94
Cuadro A.9 Datos para el cálculo de las dimensiones del floculador	95
Cuadro A.10 Dosis de coagulante y floculante recomendados por el proveedor. ...	95
Cuadro A.11 Datos para el cálculo de las dimensiones del filtro F-102.	95
Cuadro A.12 Datos para el cálculo del consumo de hipoclorito de sodio	95
Cuadro A.13 Datos utilizados para el cálculo del valor actual neto	96
Cuadro B.1 Características físico – químicas promedio del agua potable y del agua en los condensadores evaporativos.....	97
Cuadro B.2 Consumo diario de agua potable de los condensadores evaporativos.	97
Cuadro B.3 Consumo de agua promedio de los condensadores evaporativos.	98
Cuadro B.4 Ciclos de concentración promedio de los condensadores evaporativos.	98
Cuadro B.5 Cálculo del consumo de agua en los condensadores evaporativos....	99

Cuadro B.6 Cálculo del consumo de agua en los condensadores evaporativos a 4 ciclos de concentración.....	99
Cuadro B.7 Datos de producción de lodos en los SBR	99
Cuadro B.8 Datos del consumo de aire en los SBR	100
Cuadro B.9 Cálculos de las potencias de las bombas.....	100
Cuadro B.10 Cálculos de las dimensiones del floculador.	101
Cuadro B.11 Cálculos de la dosificación de coagulante y floculante	101
Cuadro B.12 Cálculo de las dimensiones del filtro F-102.	102
Cuadro B.13 Cálculo de las dimensiones del filtro F-103.	102
Cuadro B.14 Cálculo de la dosis de hipoclorito de sodio.....	102
Cuadro B.15 Costo mensual de insumos para la operación del sistema propuesto	103
Cuadro B.16 Requerimientos energéticos mensuales del sistema propuesto	103
Cuadro B.17 Costo energético mensual del sistema propuesto	103
Cuadro B.18 Costo mensual de la mano de obra.....	104
Cuadro B.19 Costo anual variable del sistema propuesto (CVP).	104
Cuadro B.20 Costo anual fijo del sistema propuesto (CFP).	104
Cuadro B.21 Datos para la determinación de los beneficios del proyecto.	105
Cuadro B.22 Datos para el cálculo del valor actual neto.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama ideal del ciclo de refrigeración.....	4
FIGURA 2.2 CICLOS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.....	5
FIGURA 2.3 CONDENSADOR EVAPORATIVO.	8
FIGURA 4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESAMIENTO DE MARISCOS.	25
FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL AGUA EN LOS CONDENSADORES EVAPORATIVOS....	27
FIGURA 4.2 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPACADORA DE MARISCOS.	33
FIGURA 5.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO PARA EL REÚSO DEL EFLUENTE DE LA PTAR.....	43
FIGURA 5.2 CONTROL DE NIVEL DE LOS SBR	47
FIGURA 5.3 CONTROL DE NIVEL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA LIMPIA.	48
FIGURA 5.4 CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE CLORO EN EL AGUA LIMPIA.	49
FIGURA 5.5 CONTROL DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA LIMPIA HACIA LOS CONDENSADORES.....	50
FIGURA 8.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO PARA EL REÚSO DEL EFLUENTE DE LA PTAR.....	67

Capítulo 1. Introducción

1.1 Justificación del proyecto

El agua es uno de los recursos más importantes, esencial para todas las actividades humanas y en general para toda la vida en la Tierra. Durante mucho tiempo se había considerado al agua como un “commodity” abundante y de bajo costo, pero en las últimas décadas, esta percepción ha variado debido a la competencia por el agua que se da entre las comunidades y las diferentes actividades productivas. Según el Programa Estado de la Nación, el agua “se encuentra en una situación que compromete su sostenibilidad. Es un recurso vulnerable tanto en términos de disponibilidad (por la variación en los usos del suelo y el cambio climático) como de calidad (por efecto de la contaminación)”.

En la industria alimentaria, el agua se utiliza como ingrediente, para lavado de la materia prima, en la cocción, para limpieza y desinfección de equipos y áreas de trabajo, para operaciones auxiliares como la refrigeración de productos y equipos o la producción de calor, para transporte, como disolvente, etc.

En los últimos años, muchas empresas han hecho esfuerzos para reducir el consumo de agua potable y han invertido en sistemas que permiten la reutilización del agua dentro de las fábricas. En el caso de la industria de alimentos los aspectos de inocuidad son fundamentales para mantener la calidad del producto, por lo que suelen reutilizar los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales sólo en operaciones donde no entran en contacto directo con los alimentos, como el lavado de camiones, pisos de almacenes, sistemas de refrigeración, riego de zonas verdes, etc.

La empresa en la que se desarrolla el presente trabajo tiene como objetivo reutilizar el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, con el fin de disminuir costos por el consumo de agua potable y cumplir las políticas de su

Sistema de Gestión que indican que la empresa tiene como compromiso fundamental “la protección, manejo responsable del medio ambiente y el desarrollo sostenible”. Además, en su Política de Responsabilidad Social, indica que la empresa tiene como compromiso fundamental “garantizar un ambiente laboral seguro y un control sobre los impactos ambientales asociados a sus productos y servicios”.

Además de los aspectos económicos y ambientales, la empresa necesita que el reúso que se le haga al agua residual no afecte de ninguna forma la inocuidad del procesamiento y empaque de mariscos y que sea un reúso lo más constante posible a lo largo del año y no solamente estacional, como lo sería el riego de las zonas verdes.

Por estas consideraciones, surge el proyecto de determinar qué tratamiento darle al efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales y de dimensionar el sistema necesario para que dicho efluente alcance los parámetros adecuados para poder reutilizarlo como agua de reposición de los condensadores evaporativos y así eliminar o disminuir el uso del agua potable en éstos.

No será objeto de este trabajo determinar el consumo de agua en cada operación del proceso productivo de la empresa, ni evaluar o modificar la actual planta de tratamiento de aguas residuales.

Este proyecto involucra una de las actividades propias de la Ingeniería Química como es el uso eficiente de recursos en un proceso industrial, con el fin de hacerlo más rentable y disminuir su impacto al medio ambiente. También se busca promover el uso racional del agua potable y la reutilización del agua residual en sistemas de enfriamiento.

1.2 Descripción general de la empresa

La empresa en la que se desarrolla el presente trabajo de graduación se dedica al procesamiento de mariscos. Fue inaugurada en noviembre del 2005 en la provincia de Puntarenas, y diseñada de acuerdo con las directrices europeas. Han realizado exportaciones de mariscos congelado de mar, de cultivo orgánico, certificado y cultivo tradicional. También, han exportado mariscos precocidos congelados, tanto de mar, como cultivado y desde el 2013, incursionaron con la exportación de mariscos frescos.

La empresa “forma parte del sector exportador en la industria alimentaria. Según el número de colaboradores e ingresos de exportación, se clasifica como una empresa de tamaño mediano” (Portuguez. 2011). Debido a las variaciones en la demanda, el proceso productivo de la empresa empacadora de mariscos no es continuo durante todo el año, por lo que las jornadas laborales varían de 8 horas diarias, 5 días a la semana a más de 16 horas diarias 6 días a la semana. Esto hace que la generación de agua residual tampoco sea constante, sino que varía de acuerdo con el tiempo de trabajo. Lo que sí trabaja 24 horas al día, los 7 días de la semana es el sistema de enfriamiento, mediante el cual se logra mantener las temperaturas adecuadas en las bodegas para que tanto, la materia prima como el producto terminado, cuenten con las condiciones adecuadas que garanticen la calidad y la inocuidad de estos.

La empresa se encuentra en una zona industrial de Barranca, Puntarenas, a 27 msnm. Según el Instituto Meteorológico Nacional, esta zona tiene una temperatura media de 25 °C a 28 °C, un marcado período seco que dura 4 meses y tiene en promedio 111 días con lluvia al año y una precipitación anual de 2637 mm.

En esta zona de Puntarenas sí se cuenta con alcantarillado sanitario que lleva las aguas residuales residenciales e industriales a la planta de tratamiento del AYA. Por esto, la empresa vierte tanto las aguas negras como el efluente de su planta de tratamiento de aguas residuales a dicho alcantarillado.

Capítulo 2. Sistemas de refrigeración

2.1 Ciclo de refrigeración

La Planta Empacadora de Mariscos cuenta con un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, el cual es el que se utiliza con mayor frecuencia en los sistemas modernos de refrigeración, donde el “medio para absorber calor a temperatura constante está dado por la evaporación de un líquido a presión constante; de igual manera, la condensación del vapor después de la compresión hasta una presión superior sirve para rechazar calor a temperatura constante”. El ciclo de refrigeración por compresión de vapor se muestra en la figura 2.1 y se puede resumir en cuatro pasos:

1. Estrangulamiento en un dispositivo de expansión (a entalpía constante).
2. Absorción de calor a presión constante en un evaporador.
3. Compresión isentrópica en un compresor.
4. Rechazo del calor a presión constante en un condensador.

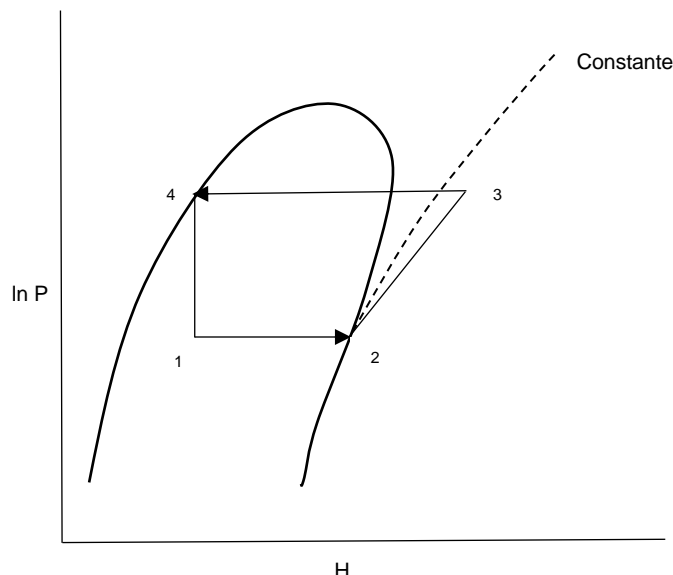


Figura 2.1 Diagrama ideal del ciclo de refrigeración.
Smith (1989).

A partir del diagrama mostrado en la figura 2.1, se puede observar los cambios del refrigerante. Se aumenta la presión del vapor saturado proveniente del depósito caliente entre el punto 2 y 3, por lo que se realiza una compresión isentrópica. Este proceso se realiza por medio del trabajo mecánico de un compresor. En la siguiente etapa entre el punto 3 y 4, se realiza un cambio de fase de vapor sobrecalentado hacia líquido saturado. Esto se realiza eliminando el calor absorbido, en el condensador hacia el depósito a baja temperatura. Luego se baja la presión del líquido saturado con una válvula de expansión, bajando también la temperatura y formando una mezcla líquido – gas, entre el punto 4 y 1. Esta mezcla llegará al evaporador y se encargará de recibir el calor del depósito caliente para llegar a formarse vapor saturado (entre el punto 1 y 2), y empezar de nuevo el ciclo de refrigeración.

2.2 Componentes principales de un circuito de refrigeración.

El proceso de refrigeración “requiere una turbina o expansor que opere con una mezcla difásica”, (Smith), un evaporador, un compresor, y un condensador como se muestra en la figura 2.2

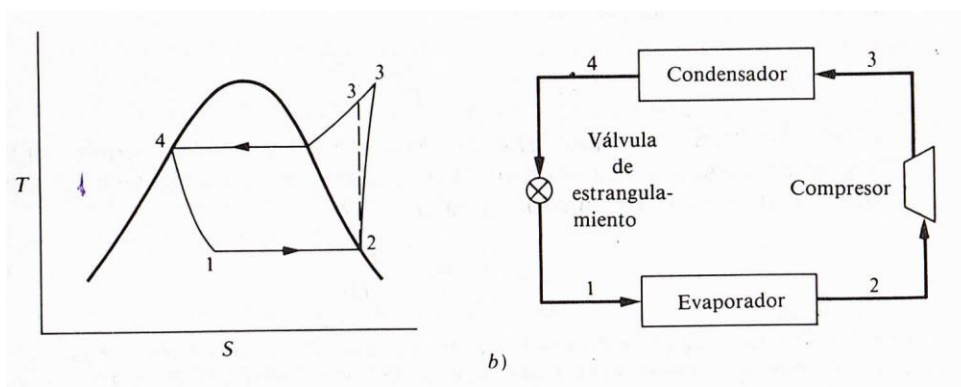


Figura 2.2 Ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Smith (1989).

1.1.1 Válvula de expansión

Según Dossat, la válvula de expansión es el elemento encargado de regular el flujo de refrigerante proveniente del condensador y que se dirige hacia el evaporador.

1.1.2 Evaporador

El evaporador es un intercambiador de calor ubicado en el espacio que se desea enfriar y que absorbe el calor proveniente de dicho espacio. En este equipo es donde se lleva a cabo la evaporación del refrigerante y se alcanzará una temperatura correspondiente a la temperatura de evaporación del refrigerante utilizado.

1.1.3 Compresor

Según Dossat, el compresor es el equipo encargado de suministrar el trabajo al sistema para elevarle la presión y temperatura al refrigerante antes de ser enviado al condensador, pero además mantiene la baja presión del evaporador, que permite la vaporización del refrigerante.

1.1.4 Condensador

El condensador de un sistema de refrigeración es un intercambiador de calor donde se extrae el calor sensible y latente del vapor refrigerante, así el refrigerante primero es enfriado hasta su condición de saturación y luego es condensado.

Según Dossat, existen diferentes tipos de condensadores, pueden ser enfriados por aire, enfriados por agua y evaporativos.

En los condensadores evaporativos se le rocía agua al serpentín con refrigerante. Esta agua se enfría mediante un flujo de aire del exterior, en el momento que entra en contacto con el serpentín de refrigerante. Al igual que en una torre de enfriamiento, la evaporación del agua es la principal responsable del

enfriamiento del refrigerante y la humedad del ambiente es un factor crucial en la operación del equipo.

Las ventajas de los condensadores evaporativos, según Frayne, es que eliminan el paso de transferencia de calor sensible de un sistema torre de enfriamiento – intercambiador de calor. Implican una baja inversión de capital y necesitan poco espacio. Las temperaturas de condensación del vapor suelen estar entre 8 °C – 11 °C por debajo de las temperaturas de alcanzadas con los condensadores de aire, ya que la capacidad del condensador evaporativo es función de la temperatura de bulbo húmedo del ambiente, que es menor que la temperatura de bulbo seco ambiente.

2.3 Tratamiento del agua de los condensadores evaporativos

Como se mencionó anteriormente, los condensadores evaporativos (figura 2.3), utilizan aire y agua para condensar el refrigerante que circula dentro de un intercambiador de calor o serpentín. El agua mantiene frío al serpentín “extrayendo el calor del refrigerante y a su vez se enfría por la acción del aire donde la energía ganada por el intercambio es expulsada a la atmósfera en forma de vapor de agua y aire caliente. La humedad en el ambiente tiene un efecto directo sobre la operación ya que actúa sobre la temperatura a la que se da la evaporación” (Frayne, 1999).

En general los sistemas de enfriamiento como los condensadores evaporativos, torres de enfriamiento, etc., están diseñados para ser un medio eficiente de transferencia de calor y el agua es la principal causa que puede afectar negativamente esta eficiencia, debido “al continuo deterioro de su calidad, por el incremento de la cantidad de sólidos en el interior del sistema, que intensifica los fenómenos de precipitación y sedimentación favoreciendo la acumulación de depósitos minerales y orgánicos sobre la superficie de transferencia de calor y en zonas de baja velocidad de flujo”.

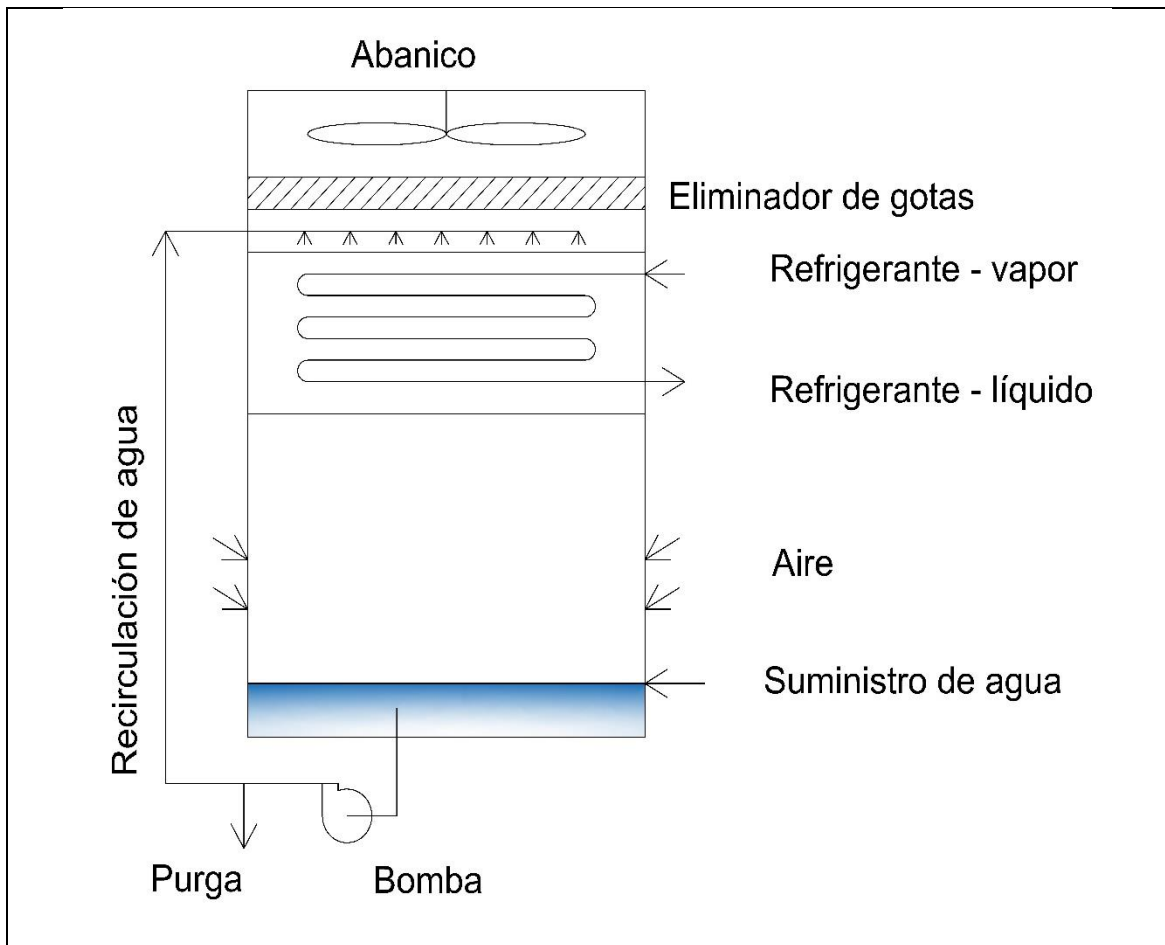


Figura 2.3 Condensador evaporativo.

Así, como indica AWT, el tratamiento del agua consiste en modificar las condiciones existentes del agua para que sea adecuada para su uso en el condensador evaporativo y tiene como objetivo mantener el equipo lo más limpio posible, libre de corrosión e incrustaciones, para que mantenga la eficiencia de transferencia de calor de manera segura y rentable. Este proceso consiste en:

- Tratamiento externo, también llamado pretratamiento, antes de usar el agua.
- Tratamiento interno del agua de enfriamiento mientras el agua está en uso. Este tratamiento también debe cumplir específicamente con:
 - Disminuir la corrosión del sistema (evitar fallas e interrupciones de la operación).

- Controlar los crecimientos microbianos que pueden contribuir a la corrosión y a la formación de depósitos.
- Inhibir la formación de incrustaciones y depósitos para optimizar la transferencia de calor, conservar energía y dinero
- Tratamiento de aguas residuales, para hacer que el agua que descarga el sistema sea apta para su vertido o reutilización.

El agua contiene diversas concentraciones de gases y minerales disueltos además de sólidos suspendidos y materia orgánica. La cantidad relativa de cada una de estas “impurezas” varían de acuerdo con la fuente de donde se extrae el agua y la época del año (temporada seca o lluviosa), y también varían los problemas que pueden causar en los sistemas de enfriamiento, que según CETENMA son principalmente:

- Incrustaciones de cristales insolubles en las superficies de las instalaciones.

Estos cristales suelen ser en la mayoría de los casos carbonatos de calcio e hidróxidos de magnesio, aunque ocasionalmente también incluyen productos de corrosión como óxidos e hidróxidos de hierro. La capacidad incrustante de un agua depende principalmente de la concentración de iones calcio y magnesio (dureza del agua) aunque está fuertemente influenciada por la temperatura del agua, el pH o la presencia de otros iones.

Otros factores fisicoquímicos como la presencia del ion bicarbonato, la temperatura del agua y el pH determinan la posibilidad de formación de incrustaciones al influir en el equilibrio químico de los iones disueltos. Para determinar qué tipo de medidas anti-incrustación se deben implantar en una instalación, es necesario conocer la calidad del agua de aporte al sistema (dureza, conductividad, pH, bicarbonatos, alcalinidad, etc.) y las características de funcionamiento del sistema de refrigeración, tales como: potencia en kW/h, volumen de la instalación, caudal de agua recirculada, salto térmico, temperatura máxima, etc.

- Control del crecimiento de microorganismos.

Para control del crecimiento de microorganismos, (principalmente bacterias aerobias y Legionella), se emplean diversos tipos de tratamientos físicos, fisicoquímicos y químicos. Son tratamientos que destruyen o evitan el desarrollo de las bacterias en el agua. Para asegurar la efectividad de estos tratamientos hay que controlar la aparición de la biocapa, formada principalmente por polisacáridos segregadas por estos microorganismos como mecanismo de defensa, lo que implica la higienización periódica de la torre y la adición de biodispersantes regularmente.

- Control de la corrosión.

En torres de enfriamiento la corrosión más importante se produce debido a la disolución del metal por el efecto de formación de pila electrolítica. Una parte de la superficie metálica actúa como cátodo, cediendo electrones al agua que los usa para generar grupos oxidrilo (^-OH) y otra parte actúa como ánodo, la parte que se desgasta, y en la que el metal pasa al agua en forma de ion. Para evitar este fenómeno, frecuentemente se dosifican productos que crean una película protectora sobre las superficies metálicas como, por ejemplo, poliaminas, fosfatos de zinc, silicatos, molibdatos, etc.

- Control de sólidos.

La pulverización del agua sobre una corriente de aire ascendente provoca el constante ensuciamiento con las partículas del ambiente exterior, entre las que hay muchas de origen orgánica y por lo tanto potenciales nutrientes para las bacterias.

Existen varios tipos de “índices de saturación” que ayudan en la predicción del potencial de incrustación y corrosión de diferentes tipos de aguas. Y aunque según Frayne pueden tener una validez dudosa, porque no fueron originalmente utilizados o diseñados para evaluar los riesgos de incrustación o corrosión en una torre de enfriamiento o un condensador evaporativo. A pesar de estas limitaciones, su simplicidad de interpretación son su mayor beneficio.

El índice de saturación de Langelier (LSI), fue concebido inicialmente para determinar la estabilidad o inestabilidad del agua respecto al carbonato de calcio y por lo tanto el potencial de generar incrustaciones. Está basado en el pH de saturación (pH_S), que es el pH al cual se dice que el agua está saturada con carbonato de calcio y no precipitará ni disolverá la fase sólida. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$LSI = pH_{actual} - pH_S \quad 2.1$$

El pH_S se calcula con la siguiente fórmula:

$$pH_S = 12.3 - (\log_{10} Ca + \log_{10} AT + 0.025 \cdot T - 0.011 \cdot SDT^{0.5}) \quad 2.2$$

Donde:

Ca	Dureza de calcio (ppm como $CaCO_3$)
AT	Alcalinidad total (ppm $CaCO_3$)
T	Temperatura ($^{\circ}C$)
SDT	Sólidos disueltos totales (ppm)

El agua con valores positivos de LSI, están sobresaturadas respecto al $CaCO_3$ y se espera que formen incrustaciones. Con valores negativos, el agua no estaría saturada respecto al $CaCO_3$ y se espera que sea corrosiva. En la práctica se observa que un $LSI > 3.0$ implica un alto riesgo de incrustación y un $LSI < 3.0$ implica un alto riesgo de corrosión.

El índice de estabilidad de Ryznar (SI), se deriva del LSI y suele dar resultados que se pueden tomar como “el peor caso”.

$$SI = 2 \cdot pH_S - pH_{actual} \quad 2.3$$

Aguas con valores positivos bajos de SI, es decir sobresaturado respecto al $CaCO_3$, se espera que sean incrustantes, mientras que valores altos de SI se espera

que sean corrosivas. Normalmente un $SI < 3.5$ implica un alto riesgo de incrustación y un $SI > 9.0$ implica un alto riesgo de corrosión.

Finalmente, el Índice de Incrustación de Puckorius (PSI), es un índice diseñado para sistemas de enfriamiento.

$$PSI = 2 \cdot pH_S - pH_{eq} \quad 2.4$$

$$pH_{eq} = (1.465 \cdot \log_{10} TA) + 4.5 \quad 2.5$$

Frayne explica que, a pesar de las limitaciones de los índices, son “herramientas simples que ayudan a proporcionar una descripción general y rápida, y que invita a la reflexión cuando se intenta predecir lo que está sucediendo o lo que podría suceder en condiciones operativas específicas en un entorno no ideal de los sistemas de enfriamiento”.

2.4 Consumo de agua en sistemas de enfriamiento

La importancia de monitorear la cantidad de agua utilizada en un sistema de enfriamiento no sólo permite evaluar la eficiencia del uso del agua, también permite calcular y evaluar la cantidad de tratamiento químico (tratamiento interno) utilizado en el sistema de enfriamiento, ya que es directamente proporcional al consumo total de agua.

La evaporación en un sistema de enfriamiento, como un condensador evaporativo, puede ser calculada con un aceptable grado de exactitud por simples fórmulas generales indica Frayne, pero aconseja siempre que sea posible y relevante, utilizar más de un parámetro de análisis químico para calcular los ciclos de concentración.

Como regla general, por cada 5.6 °C que el agua en circulación necesita ser enfriada, el 1% del agua de enfriamiento se evapora en una torre de enfriamiento o condensador evaporativo. Cuando se trabaja en ambientes con alta humedad este porcentaje disminuye a 0.8%. Así se puede calcular la evaporación y las pérdidas por arrastre como se indica en las fórmulas 2.6 y 2.7

$$E = Q_R \cdot \Delta T \cdot \frac{0.8\%}{5.6 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad 2.6$$

$$A = Q_R \cdot \%p\acute{e}rdida \quad 2.7$$

Donde:

- E (m³/h) Evaporación del agua en el condensador evaporativo
- Q_R (m³/h) Flujo de recirculación del agua de enfriamiento
- ΔT (°C) Diferencial de temperatura del agua en el condensador evaporativo.
- A (m³/h) Arrastres, pérdida de agua por el flujo de aire. Corresponde al 0.02% - 0.2% del Q_R

Cuando el agua se evapora, como lo hace en un condensador evaporativo, los sólidos disueltos quedan atrás aumentando la concentración en el resto. Estos sólidos pueden acumularse en forma de incrustaciones o causar corrosión y aunque el tratamiento del agua puede reducir el impacto de los sólidos y la materia biológica, después de cierto punto, las impurezas se concentran demasiado y los sólidos y la materia biológica deben eliminarse del sistema por medio de una purga (ecuación 2.8), para evitar daños graves.

$$P_T = \frac{E}{Ci - 1} \quad 2.8$$

$$Ci = \frac{E + P_T}{P_T} = \frac{[SDT_{CE}]}{[SDT_R]} = \frac{[Cl_{CE}]}{[Cl_R]} \quad 2.9$$

$$P_C = P_T - A \quad 2.10$$

Donde:

- E (m³/h) Evaporación del agua en el condensador evaporativo
- P_T (m³/h) Purga total de agua del condensador evaporativo, incluye fugas.
- P_C (m³/h) Purga continua de agua del condensador evaporativo, incluye fugas.
- C_i Ciclos de concentración: concentración alguno de los sólidos disueltos en el agua del condensador comparado con la concentración del mismo sólido en el agua de reposición.
- SDT_{CE} Sólidos disueltos totales en el condensador evaporativo.
- SDT_R Sólidos disueltos totales en el agua de reposición.
- Cl_{CE} Cloruros en el condensador evaporativo.
- Cl_R Cloruros en el agua de reposición.
- El ion cloruro es el parámetro analítico usualmente utilizado para determinar los ciclos de concentración, pero los sólidos disueltos totales o la conductividad son alternativas útiles.

Para mantener un balance adecuado de los sólidos disueltos en el agua y mantener el equilibrio hídrico de la torre, se agrega agua de reposición y se descarga el agua de purga concentrada. El agua de reposición se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = E + P_T \quad 2.11$$

Donde:

- E (m³/h) Evaporación del agua en el condensador evaporativo
- P_T (m³/h) Purga total de agua del condensador evaporativo, incluye fugas.
- R (m³/h) Reposición de agua al condensador evaporativo (“makeup”).

Capítulo 3. Tratamiento de aguas residuales

La industria del procesamiento de pescados y mariscos, como la mayoría de las industrias, viene enfrentando mayores retos en el manejo y disposición de desechos sólidos y líquidos, debido a regulaciones más estrictas en el uso del agua potable y el vertido de aguas residuales. Según explica AMEC las soluciones que buscan cumplir con los reglamentos de vertido de agua residual, agregando procesos al final de las tuberías de descarga no son rentables, ya que mantienen el proceso de fabricación ineficiente donde se desperdician tanto productos valorizables como la energía y el agua. Entonces puede ser más rentable reducir la contaminación al mejorar el proceso productivo antes que pensar en el tratamiento de los desechos

3.1 Características de las aguas residuales

Según lo describe Tay, las operaciones de procesamiento de pescado y de mariscos “producen aguas residuales que contienen contaminantes en forma soluble, coloidal y en partículas.” Además, indica que las aguas residuales generadas pueden tener una alta Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), presencia de grasas y aceites (GyA), alto contenido de nitrógeno, y que en general las aguas residuales de las plantas de procesamiento de mariscos pueden caracterizarse por sus parámetros físico – químicos, contenido orgánico, de nitrógeno y fósforo como se describe a continuación.

3.1.1 Características físico – químicas

A continuación, basado en lo descrito por Tay, se resumen las características físico – químicas de las aguas residuales en el procesamiento de mariscos.

- pH. Indica la contaminación del agua residual o indica la necesidad de ajuste para otros tratamientos. En el agua residual del procesamiento de mariscos, se encuentra usualmente cerca del neutro

- Sólidos disueltos. Son significativos en efluentes con bajo grado de contaminación. Dependen en gran medida de la calidad del agua utilizada en el proceso, por ejemplo, en la industria del fileteo de pescado, el 65% de los sólidos ya se encontraba en el suministro de agua.
- Sólidos suspendidos. Si son sedimentables pueden causar la reducción de la capacidad de flujo en las tuberías y en los cuerpos de agua afectan la vida en el fondo de los cuerpos de agua. Si flotan la afectación se da por la interferencia de la luz. Son de diferentes tamaños, densidades y composición, por lo tanto, más o menos difíciles de remover del efluente.
- Olor. Causado por la descomposición de materia orgánica que emite aminas volátiles, diaminas y a veces amonio. Si el efluente se descompone, se desarrolla el olor característico del sulfuro de hidrógeno. Afecta a los vecinos provocando estrés y enfermedades.
- Temperatura. Las procesadoras de mariscos no suelen descargar agua a una temperatura mayor a la ambiental, con excepción de las enlatadoras. Influye en el desarrollo de la vida acuática, las reacciones químicas, los procesos biológicos y el oxígeno disuelto en el agua residual.
- Turbiedad. Causada por materiales en suspensión finamente divididos. Es proporcional a la contaminación del agua.
- Conductividad. Capacidad de una solución acuosa de conducir la corriente eléctrica, es proporcional a la concentración de minerales disueltos. Suele ser alta y se relaciona con el suministro de agua utilizado.

3.1.2 Contenido orgánico

Entre los mayores contaminantes encontrados en las aguas residuales del procesamiento de mariscos se encuentran caparazones, cabezas y restos de carne. A continuación, se resumen las características del agua debido al contenido orgánico, basado lo descrito por Tay.

- DBO. Estima el grado de contaminación midiendo la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica por metabolismo aeróbico de la flora microbiana. Lo generan principalmente: los compuestos carbónicos de nitrógeno como proteínas, péptidos y aminos. Estos son generados por los procesos de descabezado y pelado y por la limpieza general.
- DQO. Estima las materias oxidables presentes tanto de origen orgánico como mineral. Suele tener un valor más alto que DBO
- Carbono orgánico total. Basado en la combustión de la materia orgánica a CO₂ y agua. Es una alternativa para estimar el contenido orgánico.
- Grasas y aceites. Puede reducir la capacidad de las tuberías y canales de transportar el agua. Afecta la transferencia de oxígeno al agua. Su presencia depende de los procesos (enlatado fileteo, etc.), y al tipo de producto que se está procesando.
- Nitrógeno y fósforo. Son nutrientes que pueden causar la proliferación de algas si están presentes en exceso. La presencia de nitrógeno se debe al contenido de proteínas. Se ha reportado valores de hasta 300 mg/L en el agua de proceso. El fósforo proviene de los mariscos, y de fuentes externas como sustancias utilizadas en el proceso y en limpieza.

3.2 Operaciones y procesos para el tratamiento de las aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales se basan en una combinación de procesos y operaciones unitarias, cuyo objetivo es eliminar o reducir la mayor cantidad de contaminantes que lleva un vertido, de tal manera que los niveles de contaminación contenidos en el efluente no sean perjudiciales para los seres vivos y para las fuentes de agua. A continuación, se resumen las operaciones y procesos de tratamiento de aguas residuales que según Tay, son más utilizados en la industria del procesamiento de mariscos.

- **Operaciones unitarias**
 - Operaciones físicas
 - Desbaste
 - Homogenización del caudal
 - Coagulación – Floculación
 - Sedimentación
 - Mezclado
 - Transferencia de gases
- **Procesos unitarios**
 - Procesos químicos
 - Precipitación química
 - Adsorción
 - Desinfección
 - De-cloración
 - Procesos biológicos
 - Lodos activados
 - Lagunas aireadas
 - Lagunas de estabilización facultativas
 - Procesos de descomposición anaerobio y nitrificación y desnitrificación
 - Tratamiento de lodos
 - Digestión anaerobia
 - Laguna de lodos
 - Estabilización con cal
 - Lechos de secado

El tratamiento mediante lodos activados es el proceso unitario más utilizado para el tratamiento de estas aguas residuales, el cual trabaja en forma continua, pero “gracias a la confiabilidad y accesibilidad de los controladores lógicos programables una modificación del proceso original de llenado y extracción,

conocido como reactor secuencial por lotes (SBR), ha surgido como una alternativa exitosa a las plantas de lodos activados de flujo continuo” (Bungay, 2007).

Los SBR Bungay los describe como reactores biológicos de tratamiento de aguas residuales de volumen variable, de estado no estacionario y de crecimiento suspendido. Su proceso de tratamiento se basa en el principio de llenar y extraer, que consta de los siguientes cinco pasos básicos: llenar, reaccionar, precipitar, decantar e inactivo. Más de una estrategia operativa es posible durante la mayoría de estos pasos.

El sistema SBR “consta de un tanque, equipo de aireación, un decantador y un sistema de control que cronometran las diferentes operaciones. Los sopladores de desplazamiento positivo se utilizan típicamente para el diseño de SBR para manejar las variaciones del nivel de aguas residuales en el reactor” (EPA, 1999).

La Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos, EPA, indica que el decantador es la pieza principal del equipo que distingue a los diferentes fabricantes de SBR los cuales pueden ser flotantes y fijos. Los decantadores flotantes minimizan los sólidos en el efluente durante el paso de extracción y ofrecen flexibilidad para variar los volúmenes de llenado y extracción. Los decantadores fijos son menos costosos y pueden diseñarse para permitir que el operador baje o suba el nivel del decantador, pero no ofrecen la flexibilidad operativa de los flotantes.

Entre las desventajas de los SBR según EPA, es que estos reactores requieren un mayor nivel de sofisticación y mantenimiento respecto a otros procesos biológicos, y el potencial de contaminación del efluente con sólidos suspendidos en caso de que no se opere bien el decantador.

Varios autores han reportado el consumo de agua en las plantas procesadoras de mariscos y algunas características de las aguas residuales generadas en las mismas, y aunque presentan variaciones significativas según el tipo de especie procesada, la tecnología de procesamiento aplicada y el tipo de

producto terminado, nos dan una idea de las características del agua generada en este tipo de industria, como se muestra en los cuadros 3.1 y 3.2:

Cuadro 3.1 Caracterización de las aguas residuales del procesamiento de mariscos.

Característica	Valores según AMEC	Valores según Tay
DBO (mg/L)	416 – 1240	1000 – 2000
DQO (mg/L)	3400 – 6500	2300 – 3000
ST (mg/L)	1900 – 2000	
SST (mg/L)	115 – 2900	800 - 900
GyA (mg/L)	-	250 – 700
Q (m ³ /día)	-	340 – 908

Cuadro 3.2 Distribución del consumo de agua en una planta procesadora de mariscos según Tay.

Descripción	Porcentaje del consumo anual de agua
Agua potable utilizada en proceso	51.79%
Agua potable utilizada en limpieza	48.20%
Agua que llega a la PTAR	70.24%
Agua al tanque séptico	8.89%
Agua descargada al medio ambiente	5.46%
Agua no cuantificada	15.41%

En general, las aguas residuales generadas en el procesamiento de mariscos contienen considerable cantidad de materia suspendida, que puede ser removida por medios físicos y químicos.

3.3 Normativa sobre tratamiento de aguas residuales

El tratamiento y disposición de las aguas residuales de cualquier tipo de industria en Costa Rica, está regulada por el Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales (Decreto 33601 MINAE-S, 2007), el Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (Decreto 39887-S MINAE, 2016), y el Reglamento por el Canon Ambiental por Vertidos (Decreto 34431 MINAE-S, 2008).

3.3.1 Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales

Establece los “parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que deberán ser analizados obligatoriamente en las aguas residuales”, así como los valores que se deben cumplir, las frecuencias de análisis, etc., todo esto basado en las condiciones específicas de cada ente generador.

3.3.2 Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Establece los requisitos para la ubicación y aprobación de proyectos de sistemas de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, la información que se debe suministrar en planos, memoria de cálculo y manual de operación. También indica características constructivas como los retiros mínimos de los equipos, colores de las tuberías y ubicación de las cajas de registro.

3.3.3 Reglamento por el Canon Ambiental por Vertidos

Tiene por objeto la regulación del monto a cobrar por uso del recurso hídrico, para verter sustancias contaminantes. Se fundamenta en el principio de “quien contamina paga”.

3.4 Reutilización de las aguas residuales

La presión que existe actualmente sobre el acceso a los recursos hídricos y los controles más estrictos en el vertido de aguas residuales, han hecho que la reutilización de las aguas residuales sea un tema de creciente interés en la industria en general. Según Puckorius, con una planificación adecuada, se pueden hacer ahorros significativos en costos de agua, al cambiar el agua de reposición de los sistemas de enfriamiento por aguas residuales recuperadas.

Desde este punto de vista, los sistemas de enfriamiento evaporativo pueden ser un posible destino para el reúso de las aguas residuales, debido a los volúmenes significativos de agua necesarios para su funcionamiento. Pero se debe tener presente que el uso de aguas residuales como fuente de agua de reposición de las torres de enfriamiento puede ocasionar importantes problemas de corrosión, ensuciamiento y contaminación biológica. Puckorius asegura que las empresas que reutilizan agua residual tratada en las torres de enfriamiento y que han tenido éxito, son aquellas que reunieron un buen conocimiento de la calidad del agua reciclada e implementaron un buen monitoreo y control de la calidad del agua.

Cada empresa tendrá operaciones y procesos únicos que necesitan ser identificados y tomados en cuenta en un plan de gestión del agua para evitar daños a los equipos del sistema de enfriamiento o la reducción de su vida útil, y los métodos de tratamiento del agua deben ser apropiados para la fuente de agua de reposición específica ya sea agua potable o residual, pero “cualquier fuente de agua no potable va a determinar los requerimientos y costos del tratamiento químico, limitando los ciclos y por lo tanto limitando el ahorro potencial en agua y energía que se pueda alcanzar”, Frayne (2010).

Capítulo 4. Descripción de los procesos

4.1 Descripción del proceso productivo

La actividad de la planta empacadora de mariscos donde se realiza el presente trabajo graduación se clasifica con el código CIIU 1020.0 “Preparación y conservación de pescado, crustáceos y moluscos: congelado, seco, ahumado, salado, sumergido en salmuera y enlatado, etc.” El procesamiento y empaque de los mariscos se realiza en forma manual casi en su totalidad. Las jornadas de trabajo varían de acuerdo los pedidos de exportación y van de uno a dos turnos de 8 horas diarias, de 4 a 6 días a la semana.

Se utiliza agua potable y hielo tanto para limpieza como conservación del producto en las etapas de recepción, reparto o selección y preparación (descabezado, pelado, desvenado, etc), además se utiliza una pequeña cantidad de agua en el empaque. Cuando es necesario, también se utiliza agua para descongelar los mariscos. Todas las etapas, además involucran limpiezas diarias de utensilios, contenedores y áreas de trabajo.

Se puede describir el proceso de la empresa empacadora de mariscos como se indica a continuación y se resume en la figura 4.1.

Recepción: Los mariscos enteros sin tratamiento, llegan a la planta en contenedores (llamados bines), propios de la empresa, y se verifica que la temperatura de ingreso del producto sea de menor o igual a los 4°C. De ser necesario se agrega hielo (comprado o producido por ellos mismos).

Lavado: Los contenedores son lavados por fuera con agua potable. La temperatura se debe mantener menor o igual a los 4°C.

Almacenamiento temporal: Los mariscos se almacenan de 10 a 24 horas.

Reparto: Se realiza la selección del marisco por su tamaño y se separan los materiales extraños que pudiesen estar presentes. Se usa agua y se mantiene la temperatura menor o igual a los 4°C.

Descabezado: De ser necesario, el marisco entero es descabezado manualmente por un grupo de colaboradores, el marisco debe mantener una temperatura menor o igual a los 4°C.

El producto se deposita en agua con hielo para eliminar los residuos presentes después del descabezado. La temperatura debe ser menor o igual a los 4°C. El agua y el hielo deben estar en cantidad suficiente con el fin de evitar el riesgo de la acción enzimática (manchado del marisco) y la acción bacteriana (putrefacción). El marisco descabezado puede pasar a desvenado o se puede almacenar para congelarlo como materia prima para desvenarlo posteriormente.

Pelado y desvenado: Consiste en eliminar la vena y la concha de la carne del marisco, esto puede ser manual o mecánico. La temperatura debe ser menor o igual a los 4°C. Si el producto descabezado está congelado se descongela previamente con agua.

Pre-empaque y pesaje: el marisco es pesado y empacado en moldes o bolsas y se hace una segunda clasificación para asegurar que los mariscos no se encuentren troceados ni quebrados. La temperatura debe ser menor a 4°C.

Adición de agua: En esta etapa se adiciona agua, que debe estar entre 0 y 2°C para su posterior etapa de congelación. Este proceso se realiza para conservar las características del producto, manteniendo sus propiedades gustativas, olfativas, nutricionales y organolépticas, ya que se bloquean los efectos de oxidación y deshidratación comunes en los procesos de congelado de alimentos.

Congelación: El producto en moldes es colocado en carros de congelación, para luego ser llevados a los túneles de congelación. El producto se congela entre -18 a -24°C y el proceso tarda entre 8 y 12 horas.

Desmoldado: El producto ya congelado se saca de los moldes metálicos y se pasa a su empaque.

Empaque, etiquetado: El producto ya desmoldado pasa por el detector de metales para luego ser empacado y etiquetado.

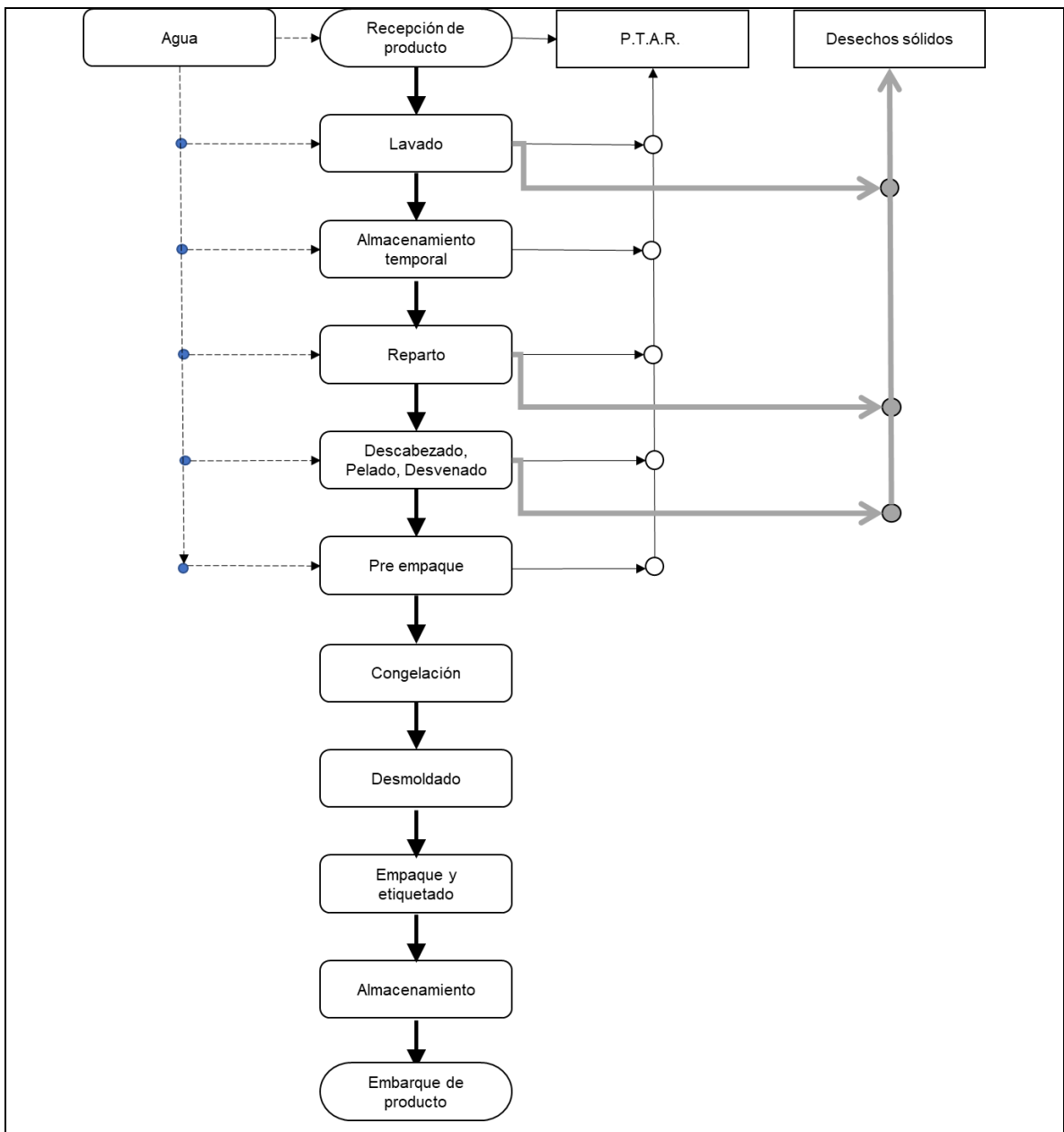


Figura 4.1 Diagrama de bloques del procesamiento de mariscos.

Almacenamiento: El producto ya empacado, es pasado a las cámaras de mantenimiento, que deben tener una temperatura de -18°C .

Embarque: El producto se embarca en contenedores limpios y desinfectados, capaces de mantener una temperatura de -18°C .

El abastecimiento del agua de la Planta Empacadora de Mariscos proviene en su totalidad del acueducto de agua potable de la zona donde se ubica. Se utiliza tanto en el área de oficinas como en la planta de producción, en los sistemas de enfriamiento, en el lavado de camiones y en el riego de las zonas verdes. Según las mediciones realizadas en la empresa, tienen un consumo promedio de agua potable de $3082\text{ m}^3 / \text{mes}$.

4.2 Descripción de los condensadores evaporativos del sistema de refrigeración

Los condensadores evaporativos son intercambiadores de calor que extraen el calor del sistema de refrigeración y lo transfieren al aire exterior. En la Planta Empacadora de Mariscos hay dos de estos equipos que son parte del sistema de refrigeración que mantienen temperaturas de hasta -24°C necesarias para la conservación de la materia prima y del producto, por lo que trabajan 24 horas al día, 7 días a la semana. En el cuadro 4.1 se detallan las características de ambos equipos, en la figura 4.2 se muestra el diagrama de flujo del agua en los condensadores evaporativos del sistema de enfriamiento de la Planta Empacadora de Mariscos.

Cuadro 4.1 Características de los condensadores evaporativos.

Característica	Condensador 1	Condensador 2
Marca y modelo	Evapco ATC 90E	Frío-Raf FSI-C 250
Capacidad	64 R. ton.	63 R. ton.

En el cuadro 4.2 se muestran las descripciones de los equipos mostrados en la figura 4.2.

Cuadro 4.2 Descripción de los equipos del diagrama de flujo del agua en los condensadores evaporativos.

Equipo	Nomenclatura
Condensador evaporativo 1	RCE-101
Bomba recirculación 1	RBC-101
Condensador evaporativo 2	RCE-102
Bomba recirculación 2	RBC-102
Tanque de tratamiento químico 1	RTQ-101
Tanque de tratamiento químico 2	RTQ-102
Bomba dosificadora 1	RBD-101
Bomba dosificadora 2	RBD-102
Tanque amoniaco	RTQ-103
Compresores de amoniaco	RCP-101
Tanque de amoniaco	RTQ-104
Evaporadores	REV-101

Actualmente ambos condensadores evaporativos utilizan agua potable en su operación (corrientes 1 y 4), para reponer la que se pierde por evaporación, por purga, por arrastre de gotas por parte de los abanicos o por fugas. El agua se purga en forma continua (corrientes 3 y 6), para mantener una concentración de sólidos disueltos tal que, no se den condiciones para su precipitación sobre las superficies de intercambio de calor o favorezcan la corrosión.

El agua de reposición (corrientes 1 y 4), es la que se desea sustituir por agua residual debidamente acondicionada. Las características físico – químicas del agua potable como del agua en cada condensador se muestra en el cuadro 4.3 El consumo promedio de agua potable en los condensadores y otras condiciones

operativas de los mismos se muestran en el cuadro 4.4. Ambos cuadros corresponden a los promedios de los datos del 2020.

Cuadro 4.3 Características físico – químicas promedio del agua potable y del agua en los condensadores evaporativos

Parámetro	Agua potable	Condensador 1	Condensador 2
Dureza total (ppm)	67.6	357	115.5
Dureza Ca (ppm)	42.8	254	78.4
Dureza Mg (ppm)	24.8	103	37.1
Alcalinidad parcial (ppm)	0.0	5.5	4.2
Alcalinidad total (ppm)	47.0	90	74
Sílice (ppm)	26.5	100.8	44.2
pH	7.27	7.63	7.86
Cloruros (ppm)	13.3	78.9	22.3
Hierro total (ppm)	0.13	1.66	0.27
Sólidos disueltos (ppm)	124.6	784	229
Conductividad ($\mu\text{mho/cm}$)	178.0	1120	327
Turbidez (NTU)	0.11	1.82	1.63
Fosfonatos (ppm)	-	22.0	6.7

Cuadro 4.4 Condiciones operativas promedio de los condensadores evaporativos.

Característica	Condensador 1	Condensador 2
Reposición de agua potable ($\text{m}^3/\text{día}$)	3.28	5.88
Ciclos de concentración, C_i cloruros (adim.)	5.93	1.68
Tiempo de operación	24 h/d, 7 d/sem.	24 h/d, 7 d/sem.
Reposición teórica de agua, R (m^3/h)	0.125	0.244

En este último cuadro se asume para los cálculos una diferencia de temperatura del agua de $1.6\text{ }^\circ\text{C}$, con lo que se obtiene caudales diarios de $3.00\text{ m}^3/\text{d}$

en el condensador 1 y de 5.85 m³/d en el condensador 2. Se observa que los caudales reales y teóricos de reposición de agua, tienen con una diferencia menor del 10%, así que, para efectos de los cálculos de diseño y evaluación de costos, se utilizarán los valores teóricos del agua de reposición. Es importante aclarar que en el período en los que se tomaron los datos, la bomba de recirculación del condensador 2 tenía una fuga que no fue reparada, y ese gasto extra de agua se ve reflejado en un aumento en valor de la purga continua y en una disminución de los ciclos de concentración.

En los siguientes gráficos se puede observar el efecto de esta fuga en el consumo de agua en los condensadores. En el gráfico 4.1 se muestra cómo podría variar la reposición de agua potable para las condiciones de operación del condensador 1 en función de los ciclos de concentración. En este caso se tiene un sistema sin fugas y el agua que se repone es para suplir la que se evaporó y la que se eliminó como purga para mantener las condiciones del agua dentro de los límites recomendados.

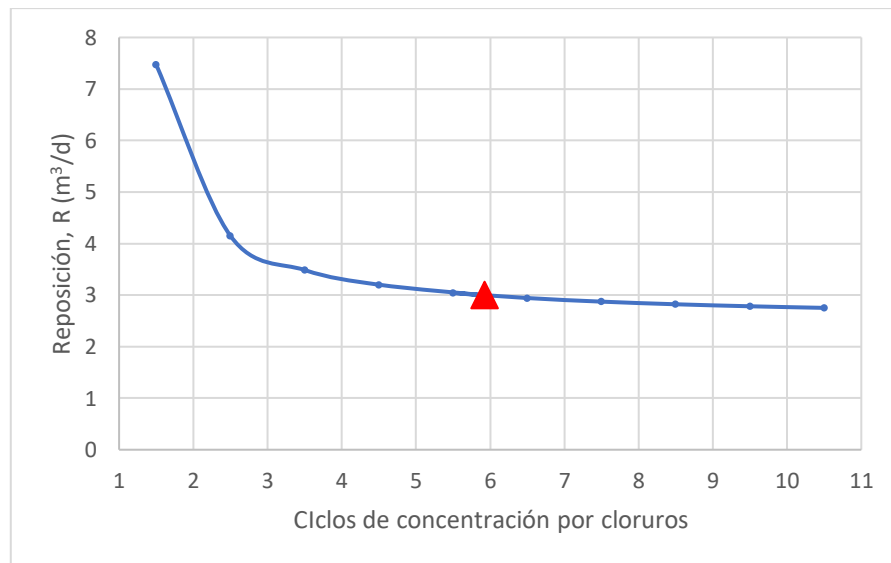


Gráfico 4.1. Variación de la reposición de agua al condensador 1 en función de los ciclos de concentración.

Mientras que el gráfico 4.2, se muestra que, debido a la fuga en la bomba de recirculación, el consumo de agua prácticamente se duplica respecto al condensador 1, y esto además ocasiona que se mantengan muy bajos ciclos de concentración. Con solo arreglar la fuga del condensador y ajustar la purga para trabajar en 3.5 ciclos de concentración, se ahorraría aproximadamente un 33% del agua de reposición, lo que demuestra la importancia de eliminar las fugas y ajustar las purgas para trabajar a los ciclos de concentración que nos permita cada sistema.

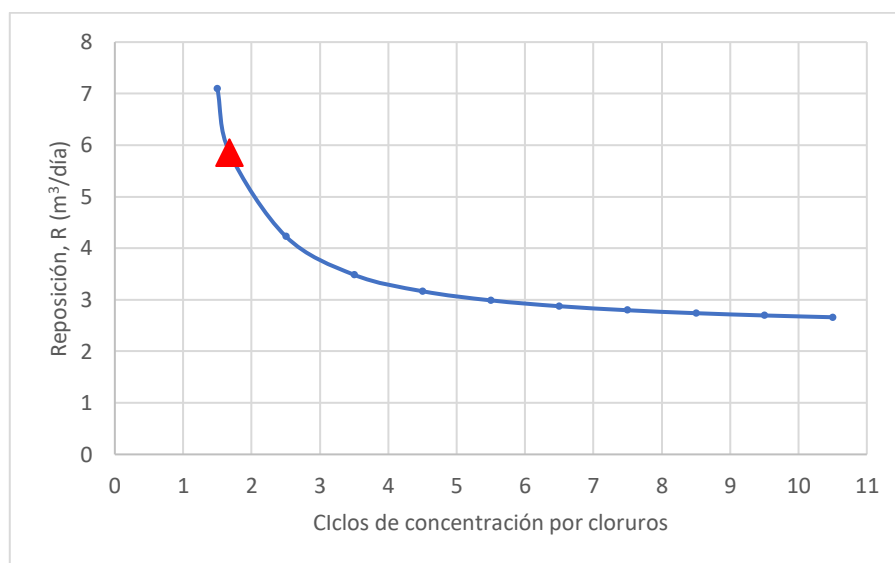


Gráfico 4.2. Variación de la reposición de agua al condensador 2 en función de los ciclos de concentración.

Los ciclos no pueden aumentar indefinidamente debido a limitaciones físicas como arrastres, fugas y purgas no intencionales, y a limitaciones químicas, ya que al aumentar la concentración de sólidos disueltos aumenta también la tendencia de incrustaciones y corrosión y este límite va a depender del tratamiento químico utilizado para el agua del condensador.

En cuanto al tratamiento químico de los sistemas de enfriamiento, en general tienen el fin de controlar el ensuciamiento, la corrosión y el crecimiento

microbiológico en estos sistemas, por lo que los programas de tratamiento químico deben considerar factores como el origen y características del agua, pretratamiento que recibe, lugar en el que se ubica el sistema de enfriamiento, así como factores de diseño, operativos y de control.

El actual programa de tratamiento químico para el agua de ambos condensadores evaporativos ha trabajado por más de 15 años con buenos resultados. Consiste en un programa de fosfonatos y polímeros dispersantes para disminuir el riesgo de incrustación y ensuciamiento junto a sales de zinc para disminuir la tasa de corrosión en el sistema de enfriamiento. Para el control del crecimiento microbiano se utiliza un biocida no oxidante a base de Glutaraldehído. El control de las condiciones de operación consiste solamente en asegurar la dosificación diaria de los productos químicos y análisis periódicos del agua de los condensadores.

4.3 Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales

El afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales consiste en las aguas residuales generadas en las operaciones de recepción, lavado, almacenamiento, reparto, descabezado y pelado, descongelado y empaque (figura 4.1). También las limpiezas de la planta que incluyen el piso del área de proceso y bodegas, todas las superficies de trabajo y los utensilios utilizados en los diferentes procesos, generan aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento.

4.3.1 Descripción del tratamiento de las aguas residuales

Todas estas aguas residuales son colectadas a lo largo de las áreas de producción y bodegas y son conducidas a la planta de tratamiento de aguas residuales, que cuenta con un tamiz de sólidos gruesos, un tanque recolector, un

tamiz de sólidos finos, un tanque de aireación, un tanque estabilizador y luego son descargadas en el alcantarillado sanitario del AYA. La figura 4.3 muestra la secuencia del tratamiento existente en la empresa.

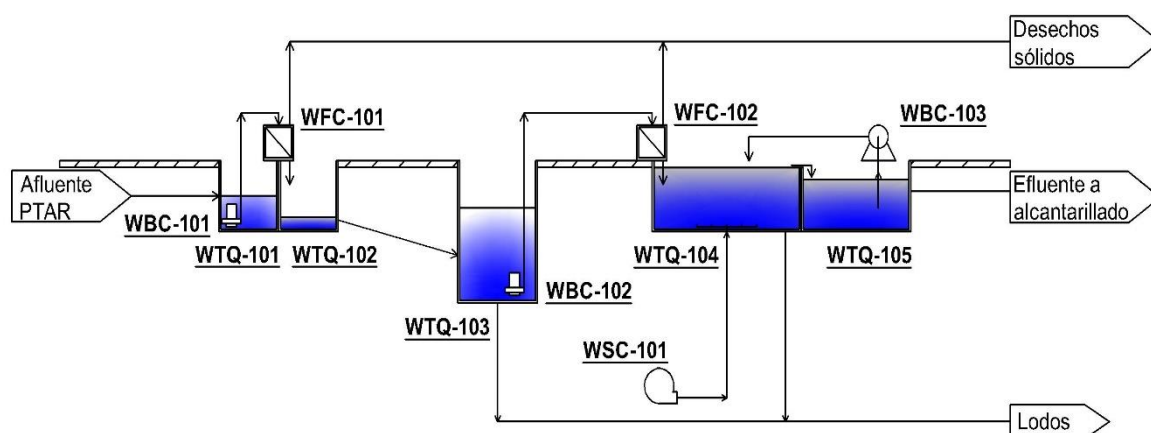


Figura 4.3 Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empacadora de mariscos.

En los cuadros 4.5 y 4.6 se muestran las descripciones de los equipos mostrados en la figura 4.3, así como los volúmenes totales y de operación de cada tanque de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Planta Empacadora de Mariscos.

Cuadro 4.5 Nomenclatura de los equipos del diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empacadora de mariscos.

Equipo	Nomenclatura
Bomba sumergible	WBC-101
Retenedor de sólidos	WFC-101

Cuadro 4.5 Nomenclatura de los equipos del diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empacadora de mariscos (continuación).

Equipo	Nomenclatura
Bomba sumergible	WBC-102
Tamiz de sólidos finos	WFC-102
Bomba de recirculación	WBC-103

Cuadro 4.6 Dimensiones de los tanques de la PTAR.

Equipo	Nomenclatura	Volumen total	Volumen operación
Tanque receptor 1	WTQ-101	1.2 m ³	1.0 m ³
Tanque receptor 2	WTQ-102	1.4 m ³	0 m ³
Tanque recolector	WTQ-103	38.4 m ³	31.5 m ³
Tanque de aireación	WTQ-104	7 m ³	6.2 m ³
Tanque estabilizador	WTQ-105	2.5 m ³	1.9 m ³

El efluente de esta planta de tratamiento de aguas residuales es el que se considera darle un tratamiento adecuado para que pueda ser reutilizarlo como agua de reposición de los condensadores evaporativos del sistema de refrigeración.

4.3.2 Caracterización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales

La planta de tratamiento de aguas residuales está diseñada para tratar 100 m³/d, y reporta un caudal promedio aproximado de 86.6 m³/d lo que indica que se tendría suficiente caudal para suplir los 8.85 m³/d de agua de reposición en los condensadores evaporativos que se indican en el cuadro 4.4.

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (2007), establece los parámetros y los límites máximos que debe cumplir el efluente de la PTAR y se muestran en el cuadro 4.8. En este cuadro también se muestran los resultados que corresponden al promedio de los análisis realizados al efluente en octubre del 2019 y mayo 2020 en un laboratorio externo y que, para efectos del presente trabajo, se utilizarán como los valores de partida para los diseños del sistema de tratamiento del agua residual para su reúso. Se realizaron análisis adicionales al efluente que según Frayne, corresponden a valores que afectarían la operación de los sistemas de enfriamiento en caso de reutilizar esta agua (cuadro 4.7).

Cuadro 4.7 Análisis adicionales del efluente de la PTAR

Análisis	Promedio	Límite
Nitrógeno total como N mg/L	259	50
Fósforo total como P mg/L	22.55	-
Turbidez NTU	69.5	-
Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	2080.5	-
Alcalinidad FF mg/L	0.25	-
Alcalinidad total (RM) mg/L	938.5	-
Dureza total mg/L (CaCO_3)	168.5	-
Calcio Ca^{+2} mg/L	40.36	-
Magnesio Mg^{+2} mg/L	16.43	-
Cloruros (Cl) mg/L	172	300
Sílice (SiO_2) mg/L	41.8	-
Sulfatos (SO_4^{-2})	29.8	-
Amonio NH_4^-	103	-
Hierro (Fe)	1.18	-
Color aparente CU	300	-

Cuadro 4.8 Análisis obligatorios del efluente de la PTAR

Análisis	Promedio	Límite
pH	6.98	6 – 9
Temperatura (T, °C)	28.4	15 °C – 40 °C
Sólidos totales (mg/L)	1966	-
Sólidos disueltos (mg/L)	1774	-
Sólidos suspendidos totales (SST, mg/L)	190	300
Sólidos sedimentables (SSes, mL/L)	3.90	5
Demanda química de oxígeno (DQO, mg/L)	2098	750
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO _{5,20} , mg/L)	1017	300
Grasas y aceites (GyA, mg/L)	16.30	50
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM, mg/L)	1.07	5

En el Reglamento de Vertidos se define tanto la recirculación (aprovechamiento del agua residual, tratada o no, dentro del espacio confinado en que se genera el agua residual), como el reúso (aprovechamiento de un efluente de agua residual ordinaria o especial para diversos fines). En el caso del reúso, se clasifica según el uso que se dé al agua.

De acuerdo con objetivo del presente trabajo, el reúso que se propone es del tipo 1: “Riego de zonas en donde haya acceso del público (por ejemplo, en zona verdes, campos de golf, parques, plazas deportivas y cementerios), lavado de automóviles, inodoros, combate de incendios y otros usos con similar acceso o exposición al agua”. Los valores permisibles que el agua para reúso debe cumplir se muestra en el cuadro 4.9.

Cuadro 4.9 Límites permisibles para el reúso tipo 1

Tipo	Nemátodos intestinales (N° huevos / L)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Factor multiplicador
Tipo 1	1	1000	1

Estos son los parámetros adicionales que se estarán analizando y según el reglamento de vertidos, las mediciones rutinarias pasarían de una frecuencia mensual a quincenal, mientras que los análisis periódicos se mantendrían en forma semestral.

Capítulo 5. Propuesta del sistema de tratamiento

Para proponer y dimensionar el sistema de tratamiento, se debe establecer el caudal y los parámetros del agua que debe ser capaz de producir el nuevo sistema de acondicionamiento del agua residual para que se considere apto como agua de reposición de los condensadores evaporativos. Además, según el Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales, el agua generada debe cumplir con los parámetros establecidos para reúso según su tipo.

5.1 Conceptualización del sistema de acondicionamiento del agua residual

Para el presente trabajo, se deben definir los ciclos, cantidad de agua de reposición y las características del agua tanto la que recircula dentro del condensador evaporativo como las características del agua de reposición. Con esto definido se podrá saber hasta dónde debe llegar el tratamiento del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales para lograr reutilizarlo en los condensadores evaporativos.

Inicialmente se definen los ciclos de concentración que Frayne recomienda mantenerlos entre 4 y 6 ciclos, pero por tratarse de reúso de aguas residuales y por seguridad se establecerá en 4 los ciclos de concentración. El consumo de agua en cada condensador a partir de las condiciones de operación actuales y los ciclos de concentración establecidos se muestran en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Consumo de agua de los condensadores evaporativos a 4 ciclos.

Característica	Condensador 1	Condensador 2
Reposición de agua, R (m ³ /h)	0.138	0.132
Reposición de agua, R (m ³ /d)	3.32	3.16

Posteriormente se definen los parámetros físico – químicos máximos que puede alcanzar el agua dentro de los condensadores evaporativos, basados en la información disponible en la bibliografía, manuales de los equipos y condiciones actuales de operación de la empresa (cuadro 5.2).

Cuadro 5.2 Características que debe mantener el agua en los condensadores evaporativos.

Parámetros	Valor límite	Fuente
Dureza total mg/L (CaCO ₃)	< 500	Evapco
Alcalinidad total (ppm)	75 – 400	Evapco
Sílice (ppm)	< 150	Evapco
pH	7.0 – 8.0	Evapco
Cloruros (Cl) mg/L	< 300	Evapco
Hierro (Fe) mg/L	< 0.5	Frayne
Sólidos suspendidos totales mg/L	< 5	Frayne
Turbidez NTU	< 3	Argonne
Conductividad eléctrica μ S/cm	< 2400	Evapco
Amonio NH ₄ ⁻	< 2	Frayne
Cobre (Cu) mg/L	< 0.05	Frayne
Aluminio (Al) mg/L	< 1	Frayne
Demanda química de oxígeno (DQO, mg/L)	< 100	Argonne
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO _{5,20} , mg/L)	< 100	Argonne
Grasas y aceites (GyA, mg/L)	< 5	Frayne
Conteo total aerobio (UFC/mL)	< 10000	Evapco
Ciclos de concentración	4 – 6	Frayne

A partir de estos datos se calculan las concentraciones máximas de minerales que debería tener el agua de reposición para poder trabajar a 4 ciclos de concentración en los condensadores evaporativos. En el caso de los sólidos suspendidos, la DQO, DBO, grasas y aceites y conteo total aerobio, se establecen

como concentraciones máximas del agua de reposición las mismas que las recomendadas para los condensadores evaporativos ya que los límites establecidos por el Reglamento de Vertidos son valores mayores y podrían generar problemas de ensuciamiento, crecimiento de algas y corrosión en los condensadores. Los resultados se muestran en el cuadro 5.3

Cuadro 5.3 Características que debe tener el agua de reposición de los condensadores evaporativos al reutilizar el efluente de la PTAR y trabajar a 4 ciclos de concentración.

Parámetros	Valor límite
Dureza total (CaCO ₃ , mg/L)	< 125
Alcalinidad total (mg/L)	< 100
Sílice (mg/L)	< 37.5
pH	7.0 – 8.0
Cloruros (mg/L)	< 75
Hierro (mg/L)	< 0.125
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	< 5
Turbidez (NTU)	< 3
Conductividad eléctrica (µS/cm)	< 600
Amonio NH ₄ ⁻ (mg/L)	< 0.5
Cobre (mg/L)	< 0.0125
Aluminio (mg/L)	< 0.25
Demanda química de oxígeno (DQO, mg/L)	< 100
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO _{5,20} , mg/L)	< 100
Nitrógeno (N, mg/L)	< 50
Grasas y aceites (GyA, mg/L)	< 5
Conteo total aerobio (UFC/mL)	< 10000

Una vez definida la cantidad y calidad del agua necesaria para los condensadores evaporativos (cuadros 5.1 y 5.3), se caracteriza la calidad y cantidad

de las aguas residuales para establecer los objetivos del tratamiento. En el capítulo 4 se indicó que el efluente de la planta de tratamiento tiene un caudal promedio de 86.6 m³/d (es decir, se cuenta con suficiente caudal para suplir el agua de reposición, aunque su flujo no es continuo a lo largo del día), y en los cuadros 4.7 y 4.8 se muestran las características del agua y sus respectivos valores permitidos.

Así al comparar los datos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales y el agua de reposición de los condensadores evaporativos, se determinan las siguientes necesidades de tratamiento:

Cuadro 5.4 Necesidad de tratamiento del contenido orgánico del efluente de la PTAR para utilizarlo como agua de reposición de los condensadores evaporativos.

Parámetros	Valor del efluente	Valor límite	Necesidad de tratamiento
DQO (mg/L)	2098	< 100	95%
DBO _{5,20} (mg/L)	1017	< 100	90%
GyA, (mg/L)	16.3	< 5	69%
Nitrógeno (mg/L)	259	< 50	81%

Cuadro 5.5 Necesidad de tratamiento de las características físico – químicas del efluente de la PTAR para utilizarlo como agua de reposición de los condensadores evaporativos.

Parámetros	Valor del efluente PTAR	Valor límite	Necesidad de tratamiento
Dureza total (mg/L)	168.5	112.5	26%
Alcalinidad total (mg/L)	938.5	90	89%
Sílice (mg/L)	41.8	33.8	10%
pH	6.81	7.0 – 8.0	-

Cuadro 5.5 Necesidad de tratamiento de las características físico – químicas del efluente de la PTAR para utilizarlo como agua de reposición de los condensadores evaporativos (continuación).

Parámetros	Valor del efluente PTAR	Valor límite	Necesidad de tratamiento
Cloruros (mg/L)	172	67.5	56%
Hierro (mg/L)	1.18	0.1125	89%
SST (mg/L)	190	4.5	97%
Turbidez (NTU)	69.5	2.7	96%
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	2080.5	540	71%

5.2 Propuesta de tratamiento del efluente de la PTAR para su reúso.

Se observa en el análisis del efluente de la PTAR, la necesidad de disminuir la concentración de grasas y aceites, DQO, DBO, así como la necesidad de disminuir la concentración de nitrógeno, y el uso de un método de desinfección que permita asegurar que no habrá crecimiento descontrolado de microorganismos. Además, se debe disminuir los minerales disueltos como la dureza, sílice, alcalinidad, así como la turbidez y los sólidos suspendidos totales, entre otros, para cumplir con las condiciones que debe mantener de suministro a los condensadores evaporativos.

Debido a las ventajas que ofrece, se propone utilizar reactores SBR, con el fin de disminuir el DBO y los nutrientes como el nitrógeno del agua. Se almacenará en un tanque con capacidad suficiente para suplir 24 horas de operación de los condensadores evaporativos y el funcionamiento del resto del sistema propuesto.

Se realizará una floculación y filtración para eliminar la turbidez, los sólidos suspendidos y cualquier otro material orgánico que puedan quedar después del SBR y se disminuirá la concentración de varios minerales (dureza, sílice, alcalinidad y cloruros) mediante un proceso de intercambio iónico a través de un

desmineralizador. El agua limpia se almacenará en un tanque también con capacidad de suplir agua a los condensadores evaporativos por 24 horas y donde se realizará una cloración para garantizar la desinfección total del agua, además de este tanque se suministrará el agua para la regeneración del equipo de intercambio iónico y lavado de filtros. En la figura 5.1 se muestra el diagrama de este sistema propuesto.

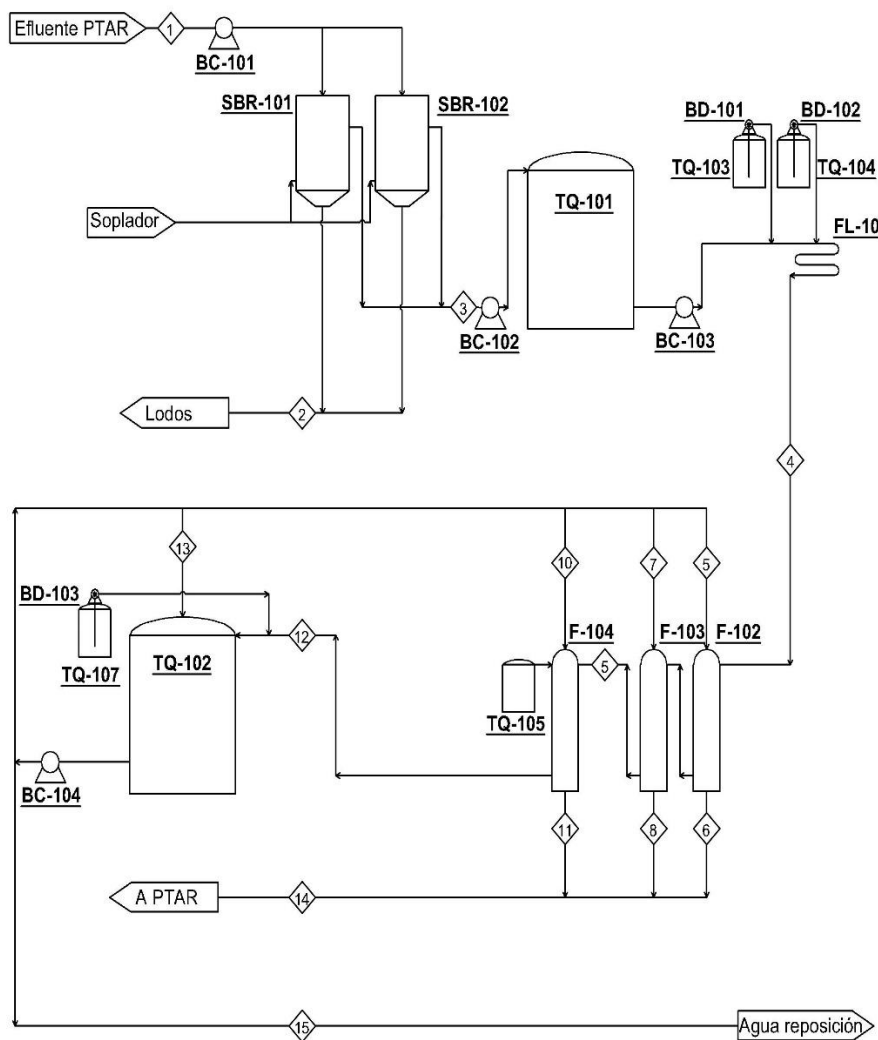


Figura 5.1 Diagrama del sistema de tratamiento propuesto para el reúso del efluente de la PTAR.

Cuadro 5.7 Lista de los equipos del tratamiento propuesto para el reúso del efluente de la PTAR.

Equipo	Código
Reactor secuencial biológico	SBR-101
Reactor secuencial biológico	SBR-102
Tanque ecualizador efluente de SBR	TQ-101
Tanque ecualizador agua limpia	TQ-102
Tanque de coagulante	TQ-103
Tanque de floculante	TQ-104
Tanque de salmuera	TQ-105
Tanque de cloro líquido	TQ-107
Floculador	FL-101
Filtro Turbidex™	F-102
Filtro de carbón activado	F-103
Desmineralizador lecho mixto	F-104
Bomba alimentación SBR	BC-101
Bomba efluente SBR	BC-102
Bomba sistema de filtración	BC-103
Bomba de agua limpia	BC-104
Bomba dosificadora de coagulante	BD-101
Bomba dosificadora de floculante	BD-102
Bomba dosificadora de cloro líquido	BD-103

5.3 Balance hidráulico del sistema de acondicionamiento

- Balance del agua limpia

Según lo especificado en el cuadro 5.1 la corriente 15 debe tener un caudal de 6.48 m³/d. En el caso de las corrientes 5, 7 y 10 que corresponden a las corrientes

para el lavado de filtros y regeneración del desmineralizador, y se estima el caudal en 3.42 m³/h por 15 minutos al día para cada filtro y de 45 minutos para el desmineralizador. El caudal que se estima suponiendo un filtro estándar de 0.33 m de diámetro y una velocidad máxima del agua de 0.57 m/min, según la ficha técnica del medio filtrante. Finalmente, la corriente 13 corresponde a la recirculación para el sensor de concentración de cloro, lo que sale vuelve inmediatamente al tanque, por lo que sus valores se cancelan para este balance. Así se puede calcular el caudal de la corriente 12 como sigue:

$$Q_{12} = Q_5 + Q_7 + Q_{10} + Q_{15}$$

$$Q_{12} = (3.42 \cdot 0.167) \cdot 2 + 3.42 \cdot 0.75 + 6.48 = 10.19 \frac{m^3}{d}$$

- Balance del lavado de filtros

Como la operación de los filtros y del desmineralizador se detiene para su lavado o regeneración, el caudal de entrada y salida es el mismo, lo que varía es la cantidad de sólidos en el agua. Así el caudal de la corriente 14 se calcula:

$$Q_{14} = 3.42 \cdot 0.25 \cdot 2 + 3.42 \cdot 0.75 = 4.28 \frac{m^3}{d}$$

- Balance del agua filtrada

Durante la operación de los filtros y del desmineralizador, la corriente 4 y 12 mantienen el mismo caudal, así que

$$Q_{12} = Q_4 = 10.19 \frac{m^3}{d}$$

- Balance del reactor secuencial biológico

La operación de los SBR debe generar suficiente caudal para suplir la demanda de los condensadores evaporativos y la limpieza de los filtros y del desmineralizador, por lo que la corriente 3 debe ser igual a la 4.

$$Q_3 = Q_4 = 10.19 \frac{m^3}{d}$$

Los lodos generados por los SBR corresponden a un volumen de 0.73 m³/d, como se mostrará más adelante en el capítulo 6, y así la corriente 1 se calcula

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = 0.73 + 10.19 = 10.92 \frac{m^3}{d}$$

5.4 Propuesta de un sistema de control automático para el tratamiento del efluente de la PTAR para su reúso.

El control automático del sistema propuesto debe mantener los niveles de los tanques y reactores, mantener los tiempos adecuados de reacción y asegurar que el agua enviada a los condensadores evaporativos cumple con los parámetros establecidos. Adicionalmente, el sistema de control ayudará a mantener lo más bajo posible los costos de operación.

5.4.1 Operación de los SBR

Se propone que el llenado de los SBR se detenga en forma automática una vez que se alcanza el volumen establecido. El soplador empieza su ciclo controlado por un temporizador.

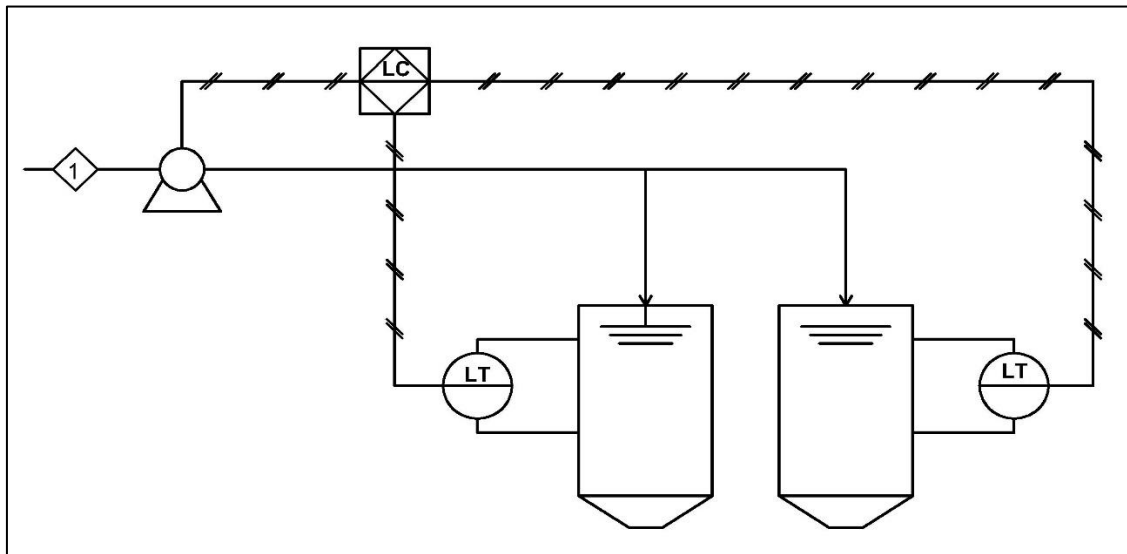


Figura 5.2 Control de nivel de los SBR

El proceso de vaciado se propone realizarlo con un decantador de tipo flotante y será responsabilidad de los operadores detener el vaciado al detectar un aumento de turbidez y así evitar que pase lodo a los siguientes procesos. El tanque de almacenamiento tiene la capacidad de almacenar el efluente de los dos SBR.

5.4.2 Floculación

La dosificación de coagulante y floculante se debe activar cada vez que encienda la bomba de filtración. Las dosificadoras trabajarán mientras permanezca esta bomba encendida y su velocidad se debe ajustar según se las dosis que se determinen.

5.4.3 Filtrado y desmineralización

Estos equipos se programan para que según su capacidad se laven o regeneren, según sea el caso.

5.4.4 Tanque de agua limpia

El control de nivel en este tanque debe detener la bomba de filtración si su nivel es alto, así se evita desperdicio de agua. También debe cerrar la electroválvula que permite el paso hacia los condensadores evaporativos cuando el nivel es bajo y así evitar que la bomba de agua limpia vaya a cavitarse por bajo nivel de agua en el tanque. Para esto se propone un control de nivel como se muestra en la figura 5.3

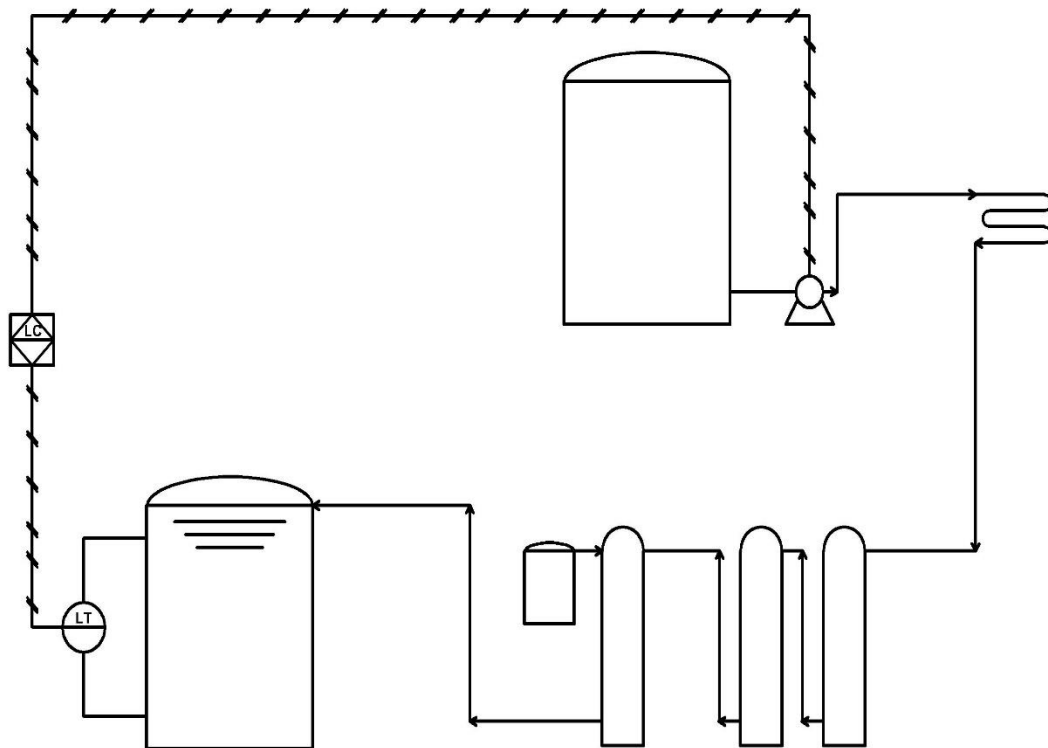


Figura 5.3 Control de nivel del tanque de almacenamiento de agua limpia.

Además, se propone dos controladores de la calidad del agua, uno para controlar la concentración de cloro y se corrija mediante el encendido y apagado de la bomba dosificadora (figura 5.4). El otro control para medir la conductividad del agua y en caso de algún problema en el sistema de tratamiento, no se envíe el agua

a los condensadores evaporativos, sino que se devuelve a la planta de tratamiento.
(figura 5.5).

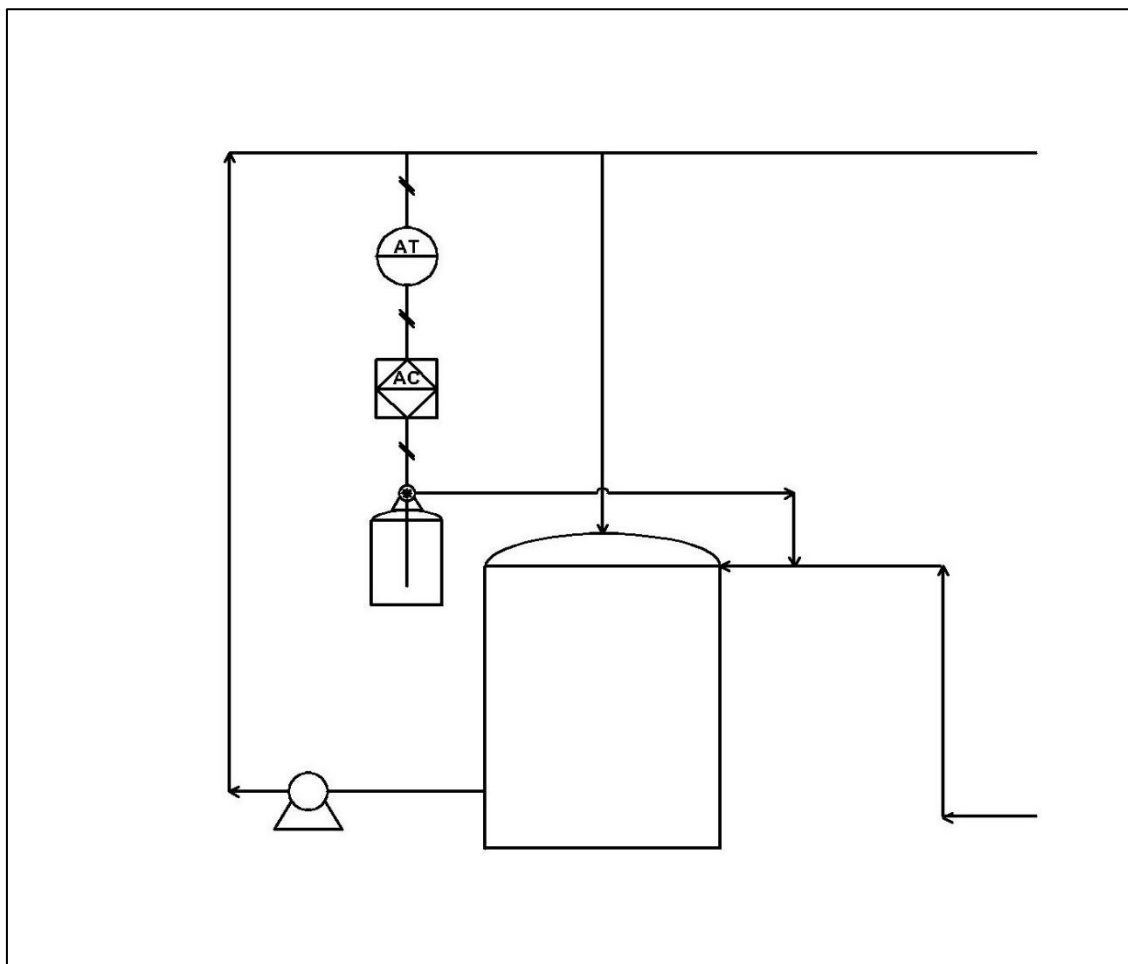


Figura 5.4 Control de la concentración de cloro en el agua limpia.

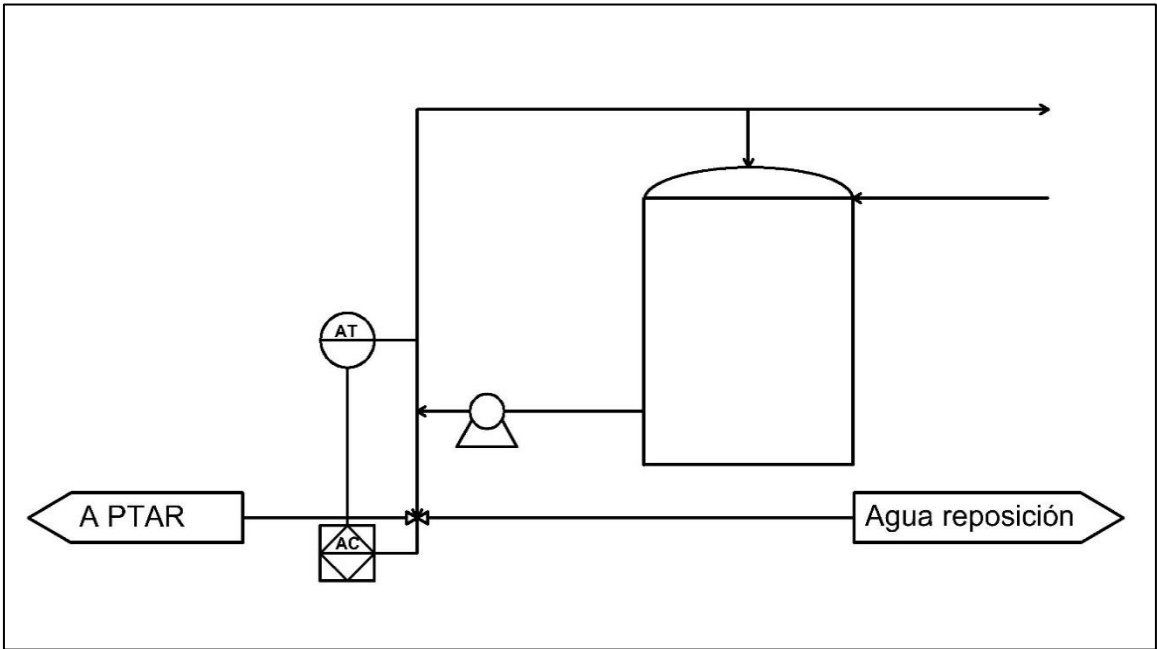


Figura 5.5 Control de la conductividad en el agua limpia hacia los condensadores.

Capítulo 6. Dimensionamiento del sistema propuesto

A continuación, se presenta el dimensionamiento aproximado del equipo propuesto en el capítulo anterior y que se muestra en la figura 5.1.

6.1 Dimensionamiento de los Reactores Secuenciales Discontinuos (SBR-101 y SBR-102)

Se requiere que los reactores secuenciales biológicos procesen un caudal de 11 m³/d según lo indicado en el capítulo 5, y que alcance las características que, según Bungay y EPA, se pueden obtener en un SBR, y que se muestran en el cuadro 6.1.

Cuadro 6.1 Características del afluente y efluente del SBR.

Parámetro	Afluente SBR	Remoción	Efluente SBR
DQO (mg/L)	2200	95%	110
DBO _{5,20} (mg/L)	1100	95%	55
SST (mg/L)	200	92%	16
SSed (mL/L)	4	30%	2.8
GyA (mg/L)	20	80%	4.0
SAAM (mg/L)	1.07	40%	0.64

Los coeficientes utilizados para el para el dimensionamiento de los reactores y otras condiciones de operación, de acuerdo con Metcalf & Eddy (2003), se muestran en el cuadro 6.2, mientras que los coeficientes y eficiencias necesarias para el cálculo del aire requerido y del tamaño de los sopladores se muestran en el cuadro 6.3.

Cuadro 6.2 Valores de diseño SBR

Parámetro	Valor
Edad del lodo, O_c (d)	14
Coeficiente de rendimiento, Y (g VSS / g DQOb)	0.55
Coeficiente degradación, k_d (g VSS / g VSS-d)	0.035
Concentración de Biomasa en el reactor, X (mg/L)	4500
Concentración de SSV recirculado, X_{rec} (kg/L)	10
Nitrógeno total, NKT (mg/L)	5
Cantidad de O_2 para la síntesis de bacterias F/M, a (adim)	0.7
Velocidad de uso de O_2 para autooxidación F/M, b (adim)	0.2
Porcentaje de transformación Amonio a Nitrato, R_n (%)	21
Porcentaje de transformación Amonio a Nitrato	70%
Concentración de SSV o biomasa aireación (mg/L)	3600

Cuadro 6.3 Valores de diseño de los sopladores del SBR

Parámetro	Valor
Factor corrección transferencia O_2 , α	0.6
Factor de corrección por solubilidad, β	0.95
Coeficiente por tipo aireador, para difusores, F	0.9
Concentración de O_2 deseada en el tanque, C (mg/L)	2
Concentración de saturación de O_2 a 20 °C, C_{S20} (mg/L)	9.08
Concentración saturación de O_2 a la temperatura del agua y altitud 50 mca, C_{std} (mg/L)	7.6
Temperatura del agua, T (°C)	30
Densidad del aire, D_{aire} (kg/m ³)	1.2
Tiempo de aireación, $t_{aireación}$ (h)	16
Eficiencia, ϵ_{sop} (%)	8

A partir de estos datos, en primer lugar, se calcula el volumen del reactor que se va a necesitar para que el efluente del SBR alcance los valores requeridos. Se decide dividir el volumen total en dos tanques con el fin de dar mayor flexibilidad a la operación y facilitar las etapas aeróbicas. También se calcula el volumen de lodos que se van a extraer de los reactores para las condiciones establecidas.

La fase aeróbica es necesaria para disminuir la carga orgánica y se calcula el flujo de aire que debe tener el soplador para suplir el aire requerido por el SBR, y se supone el uso de difusores de aire de 12" de diámetro con un flujo de aire de 4 S m³/h.

Cuadro 6.4 Resultado del dimensionamiento de los SBR

Parámetro	Valores SBR
Caudal alimentación, (m ³ /d)	11
Volumen total de SBR, (m ³)	15.2
Cantidad de SBR, (und.)	2
Volumen de cada SBR, (m ³)	7.6
Volumen de lodo a extraer (m ³ /d)	0.73

Cuadro 6.5 Requerimientos de aireación de los SBR

Parámetro	Valores
Volumen de aire requerido (S m ³ /h)	39.44
Pérdidas de aire (%)	5
Volumen de aire del soplador (S m ³ /h)	41.42
Tasa de entrega de difusores (S m ³ /h)	4
Total de difusores	10
Difusores por SBR (unid.)	5

6.2 Dimensionamiento de la bomba de alimentación del SBR (BC-101)

Para el dimensionamiento de la bomba de alimentación BC-101 se considera que los reactores se puedan llenar por completo en 1 hora y para el cálculo de la carga total de la bomba, se considera tubería de 2" de diámetro (50.8 mm), con una longitud de 19.04 m y una altura de 3.67 m. Además, se utilizan 4 codos de 90° y dos válvulas check.

Cuadro 6.6 Resultados del dimensionamiento de la bomba de alimentación B-101

Parámetro	Valores BC-101
Caudal, (m ³ /d)	11
Carga total de la bomba (m)	4.9
Potencia teórica (W)	146.7
Potencia (HP)	0.26

6.3 Dimensionamiento de las bombas del efluente del SBR (BC-102)

Para el dimensionamiento de la bomba del efluente del SBR, BC-102, se considera que cada reactor se pueda vaciar por completo en 1 hora y cada uno contará con una bomba para este fin. Para el cálculo de la carga total de las bombas, se considera tubería de 2" de diámetro (0.0508 m), con una longitud de 7.5 m y una altura de 2 m. Además, se utilizan 2 codos de 90° y dos válvulas check.

Cuadro 6.7 Resultados del dimensionamiento de la bomba de alimentación B-102

Parámetro	Valores BC-102
Caudal de cada SBR, (m ³ /d)	5.22
Carga total de la bomba (m)	2.1
Potencia teórica (W)	29.3
Potencia (HP)	0.1

6.4 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento T-101

El tanque de almacenamiento T101 se diseña para que sea capaz de contener el caudal de salida de los SBR y que brinde el caudal necesario para las siguientes operaciones sistema de tratamiento propuesto (10.44 m³/d). En el cuadro 6.8 se muestra el resultado del dimensionamiento de este tanque.

Cuadro 6.8 Resultado del dimensionamiento del tanque de almacenamiento T-101

Parámetro	Valores T-101
Tiempo de retención, t_{RH} (h)	24
Caudal, Q (m ³ /d)	10.44
Volumen, V (m ³)	10.44

6.5 Dimensionamiento del floculador FL-101

Se propone un floculador en línea que se utiliza para optimizar la coagulación y floculación de sólidos suspendidos. Se caracteriza por el principio de flujo tipo pistón, donde la capacidad de mezcla requerida se obtiene debido al flujo turbulento. El tiempo de retención es casi uniforme y la energía de mezcla en la sección transversal de la tubería es constante.

Para este caso, se desea que se pueda tratar toda el agua necesaria (10.19 m³/d como se explica en el capítulo 5), en no más de 16 horas, obteniendo los resultados mostrados en el cuadro 6.9.

En el floculador, junto con la subsecuente filtración, se termina de disminuir la carga orgánica del agua para pasar al tratamiento de desmineralización. En el cuadro 6.10 se muestra la remoción esperada según referencias bibliográficas, y con dosis de coagulante (sulfato de aluminio, 200 g/m³), y floculante (poliacrilamida catiónica, 5 g/m³), recomendadas por el proveedor.

Cuadro 6.9 Resultados del dimensionamiento floculador FL-101

Parámetro	Valores FL-101
Caudal, Q (m ³ /h)	0.68
Tiempo de contacto, tc (min)	5
Diámetro de tubería, D (m)	0.0508
Cantidad de pasos, np (unid)	10
Longitud de cada paso, L (m)	3

Cuadro 6.10 Características del afluente y efluente del floculador.

Parámetro	Afluente FL-101	Remoción	Efluente FL-101
DQO (mg/L)	110	15%	47
DBO _{5,20} (mg/L)	55	15%	94
SST (mg/L)	16	70%	5
SSed (mL/L)	2.8	90%	0.3
GyA (mg/L)	4.0	10%	3.6
SAAM (mg/L)	0.64	10%	0.58

La dosificación de coagulante y floculante se debe realizar en forma continua y se utilizarán bombas para la dosificación que sean capaces de dosificar 0.5 L/h en el caso del coagulante y 1.2 L/h en el caso del floculante y para la contener estos productos, se propone el uso de recipientes de 120 L.

Cuadro 6.11 Características de las bombas dosificadoras BD-101 y BD-102

Parámetro	Valores
Cantidad	2
Rango del caudal (L/h)	0.5 – 1.2

6.6 Dimensionamiento de los filtros F-102 y F-103

La batería de filtrado después del floculador debe eliminar los flóculos y sólidos suspendidos provenientes del floculador y elimine contaminantes orgánicos que aún queden en el agua. Se propone el uso de un medio filtrante como el Turbidex® que puede retener partículas con tamaño menor a 5 micras y retiene más sólidos que las arenas comunes. Además, se propone utilizar carbón activado para eliminar contaminantes orgánicos y eliminar olores.

El dimensionamiento se basa en el caudal requerido y en las fichas técnicas de los medios filtrantes. En los cuadros 6.12 y 6.13 se muestran los resultados se obtienen los tamaños del filtro y sus diámetros.

Cuadro 6.12 Resultado del dimensionamiento del filtro F-102.

Parámetro	Valores
Medio filtrante	Turbidex™
Volumen ajustado del medio filtrante, V (m ³)	0.028
Diámetro del filtro (m)	0.15
Altura del filtro (m)	0.9

Cuadro 6.13 Resultado del dimensionamiento del filtro F-103.

Parámetro	Valores
Medio filtrante	Carbón activado
Volumen ajustado del medio filtrante, V (m ³)	0.071
Diámetro del filtro (m)	0.33
Altura del filtro (m)	1.37

6.7 Dimensionamiento del desmineralizador

Una vez eliminada la carga orgánica y sólidos sedimentables del agua, se debe desmineralizar para que sea apta para su uso en los condensadores evaporativos como se explicó en el capítulo 5. Para este fin se utiliza un equipo de

intercambio iónico, con resina aniónica y catiónica según lo recomendado por el proveedor.

Cuadro 6.14 Datos del desmineralizador F-104

Parámetro	Valores
Tipo de resina	Catiónica y aniónica
Volumen de resina (m ³)	0.03
Diámetro del recipiente (m)	0.23
Altura del recipiente (m)	0.9

6.8 Dimensionamiento de la bomba de filtración (BC-103)

Para el dimensionamiento de la bomba de filtración BC-103 se considera que toda el agua que requieren los condensadores evaporativos para un día de operación pueda ser tratada en menos de 16 horas y para el cálculo de la carga total de la bomba, se consideran una altura de 2m, una longitud de tubería de 39.55 m, y 16 codos y 4 válvulas check. Además, se supone una caída de presión en el floculador, en los filtros y en el desmineralizador es de 0.7 bar en cada uno.

Cuadro 6.15 Resultados del dimensionamiento de la bomba de filtración B-103

Parámetro	Valores BC-103
Caudal, (m ³ /d)	10.98
Carga total de la bomba (m)	14.3
Potencia teórica (W)	395
Potencia (HP)	0.7

6.9 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento T-102

El tanque de almacenamiento T102 se diseña para que sea capaz de contener el agua para 24 horas de operación de los condensadores evaporativos y que brinde el caudal necesario para el lavado de los filtros y regeneración del

desmineralizador. En el cuadro 6.16 se muestra el resultado del dimensionamiento de este tanque.

Cuadro 6.16 Resultado del dimensionamiento del tanque de almacenamiento T-102

Parámetro	Valores T-102
Tiempo de retención, t_{RH} (h)	24
Caudal, Q (m^3/d)	10.19
Volumen, V (m^3)	10.19

6.10 Cálculo del sistema de dosificación de cloro (BD-103)

De acuerdo con Metcalf & Eddy (2003), se espera que, para un sistema de tratamiento de aguas residuales, la dosis de hipoclorito de sodio en el punto de ruptura se encuentre entre 2 y 10 mg/L. Para efectos del presente trabajo se asumirá un valor de 6 ppm. Debido al bajo consumo de cloro, el tanque TQ-107 corresponderá al recipiente en que se utilice el cloro, por lo que no será necesario invertir en la compra de este tanque.

Cuadro 6.17 Capacidad requerida de la bomba dosificadora de cloro BD-103

Parámetro	Valores BD-103
Caudal total (m^3/h)	0.678
Dosis de NaClO punto ruptura mg/L	6
Capacidad requerida, Q_{NaClO} (mL/h)	7.4
Capacidad solución Q_{NaClO} (mL/h)	74

6.11 Dimensionamiento de la bomba de agua limpia (BC-104)

La bomba de agua limpia debe suministrar el agua a los condensadores evaporativos a razón de $6.48 m^3/d$, proporcionar la recirculación para el sensor de concentración de cloro en el agua limpia, así como el caudal necesario para el lavado de los filtros y la regeneración del equipo de intercambio iónico.

Cuadro 6.18 Resultados del dimensionamiento de la bomba de agua limpia B-104

Parámetro	Valores BC-104
Caudal máximo (m ³ /h)	11.34
Carga total de la bomba (m)	27.4
Potencia teórica (W)	843
Potencia (HP)	1.5

Capítulo 7. Evaluación de costos del sistema propuesto

En el presente capítulo se procede a realizar una evaluación económica para calcular el costo de los equipos necesarios para el acondicionamiento del agua residual propuesto, sus costos de tratamiento, el capital de trabajo y la inversión total de capital, para mediante el cálculo del valor actual neto (VAN), determinar si la implementación del sistema propuesto representa un ahorro económico en el tiempo de la vida útil del equipo y que la inversión es viable en términos financieros.

7.1 Costo total de la inversión inicial

Según Peters (2003), se puede calcular los costos directos e indirectos del proyecto con base en el costo total de los equipos más un factor de seguridad que se establecerá en un 10%. Inicialmente, en el cuadro 7.1 se muestra el costo en dólares de los equipos que se especificaron en el capítulo 6 y cuyas cotizaciones se muestran en los anexos (se utilizó el tipo de \$641.84).

Cuadro 7.1 Costos de los equipos requeridos

Equipo	Cantidad	Costo
Reactor SBR-101	1	\$ 1 733.64
Reactor SBR-102	1	\$ 1 733.64
Tanque TQ-101	1	\$ 1 733.64
Tanque TQ-102	1	\$ 1 733.64
Recipiente TQ-103	1	\$ 50.65
Recipiente TQ-104	1	\$ 50.65
Floculador FL-101	1	\$ 444.75
Filtro F-102	1	\$ 1 344.70
Filtro F-103	1	\$ 891.57

Cuadro 7.1 Costos de los equipos requeridos (continuación).

Equipo	Cantidad	Costo
Desmineralizador F-104	1	\$ 1 525.50
Bomba BC-101	1	\$ 388.30
Bomba BC-102	2	\$ 776.59
Bomba BC-103	1	\$ 388.30
Bomba BC-104	1	\$ 456.13
Bomba dosificadora BD-101	1	\$ 684.94
Bomba dosificadora BD-102	1	\$ 684.94
Bomba dosificadora BD-103	1	\$ 684.94
Soplador	1	\$ 881.40
Difusores	10	\$ 248.60
Controlador de concentración de cloro	1	\$ 1 064.70
Controlador de conductividad	1	\$ 946.83
Costo total		\$ 18 448.03
Costo total + factor de seguridad		\$ 20 292.83

La inversión de capital fijo según Peters (2003), se calculan como un porcentaje del costo del equipo, se refieren al capital necesario para implementar el proyecto y se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 7.2 Estimación de la inversión de capital fijo

Tipo de costo	Rubro	% costo del equipo	Valor
Costos directos	Costo del equipo	35%	\$ 20 292.83
	Costo de instalación del equipo	10%	\$ 5 797.95
	Instrumentación y control	5%	\$ 2 898.98
	Tuberías	8%	\$ 4 638.36

Cuadro 7.2 Estimación de la inversión de capital fijo (continuación)

Tipo de costo	Rubro	% costo del equipo	Valor
Costos directos	Instalaciones eléctricas	5%	\$ 2 898.98
	Edificios	3%	\$ 1 739.39
	Mejoras en terreno	3%	\$ 1 739.39
	Servicios auxiliares	8%	\$ 4 638.36
Costos indirectos	Ingeniería y supervisión	8%	\$ 4 638.36
	Gastos de construcción	4%	\$ 2 319.18
	Gastos legales	1%	\$ 579.80
	Honorarios del contratista	5%	\$ 2 898.98
	Contingencias	5%	\$ 2 898.98
Inversión de capital fijo (ICF)			\$ 57 979.52

El capital de trabajo (CT), que se muestra en el cuadro 7.3, consiste en el costo de la mano de obra, los servicios e insumos necesarios para la operación, es decir, el presupuesto para la operación del sistema de acondicionamiento propuesto.

Cuadro 7.3 Capital de trabajo para el sistema propuesto.

Rubro	Costo
Insumos	\$ 243.93
Servicios	\$ 508.37
Mano de obra	\$ 1 521.23
Capital mensual de trabajo	\$ 2 273.54
Capital anual de trabajo (CT)	\$ 27 282.53

La inversión total de capital (ITC) es el monto de dinero necesario para la construcción, montaje y puesta en marcha del tratamiento propuesto, se muestra en el cuadro 7.4

Cuadro 7.4 Inversión total de capital (ITC)

Rubro	Costo
Inversión de capital fijo	\$ 57 979.52
Capital anual de trabajo	\$ 27 282.53
Inversión total de capital (ITC)	\$ 85 262.06

7.2 Costos del tratamiento

Tomando como referencia el costo de la mano de obra, de los servicios y de la inversión de capital fijo, se calculan los costos del tratamiento, que corresponden a la sumatoria de los costos variables del proceso (CVP), los costos fijos del proceso (CFP) y los costos anexos a la planta (CAP). En el cuadro 7.5 se muestran estos valores.

Cuadro 7.5 Costo total del tratamiento (CTT), del sistema propuesto

Tipo costo	Valor (\$/año)
Costos variables	\$ 31 954.28
Costos fijos	\$ 3 318.02
Costos anexos a la planta	\$ 15 506.84
Total (CTT)	\$ 50 779.14

7.3 Método de evaluación del proyecto

La viabilidad económica del presente proyecto se evalúa mediante el valor actual neto (VAN), el cual es un indicador financiero que muestra que una inversión es posible si el valor actual de futuros flujos monetarios de la inversión es mayor al costo de dicha inversión. Para el cálculo de VAN se consideró:

El agua tratada en el sistema de acondicionamiento propuesto sustituye el 100% del consumo de agua potable en los condensadores evaporativos, como se explicó en el capítulo 5.

Se toma una inflación del 3% y una tasa de interés pasiva de 2.85%, según la página web del Banco Central de Costa Rica (noviembre, 2021).

Para las condiciones establecidas el valor actual neto es negativo, lo que significa que no se recupera la inversión de capital inicial en 10 años y no se recomienda hacer la inversión en las condiciones en las que se plantea el presente trabajo.

Se plantea un escenario en el que se hagan las mejoras necesarias en la planta de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad del efluente y evitar el uso de los reactores secuenciales biológicos en el acondicionamiento propuesto, pero el valor actual neto también es negativo, a pesar del ahorro que se generaría en la inversión de capital fijo de un 45 % y en el costo total de tratamiento de un 9.5 % respecto a las condiciones iniciales. En otro escenario se incrementa el caudal de agua para reúso, y aquí se empieza a conseguir un VAN positivo, lo que indica que reutilizar agua solamente para los condensadores evaporativos no es económicamente viable.

Cuadro 7.6 Valor actual neto del sistema propuesto

Condiciones	VAN (\$)
Sistema propuesto	\$ - 439 212.19
Sistema sin SBR	\$ - 392 053.49
Sistema con 4.8·Q _{reúso}	\$ 445.2

Capítulo 8. Protocolo de operación

Con base en el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, se establece el siguiente protocolo de operación del sistema de acondicionamiento del agua residual generada por la Planta Empacadora de Mariscos, para su reúso en los condensadores evaporativos de dicha empresa.

8.1 Descripción del proceso de tratamiento

Se propone utilizar reactores SBR, con el fin de disminuir el DBO y los nutrientes como el nitrógeno del agua. Se almacenará en un tanque con capacidad suficiente para suplir 24 horas de operación de los condensadores evaporativos y el funcionamiento del resto del sistema propuesto.

Esta agua se floculará, se filtrará para eliminar sólidos suspendidos y cualquier otro material orgánico que puedan quedar después del SBR y se eliminarán varios minerales (dureza, sílice, alcalinidad y cloruros) mediante un proceso de intercambio iónico a través de un desmineralizador. El agua limpia se almacenará en un tanque también con capacidad de suplir agua a los condensadores evaporativos por 24 horas. En este tanque se hará una cloración para garantizar la desinfección total del agua, y se suministrará el agua para la operación los condensadores evaporativos y para regeneración de filtros y equipo de intercambio iónico. En la figura 8.1 se muestra el diagrama de este sistema propuesto.

Características de entrada y salida del sistema de acondicionamiento propuesto

Parámetros	Valor de entrada	Valor de salida
DQO (mg/L)	2098	< 100
DBO _{5,20} (mg/L)	1017	< 100
GyA, (mg/L)	16.3	< 5
Dureza total (mg/L)	168.5	112.5
Alcalinidad total (mg/L)	938.5	90
Sílice (mg/L)	41.8	33.8
pH	6.81	7.0 – 8.0
Cloruros (mg/L)	172	67.5
Hierro (mg/L)	1.18	0.1125
SST (mg/L)	190	4.5
Turbidez (NTU)	69.5	2.7
Conductividad eléctrica (μ S/cm)	2080.5	540

8.3 Personal

Para la operación de la planta de tratamiento se deberá contar con al menos dos operadores. Es deseable que tengan conocimientos mecánicos y de fontanería.

Serán los encargados de la operación y control de la planta y de informar en caso de variaciones en las condiciones del agua. Deberá encargarse del mantenimiento y limpieza de los equipos.

8.4 Equipo

La siguiente es la lista de equipos con que cuenta la planta de tratamiento

Lista de los equipos del tratamiento propuesto

Equipo	Código
Reactor secuencial biológico	SBR-101
Reactor secuencial biológico	SBR-102
Tanque ecualizador efluente de SBR	TQ-101
Tanque ecualizador agua limpia	TQ-102
Tanque de coagulante	TQ-103
Tanque de floculante	TQ-104
Tanque de salmuera	TQ-105
Tanque de cloro líquido	TQ-107
Floculador	FL-101
Filtro Turbidex™	F-102
Filtro de carbón activado	F-103
Desmineralizador lecho mixto	F-104
Bomba alimentación SBR	BC-101
Bomba efluente SBR	BC-102
Bomba sistema de filtración	BC-103
Bomba de agua limpia	BC-104
Bomba dosificadora de coagulante	BD-101
Bomba dosificadora de floculante	BD-102
Bomba dosificadora de cloro líquido	BD-103

Las herramientas para la operación de la planta son:

- Guantes de nitrilo
- Lentes de seguridad
- Mascarillas desechables
- Botiquín
- Caja de herramientas de fontanería

- Recipientes plásticos de 1 L
- Probeta graduada de 100 mL de plástico
- Cono Imhoff
- Medidor de pH
- Medidor de conductividad
- Kit de medición de cloro

8.5 Puesta en marcha

La siguiente es la lista de pasos a seguir para el arranque de la planta:

- Revisar que haya suficiente nivel de agua residual en los tanques de aireación y estabilizador de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Si el SBR que va a trabajar no tiene lodos, debe inocularse con lodos del otro reactor o algún inóculo comercial.
- Revisar que las válvulas estén abiertas desde la planta de tratamiento de aguas residuales hacia el reactor SBR que se va a trabajar.
- Encender la bomba de alimentación al SBR. El control de nivel la apagará automáticamente.
- Revisar que las válvulas estén abiertas desde el soplador hacia el reactor SBR que va a trabajar. Un “timer” arrancará automáticamente el soplador.
- Al terminar el proceso del SBR, el “timer” indicará al decantador que inicie su operación. El fotosensor hará que se detenga.
- El lodo purgado del SBR se envía al tratamiento del lodo de la PTAR.
- Verificar que los recipientes de coagulante y floculante están llenos y las respectivas bombas dosificadoras funcionan correctamente.
- Verificar que los filtros ya realizaron su proceso de limpieza.
- Verificar que el equipo de intercambio iónico ya se regeneró y cuenta con suficiente sal para su regeneración.

- Verificar que el recipiente de hipoclorito de sodio está lleno y la bomba dosificadora funcionan correctamente.
- Verificar que los medidores de cloro y conductividad funcionan correctamente.
- Arrancar bomba de filtración, se detendrá en forma automática de acuerdo con el nivel del tanque de agua limpia.
- Revisar que las válvulas de la tubería de recirculación del tanque de agua limpia estén abiertas.
- Verificar que haya suficiente nivel de agua en el tanque de agua limpia.
- Encender la bomba de agua limpia. Las boyas de nivel de los condensadores evaporativos regularán el flujo a cada equipo.

8.6 Operación

Las siguientes son consideraciones para tener en la operación del sistema de acondicionamiento del agua residuales para reúso.

Reactor secuencial biológico (SBR):

Se debe revisar que se cumplan los tiempos de reacción y decantación o vaciado según se indica en el siguiente cuadro. Se debe tener en cuenta que la purga de lodos no puede dejar vacío al SBR. Además, se debe verificar el correcto funcionamiento de los medidores de nivel cada dos meses.

Cronograma de reacción de los reactores secuenciales biológicos

Proceso	SBR 1		SBR 2	
	Inicio	Final	Inicio	Final
Vaciar agua tratada	6:00	7:00	10:00	11:00
Llenar con agua	7:00	8:00	11:00	12:00
Rxn aeróbica	8:00	11:00	12:00	15:00
Rxn anóxica	11:00	12:00	15:00	16:00

Cronograma de reacción de los reactores secuenciales biológicos (continuación)

Proceso	SBR 1		SBR 2	
	Inicio	Final	Inicio	Final
Rxn aeróbica	12:00	15:00	16:00	19:00
Rxn anóxica	15:00	16:00	19:00	20:00
Rxn aeróbica	16:00	18:00	20:00	22:00
Vaciar agua tratada	18:00	19:00	22:00	23:00
Llenar con agua	19:00	20:00	23:00	0:00
Rxn aeróbica	20:00	23:00	0:00	3:00
Rxn anóxica	23:00	0:00	3:00	4:00
Rxn aeróbica	0:00	3:00	4:00	7:00
Rxn anóxica	3:00	4:00	7:00	8:00
Rxn aeróbica	4:00	6:00	8:00	10:00

Tanques de almacenamiento:

El tanque de almacenamiento del agua decantada de los reactores secuenciales biológicos solamente necesita limpiezas semestrales.

En el caso del tanque de almacenamiento de agua limpia, además de la revisión semestral para asegurar que se mantiene limpio, se debe hacer verificación cada dos meses del buen funcionamiento de los sensores de nivel, se debe calibrar los medidores de cloro y conductividad mensualmente y verificar el buen funcionamiento de la bomba dosificadora de cloro.

Floculador:

Es muy importante mantener las bombas dosificadoras de coagulante y floculante trabajando correctamente. El floculador no debe tener fugas de agua por lo que se debe verificar semanalmente.

Filtros y equipo de intercambio iónico:

Se debe realizar mantenimiento semestral para evitar fugas y asegurar el correcto funcionamiento tanto durante la operación como durante el lavado o regeneración.

8.7 Control operacional

Se deben realizar los siguientes controles para asegurar la calidad del agua producida por el sistema de acondicionamiento del agua.

Medir diariamente el caudal, pH, temperatura y conductividad del efluente del sistema de acondicionamiento.

Hacer una caracterización completa en forma semestral del efluente del sistema de acondicionamiento que incluye: DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno, pH, temperatura, y nemátodos.

8.8 Posibles riesgos

Los posibles riesgos que se pueden encontrar en la planta son físicos y los ocasionados por productos químicos y las medidas de seguridad que se deben adoptar son:

Utilizar siempre el equipo de protección personal correspondiente.

Mantener el orden en las instalaciones.

Realizar un correcto lavado de manos al entrar y salir del turno de trabajo, antes de comer, después de cualquier dosificación de productos químicos y limpieza de equipo.

Realizar trabajos en espacios confinados (tanques, por ejemplo), siempre en parejas.

Mantener todos los productos químicos en lugares secos, ventilados, sin exposición al sol.

Mantener todos los productos químicos en recipientes debidamente etiquetados.

Evitar la mezcla de productos químicos.

8.9 Mantenimiento

Para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento se deben seguir los siguientes cuidados:

Reactor secuencial biológico (SBR):

Revisión y limpieza externa de los SBR.

Revisión y limpieza interna de los SBR.

Revisión y limpieza de tuberías de distribución de aire.

Revisión y limpieza de los medidores de nivel.

Revisión y limpieza de tuberías de lodos y decantadores.

Verificación del ruido del soplador y la bomba de alimentación.

Lubricación del soplador y bomba de alimentación.

Revisión de amperaje y voltaje del soplador y bomba de alimentación.

Tanques de almacenamiento:

Revisión y limpieza externa de los tanques.

Revisión y limpieza interna de los tanques.

Revisión y limpieza de los medidores de nivel.

Verificación del ruido de las bombas de filtración y agua limpia.

Lubricación de las bombas de filtración y agua limpia.

Revisión de amperaje y voltaje de las bombas de filtración y agua limpia.

Revisión y limpieza de las válvulas de succión y descarga de la dosificadora de cloro.

Floculador:

Revisión y limpieza del floculador.

Detección y corrección de fugas.

Revisión y limpieza de las válvulas de succión y descarga de las dosificadoras de coagulante y floculante.

Filtros y equipo de intercambio iónico:

Detección y corrección de fugas.

8.10 Desechos

Los desechos producidos por el sistema de acondicionamiento del agua residual para reúso son:

Lodos producidos por reactores secuenciales biológicos. Se envían a la PTAR.

Corrientes de lavado de los filtros y equipo de intercambio iónico. Se enviarán al tanque recolector de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Capítulo 9. Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

- El consumo de agua potable en los sistemas de enfriamiento de la Planta Empacadora de Mariscos corresponde a menos del 10% del total de agua potable consumida.
- El aumento de los ciclos de concentración en el agua de los condensadores evaporativos genera un ahorro en el consumo del agua potable, que en este caso puede exceder los 2 m³/d.
- El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales no cumple en forma consistente con el Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales.
- Las principales necesidades del tratamiento para el reúso son la carga orgánica, los sólidos suspendidos y las grasas y aceites. Además de la disminución de la alcalinidad y conductividad eléctrica.
- El sistema propuesto para eliminar la mayor parte de la carga orgánica, los sólidos suspendidos y las grasas y aceites es el reactor secuencial discontinuo junto a un floculador en línea.
- El tratamiento terciario de filtración con dos medios filtrante y desmineralización con resina de intercambio iónico, se propuso para eliminar sólidos suspendidos y sólidos disueltos.
- El sistema de acondicionamiento del agua residual propuesto no es financieramente viable en las condiciones en las que se plantea el presente proyecto.
- Para que el sistema de acondicionamiento del agua residual propuesto sea financieramente viable se deben disminuir los costos de inversión y de tratamiento a través del mejoramiento de la calidad del efluente de la PTAR, así como aumentar el caudal de agua de reúso.

9.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio para establecer las etapas del proceso donde se consume el agua potable para estimar dónde se tendría más ganancia al disminuir su consumo.
- Realizar mantenimientos preventivos en los condensadores evaporativos del sistema de refrigeración para evitar fugas y disminuir el consumo de agua potable.
- Realizar un estudio de los posibles cambios en el tratamiento químico del agua de los condensadores para poder trabajar a mayores ciclos de concentración sin hacer mayores inversiones y se logre ahorrar agua potable.
- Realizar una evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad del efluente.
- Realizar un estudio de los posibles usos que se le puedan dar al agua residual tratada, para poder llegar a un caudal de reúso tal que haga que su operación sea financieramente viable.
- Evaluar los costos del proceso con una base alternativa a la base teórica que se planteó, utilizando los precios de mercado de los insumos, equipos y mano de obra, para el cálculo de los costos fijos y así tener un valor más cercano a los costos fijos reales que se podrían tener en el proyecto.

Capítulo 10. Nomenclatura

Letras mayúsculas	Descripción	Unidades
A	Área	m ²
A	Arrastres	m ³ /h
AT	Alcalinidad total	g/m ³ CaCO ₃
C	Concentración	g/m ³
Ca	Dureza de calcio	g/m ³ CaCO ₃
CAP	Costos anexos a la planta	\$
CD	Costos directos	\$
CFP	Costos fijos de proceso	\$
Ci	Ciclos de concentración	Adimensional
CI	Costos indirectos	\$
Cl	Concentración de cloruros	g/m ³
CT	Capital de trabajo	\$
CTT	Costo total del tratamiento	\$
CVP	Costos variables del proceso	\$
D	Densidad	kg/m ³
D	Diámetro	m
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno	g/m ³
DQO	Demanda química de oxígeno	g/m ³
E	Evaporación del agua en el condensador evaporativo	m ³ /h
GyA	Grasas y aceites	g/m ³
ICF	Inversión de capital fijo	\$
ITC	Inversión total de capital	\$
kd	Coefficiente degradación	g/g

Letras mayúsculas	Descripción	Unidades
L	Largo	m
LSI	Índice de saturación de Langelier	Adimensional
P	Potencia	W
P	Purga de agua	m ³ /h
PSI	Índice de Incrustación de Puckorius	Adimensional
Q	Caudal	m ³ /s
R	Reposición de agua	m ³ /h
R	Tasa de interés pasiva	%
Re	Número de Reynolds	Adimensional
SAAM	Sustancias activas al azul de metileno	g/m ³
SDT	Sólidos disueltos totales	g/m ³
SI	Índice de estabilidad de Ryznar	Adimensional
SSes	Sólidos sedimentables	mL/L
SST	Sólidos suspendidos totales	g/m ³
SSV	Sólidos suspendidos volátiles	g/m ³
T	Temperatura	°C
V	Volumen	m ³
VAN	Valor actual neto	\$
Y	Coefficiente de rendimiento	g/g
Z	Altura	m

Letras minúsculas	Descripción	Unidades
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²
h	Altura	m
n	Período	años
np	Número de pasos	Unidades
t	Tiempo	s
v	Velocidad	m/s

Letras griegas	Descripción	Unidades
α	Factor de corrección transferencia O ₂	Adimensional
β	Factor de corrección por solubilidad	Adimensional
μ	Viscosidad	kg/m·s
ρ	Densidad	Kg/m ³
π	Beneficio económico para el período	\$
Δ	Diferencial	Adimensional
ϵ	Eficiencia	%
η	Eficiencia	%

Subíndices	Descripción
B	Se refiere a la bomba
c	Se refiere a continua
cloruros	Se refiere a la concentración de cloruros
CE	Se refiere a condensador evaporativo
eq	Se refiere a la longitud equivalente
R	Se refiere a recirculación o reposición
RH	Se refiere a retención hidráulica
S	Se refiere a saturación
sop	Se refiere al soplador
T	Se refiere a total
teór.	Se refiere a teórico
real	Se refiere a real
reúso	Se refiere al agua destinada al reúso

Capítulo 11. Bibliografía

1. AMEC Earth & Environmental Limited. (2003). *Management of Wastes from Atlantic Seafood Processing Operations*, Canadá. Recuperado el 07 de abril del 2020 de <https://p2infohouse.org/ref/42/41590.pdf>
2. Argonne National Laboratory. (2007). *Use of Reclaimed Water for power plant Cooling*, Estados Unidos de América. Recuperado el 19 de octubre del 2020 de <https://publications.anl.gov/anlpubs/2007/10/59940.pdf>
3. Association of Water Technologies, AWT. (2010). *Selection Guide for Successful Cooling Water Treatment Programs*, Estados Unidos de América. Recuperado el 19 de abril del 2020 de <https://www.awt.org/pub/?id=0373B809-9687-2F47-45E5-32DB84E07BE2>
4. Banco Central de Costa Rica, *Tipo cambio de compra y de venta del dólar de los Estados Unidos de América*, Recuperado el 01 de noviembre 2021 de Banco Central <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>
5. Bungay, S., Stephenson T. (2007). *Operating strategies for variable flow Sequencing Batch Reactor*. *Water and Environmental Journal*, 21(1). Estados Unidos de América. Recuperado el 5 de noviembre de 2021 de https://www.researchgate.net/publication/227655271_Operating_strategies_for_variable-flow_sequencing_batch_reactors
6. CETENMA. (2018). *Informe de vigilancia tecnológica, Torres de refrigeración, gestión inteligente*, España. Recuperado el 25 de agosto 2019 https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/4_leg.pdf
7. Chavarría, D. (2014). *Dimensionamiento, conceptualización y propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Proyecto de graduación sometido a la consideración

- de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
8. Crane. (1992), *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. México, McGraw-Hill. Primera edición.
 9. Dossat, R. (2009). *Principios de refrigeración*. México D.F., Compañía Editorial Continental.
 10. EPA. (1999). *Wastewater Technology Fact Sheet Sequencing Batch Reactors*, Estados Unidos América. Recuperado el 15 de julio de 2021 de <https://www.semanticscholar.org/paper/Wastewater-Technology-Fact-Sheet-Sequencing-Batch-Schnoor/308da60744e813ced172f2f1b765b753d789eefe>
 11. EVAPCO. (2020). *Operation and Maintenance Instructions, for EVAPCO Closed Circuit Coolers and Evaporative Condensers*. Estados Unidos América. Recuperado el 06 de octubre del 2020 de <https://www.evapco.com/sites/evapco.com/files/2020-02/O%26M%20Bulletin%20CLR19OM%20116.pdf>
 12. Frayne, C. (1999), *Cooling Water Treatment, Principles and Practice*. New York, Chemical Publishing Co. Primera edición.
 13. Frayne, C. (2010), *Reduction, Recycling, Reuse for Cooling System Makeup*. Estados Unidos de América. Recuperado el 19 de octubre del 2020 de <https://www.watertechonline.com/home/article/14170430/reduction-recycling-reuse-for-cooling-system-makeup>
 14. INEC. (2000). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas, Rev. 3*. San José, Costa Rica. Recuperado el 15 de mayo del 2020 de http://sistemas.inec.cr/sitiosen/sitiosen/Archivos/CIUU_3.pdf
 15. Instituto Costarricense de Electricidad, *Tarifas del servicio de distribución de electricidad, publicado en el alcance N°195 de la Gaceta 187 del 29 de setiembre del 2021*. Recuperado el 01 de noviembre 2021 de Instituto Costarricense de Electricidad: www.grupoice.com/wps/wcm/connect/Tarifas+actuales

16. Instituto Meteorológico Nacional, (2009). *Regiones y Subregiones Climáticas de Costa Rica*. Recuperado el 29 de marzo 2020, de Instituto Meteorológico Nacional:
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
17. Kemmer, F.N. (1988). *The Nalco Water Handbook*. Estados Unidos de América: Nalco Chemical Company. Segunda edición.
18. Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Estados Unidos de América: McGraw Hill. Cuarta edición.
19. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, *Lista de Salarios Mínimos por Ocupación Año 2021*. Recuperado el 01 de noviembre 2021 de Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, <https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/lista-salarios.html>
20. ONUDI (2017), *Guía de Recursos Eficientes y Producción más Limpia Sector Camaronero*, México. Recuperado el 27 de abril del 2020 de <https://es.scribd.com/document/451444411/Guia-para-la-eficiencia-de-recursos-y-produccion-mas-limpia-en-el-sector-camaronero-pdf>
21. Peters, M. (2003), *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York, McGraw-Hill. Quinta edición.
22. Poder Ejecutivo, Gobierno de Costa Rica. (2007). Decreto Ejecutivo N° 33601, *Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, San José, Costa Rica: Diario Oficial la Gaceta*.
23. Portuguez, V. (2011). *Diseño e implementación de un sistema de medición basado en el cuadro de mando integral*. Trabajo final de investigación aplicada para optar al grado de Maestría Profesional en Administración y Dirección de Empresas. Sede del Pacífico, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
24. Puckorius, P. (2013). *Recycled Water for Cooling Towers: Good Idea or Bad?* Estados Unidos América. Recuperado el 15 de mayo del 2020 de <https://www.waterworld.com/articles/iww/print/volume-13/issue-1/feature-editorial/recycled-water-for-cooling-tower-good-idea-or-bad.html>

25. San Diego County Water Authority. (2009). *Technical Information for Cooling Towers Using Recycled Water*, Estados Unidos América. Recuperado el 01 de octubre del 2020 de <https://docplayer.net/2861069-Technical-information-for-cooling-towers-using-recycled-water.html>
26. San José Water Pollution Control Plant. (2002). *Guidelines for Managing Water in Cooling Systems*, Estados Unidos América. Recuperado el 18 de julio del 2020 de <https://www.sanjooseca.gov/Home/ShowDocument?id=37061>
27. Smith, J.M., & Van Ness H.C. (1989). *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. México D.F., McGraw-Hill. Segunda edición.
28. Tay, J. Show, K. Hung, Y. (2006). *Seafood Processing Wastewater Treatment*, Estados Unidos América. Recuperado el 21 de abril del 2020 de https://www.researchgate.net/publication/250465655_Seafood_Processing_Wastewater_Treatment
29. Waste and Resources Action Program, WRAP. (2010). *Reducing water use in cooling towers and evaporative condensers*, Reino Unido. Recuperado el 19 de abril del 2020 de https://archive.wrap.org.uk/sites/files/wrap/guidance_doc_2_cooling_towers.pdf
30. Zárata, G. (2016). *Dimensionamiento y costeo de un sistema de tratamiento terciario que permita el reúso del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa procesadora de carne de aves*. Proyecto de graduación sometido a la consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

APÉNDICES

APÉNDICE A

DATOS UTILIZADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO

Cuadro A.1 Características físico – químicas del agua potable utilizada en los condensadores evaporativos.

Parámetro	Fecha muestreo				
	22-abr.-20	8-may.-20	21-may.-20	22-may.-20	29-may.-20
Dureza total (ppm)	72	82	72	84	82
Dureza Ca (ppm)	52	52	50	56	48
Dureza Mg (ppm)	20	30	22	28	34
Alcalinidad parcial (ppm)	0	0	0	0	0
Alcalinidad total (ppm)	66	62	54	60	28
Sílice (ppm)	32.6	31	28.7	30.5	25.9
pH	7.49	7.54	7.46	7.38	6.69
Cloruros (ppm)	18	20	16	14	14
Hierro total (ppm)	-	0.14	0.08	0.14	0.1
Sólidos disueltos (ppm)	147	175	154	154	133
Conductividad ($\mu\text{mho/cm}$)	210	250	220	220	190
Turbidez (NTU)	0	0.09	0.38	0.13	0.31

Cuadro A.1 Características físico – químicas del agua potable utilizada en los condensadores evaporativos. (continuación).

Parámetro	Fecha muestreo				
	17-jun.-20	10-jul.-20	12-ago.-20	30-oct.-20	17-nov.-20
Dureza total (ppm)	34	64	64	66	56

Cuadro A.1 Características físico – químicas del agua potable utilizada en los condensadores evaporativos. (continuación).

Parámetro	Fecha muestreo				
	17-jun.-20	10-jul.-20	12-ago.-20	30-oct.-20	17-nov.-20
Dureza Ca (ppm)	22	30	40	46	32
Dureza Mg (ppm)	12	34	24	20	24
Alcalinidad parcial (ppm)	0	0	0	0	0
Alcalinidad total (ppm)	20	52	60	44	24
Sílice (ppm)	18	26	25.8	24.9	21.1
pH	6.79	7.44	7.55	7.33	7.02
Cloruros (ppm)	10	11	10	9	11
Hierro total (ppm)	0.16	-	-	0.08	0.22
Sólidos disueltos (ppm)	98	112	112	77	84
Conductividad ($\mu\text{mho/cm}$)	140	160	160	110	120
Turbidez (NTU)	0.00	0.14	0.00	0.06	0.00

Cuadro A.2 Características físico – químicas del agua en el condensador evaporativo #1 de la Planta Empacadora de Mariscos.

Parámetro	Fecha muestreo						
	9-ene. 2020	29-ene. 2020	17-mar. 2020	22-abr. 2020	8-may. 2020	21-may 2020	22-may 2020
Dureza total (ppm)	388	710	264	274	154	585	500
Dureza Ca (ppm)	258.4	472.9	196.0	208	112	385	350
Dureza Mg (ppm)	129.6	237.1	68.0	66	42	200	150
Alcalinidad parcial (ppm)	8	22	28	14	0	0	0
Alcalinidad total (ppm)	144	208	248	112	56	32	36
Sílice (ppm)	135	83	80	101.0	58.0	124.5	111.5
pH	8.21	8.51	8.64	8.21	7.53	6.63	6.95
Cloruros (ppm)	124	230	124	53	32	142	124
Hierro total (ppm)	-	-	0.52	-	0.26	3.44	1.98

Cuadro A.2 Características físico – químicas del agua en el condensador evaporativo #1 de la Planta Empacadora de Mariscos. (continuación).

Parámetro	Fecha muestreo						
	9-ene. 2020	29-ene. 2020	17-mar. 2020	22-abr. 2020	8-may. 2020	21-may 2020	22-may 2020
Sólidos disueltos (ppm)	1050	1820	980	490	336	1050	910
Conductividad (µmho/cm)	1500	2600	1400	700	480	1500	1300
Turbidez (NTU)	-	-	-	-	1.88	0.53	0.22
Fosfonatos (ppm)	20	15	23	11	14	30	29

Cuadro A.2 Características físico – químicas del agua en el condensador evaporativo #1 de la Planta Empacadora de Mariscos. (continuación).

Parámetro	Fecha muestreo					
	29-may. 2020	17-jun. 2020	10-jul. 2020	12-ago. 2020	2-nov. 2020	17-nov. 2020
Dureza total (ppm)	270	304	312	314	326	240
Dureza Ca (ppm)	258.4	472.9	196	208	112	385
Dureza Mg (ppm)	129.6	237.1	68	66	42	200
Alcalinidad parcial (ppm)	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad total (ppm)	24	28	82	72	84	46
Sílice (ppm)	88.0	99.8	102.4	109.6	115.0	102.6
pH	6.40	7.32	7.92	7.83	7.6	7.48
Cloruros (ppm)	39	28	35	35	32	28
Hierro total (ppm)	5.74	0.66	-	-	0.38	0.32
Sólidos disueltos (ppm)	476	672	574	630	588	616
Conductividad (µmho/cm)	680	960	820	900	840	880
Turbidez (NTU)	0.65	0.92	3.05	5.23	1.25	2.65
Fosfonatos (ppm)	19	29	19	33	20	24

Cuadro A.3 Características físico – químicas del agua en el condensador evaporativo #2 de la Planta Empacadora de Mariscos.

Parámetro	Fecha muestreo						
	9-ene. 2020	29-ene. 2020	17-mar. 2020	22-abr. 2020	8-may. 2020	21-may 2020	22-may 2020
Dureza total (ppm)	112	102	140	120	132	124	148
Dureza Ca (ppm)	76.8	70.0	96.0	82.3	90.6	85.1	101.5
Dureza Mg (ppm)	35.2	32.0	44.0	37.7	41.4	38.9	46.5
Alcalinidad parcial (ppm)	12	0	10	0	0	12	20
Alcalinidad total (ppm)	108	70	116	90	88	86	98
Sílice (ppm)	51.8	29	48	48.8	46.0	46.8	56.4
pH	8.35	7.56	8.3	7.90	7.85	8.28	8.21
Cloruros (ppm)	21	21	28	32	39	25	32
Hierro total (ppm)	-	-	0.2	-	0.20	0.34	0.20
Sólidos disueltos (ppm)	210	196	273	224	322	287	294
Conductividad (µmho/cm)	300	280	390	320	460	410	420
Turbidez (NTU)	0.97	-	0.8	4.83	5.31	0.48	0.54
Fosfonatos (ppm)	6	1.3	6	6	9	6	6

Cuadro A.3 Características físico – químicas del agua en el condensador evaporativo #2 de la Planta Empacadora de Mariscos. (continuación).

Parámetro	Fecha muestreo					
	29-may. 2020	17-jun. 2020	10-jul. 2020	12-ago. 2020	2-nov. 2020	17-nov. 2020
Dureza total (ppm)	142	84	100	114	98	86
Dureza Ca (ppm)	97.4	57.6	60.0	74.0	66.0	62.0
Dureza Mg (ppm)	44.6	26.4	40.0	40.0	32.0	24.0
Alcalinidad parcial (ppm)	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad total (ppm)	56	28	62	68	56	30
Sílice (ppm)	44.6	35.0	40.8	44.4	44.4	39.2
pH	7.27	7.50	7.98	7.99	7.67	7.28
Cloruros (ppm)	21	14	14	14	11	18
Hierro total (ppm)	0.40	0.28	-	-	0.26	0.28
Sólidos disueltos (ppm)	273	217	189	182	140	168

Cuadro A.3 Características físico – químicas del agua en el condensador evaporativo #2 de la Planta Empacadora de Mariscos. (continuación).

Fecha muestreo	29-may.	17-jun.	10-jul.	12-ago.	2-nov.	17-nov.
Parámetro	2020	2020	2020	2020	2020	2020
Conductividad (µmho/cm)	390	310	270	260	200	240
Turbidez (NTU)	0.65	0.58	0.50	3.97	0.4	0.52
Fosfonatos (ppm)	8	8	6.00	6.00	10.4	8

Cuadro A.4 Datos de los contadores de agua potable de los condensadores evaporativos de la Planta Empacadora de Mariscos.

Fecha de lectura	Contador de agua del condensador #1 (m³)	Contador de agua del condensador #2 (m³)
9-enero-20	256.485	614.0275
29- enero-20	329.8699	750.5618
17-marzo-20	494.927	1062.9746
22-abril-20	631.2822	1286.6609
8-mayo-20	687.716	1374.8500
21-mayo-20	731.178	1451.3690
22-mayo-20	734.8025	1458.0410
29-mayo-20	753.5433	1497.0390
17-junio-20	809.4904	1599.8790
10-julio-20	876.2253	1724.0375
12-agosto-20	964.5427	1901.1500
17-noviembre-20	1298.94	2420.3434

Cuadro A.5 Resultados de la caracterización del efluente de la PTAR

Análisis	Muestra 20-05-20	Muestra 29-10-19
pH	6.83	7.13
Sólidos totales (mg/L)	1204	2728
Sólidos disueltos (mg/L)	944	2604
Sólidos suspendidos totales (SST, mg/L)	256	124
Sólidos sedimentables (SSes, mL/L)	4.8	3
Demanda química de oxígeno (DQO, mg/L)	1861	2335
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO _{5,20} , mg/L)	654	1380
Grasas y aceites (GyA, mg/L)	10.6	22
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM, mg/L)	0.23	1.9

Cuadro A.6 Análisis adicionales para la caracterización del efluente de la PTAR

Análisis	Muestra 20-05-20	Muestra 29-10-19
Nitrógeno total como N mg/L	345	173
Fósforo total como P mg/L	33.8	11.3
Sólidos totales mg/L	1204	2720
Sólidos disueltos mg/L	944	2604
Sólidos suspendidos totales mg/L	256	124
Turbidez NTU	110	29
Conductividad eléctrica $\mu\text{S/cm}$	1521	2640
Alcalinidad FF mg/L	0	0.5
Alcalinidad total (RM) mg/L	661	1216
Dureza total mg/L (CaCO ₃)	126	211
Calcio Ca ²⁺ mg/L	34.02	46.7

Cuadro A.6 Análisis adicionales para la caracterización del efluente de la PTAR (continuación).

Análisis	Muestra 20-05-20	Muestra 29-10-19
Magnesio Mg ⁺² mg/L	9.963	22.9
Cloruros (Cl) mg/L	144	200
Sílice (SiO ₂) mg/L	43	40.6
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	42	17.6
Amonio NH ₄ ⁻	33	173
Hierro (Fe)	2.29	0.07
Color aparente CU	100	500

Cuadro A7 Datos del efluente de la PTAR suministrados por la Planta Empacadora de Mariscos.

Temperatura (°C)	Caudal (m³/d)	pH
21	85	7
21.5	83	7
21	85	7
21.5	85	7
19	90	7
21	85	7
19	90	7
19	90	7

Cuadro A.8 Datos para el cálculo de la potencia de las bombas

Parámetro	Valores BC-101	Valores BC-102
Caudal, Q (m ³ /d)	11	5.22
Caudal, Q (m ³ /s)	0.003	0.0015
Temperatura, T (°C)	30	30
Densidad, ρ (kg/m ³)	996	996
Viscosidad, μ (cP)	0.0008	0.0008
Altura, Z (m)	3.67	2
Longitud, L (m)	20	7
Eficiencia de la bomba, η (%)	75%	75%
Material de la tubería	PVC	PVC
Diámetro interno de la tubería, Di (m)	0.0508	0.0508
Rugosidad de la tubería, ε (mm)	0.0015	0.0015

Cuadro A.8 Datos para el cálculo de la potencia de las bombas (continuación).

Parámetro	Valores BC-103	Valores BC-104
Caudal, Q (m ³ /d)	10.19	11.34
Caudal, Q (m ³ /s)	0.0002	0.003
Temperatura, T (°C)	30	30
Densidad, ρ (kg/m ³)	996	996
Viscosidad, μ (cP)	0.0008	0.0008
Altura, Z (m)	2	2
Longitud, L (m)	40	70
Eficiencia de la bomba, η (%)	75%	75%
Material de la tubería	PVC	PVC
Diámetro interno de la tubería, Di (m)	0.0508	0.0508
Rugosidad de la tubería, ε (mm)	0.0015	0.0015

Cuadro A.9 Datos para el cálculo de las dimensiones del floculador

Parámetro	Valores
Caudal diario, Q (m ³ /d)	10.19
Tiempo de operación, t _{op} (h/d)	16
Tiempo de contacto, t _c (min)	5
Diámetro de tubería, D (m)	0.0508
Longitud de cada paso, L _p (m)	3

Cuadro A.10 Dosis de coagulante y floculante recomendados por el proveedor.

Parámetro	Coagulante	Floculante
Producto químico	Sulfato de aluminio	Poliacrilamida catiónica
Dosificación (g/m ³)	200	5
Concentración, C _n (%)	20	0.25
Densidad, ρ (g/mL)	1.32	1.10

Cuadro A.11 Datos para el cálculo de las dimensiones del filtro F-102.

Parámetro	Valor
Velocidad del flujo de operación (m/min)	0.49 – 0.81
Velocidad del flujo de retrolavado (m/min)	0.57 – 0.73
Altura del medio, (m)	0.75 – 1.20

Cuadro A.12 Datos para el cálculo del consumo de hipoclorito de sodio

Parámetro	Valor
Concentración NaClO (%)	10
Densidad NaClO, ρ (g/mL)	1.16
Masa molar NaClO, (g/mol)	74.44
Masa molar cloro, (g/mol)	35.45

Cuadro A.13 Datos utilizados para el cálculo del valor actual neto

Rubro	Valor
Tarifa del agua (\$/m ³)	5
Inflación (%)	3
Tasa de interés pasiva, R (%)	2.85

APÉNDICE B

RESULTADOS INTERMEDIOS Y RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO

Cuadro B.1 Características físico – químicas promedio del agua potable y del agua en los condensadores evaporativos

Parámetro	Agua potable	Condensador 1	Condensador 2
Dureza total (ppm)	67.6	357	115.5
Dureza Ca (ppm)	42.8	254	78.4
Dureza Mg (ppm)	24.8	103	37.1
Alcalinidad parcial (ppm)	0.0	5.5	4.2
Alcalinidad total (ppm)	47.0	90	74
Sílice (ppm)	26.5	100.8	44.2
pH	7.27	7.63	7.86
Cloruros (ppm)	13.3	78.9	22.3
Hierro total (ppm)	0.13	1.66	0.27
Sólidos disueltos (ppm)	124.6	784	229
Conductividad ($\mu\text{mho/cm}$)	178.0	1120	327
Turbidez (NTU)	0.11	1.82	1.63
Fosfonatos (ppm)	-	22.0	6.7

Cuadro B.2 Consumo diario de agua potable de los condensadores evaporativos.

Fecha de lectura	Consumo de agua condensador 1 (m³/d)	Consumo de agua condensador 2 (m³/d)
29-ene.-20	3.67	6.83

Cuadro B.2 Consumo diario de agua potable de los condensadores evaporativos (continuación).

Fecha de lectura	Consumo de agua condensador 1 (m³/d)	Consumo de agua condensador 2 (m³/d)
17-mar.-20	3.44	6.51
22-abr.-20	3.79	6.21
8-may.-20	3.53	5.51
21-may.-20	3.34	5.89
22-may.-20	3.62	6.67
29-may.-20	2.68	5.57
17-jun.-20	2.94	5.41
10-jul.-20	2.90	5.40
12-ago.-20	2.68	5.37
17-nov. -20	3.45	5.35

Cuadro B.3 Consumo de agua promedio de los condensadores evaporativos.

Característica	Condensador 1	Condensador 2
Consumo de agua potable (m ³ /día)	3.28	5.88

Cuadro B.4 Ciclos de concentración promedio de los condensadores evaporativos.

Característica	Condensador 1	Condensador 2
Ciclos de concentración (adim.)	5.93	1.68

Cuadro B.5 Cálculo del consumo de agua en los condensadores evaporativos.

Corriente	Condensador 1	Condensador 2
Evaporación, E (m ³ /h)	0.104	0.099
Arrastres, A (m ³ /h)	0.009	0.009
Purga total P _T (m ³ /h)	0.021	0.145
Purga continua, P _C (m ³ /h)	0.012	0.136
Reposición de agua, R (m ³ /h)	0.125	0.244
Reposición de agua, R (m ³ /d)	3.00	5.85

Cuadro B.6 Cálculo del consumo de agua en los condensadores evaporativos a 4 ciclos de concentración.

Corriente	Condensador 1	Condensador 2
Evaporación, E (m ³ /h)	0.104	0.099
Arrastres, A (m ³ /h)	0.009	0.009
Purga total P _T (m ³ /h)	0.035	0.033
Purga continua, P _C (m ³ /h)	0.026	0.024
Reposición de agua, R (m ³ /h)	0.138	0.132
Reposición de agua, R (m ³ /día)	3.32	3.16

Cuadro B.7 Datos de producción de lodos en los SBR

Parámetro	Valor
Coefficiente de rendimiento absoluto, Y _{obs} (g VSS / g)	0.37
Lodo activo volátil, P _x (kg VSS/d)	4.24
Lodo como SST, P _{xsst} (kg SST/d)	7.33
Volumen de lodo a extraer, V _{LEX} (m ³ /d)	0.73

Cuadro B.8 Datos del consumo de aire en los SBR

Parámetro	Valor
Tasa de transferencia de oxígeno en condiciones de campo, ROx (kg O ₂ /d)	5.71
Tasa de transferencia de oxígeno en condiciones de campo, ROx (kg O ₂ /d)	8.25
Tasa de transferencia de oxígeno real, ROx (kg O ₂ /d)	12.72

Cuadro B.9 Cálculos de las potencias de las bombas

Parámetro	Valores para BC-101	Valores para BC-102
Área, A (m ²)	0.002	0.002
Velocidad del fluido, v (m/s)	1.5	0.71
Número de Reynolds, Re (adim.)	95347	45246
Coefficiente de fricción, f	0.02	0.02
Longitud equivalente, L _{eq} (m)	12	10
Pérdida de carga, h _f (m)	1.13	0.14
Carga de trabajo de la bomba, h _B (m)	4.9	2.1
Potencia teórica, P _{teór.} (W)	146.6	29.3
Potencia real, P _{real} (HP)	0.26	0.1

Cuadro B.9 Cálculos de las potencias de las bombas (continuación)

Parámetro	Valores para BC-103	Valores para BC-104
Área, A (m ²)	0.0011	0.0011
Velocidad del fluido, v (m/s)	2.5	2.76

Cuadro B.9 Cálculos de las potencias de las bombas (continuación)

Parámetro	Valores para BC-103	Valores para BC-104
Número de Reynolds, Re (adim.)	117768	131055
Coefficiente de fricción, f	0.02	0.02
Longitud equivalente, L_{eq} (m)	60	74
Pérdida de carga, h_f (m)	14	25
Carga de trabajo de la bomba, h_B (m)	14.3	27.4
Potencia teórica, $P_{teór.}$ (W)	395	843
Potencia real, P_{real} (HP)	0.7	1.5

Cuadro B.10 Cálculos de las dimensiones del floculador.

Parámetro	Valor
Caudal, Q (m ³ /h)	0.64
Área transversal, A (m ²)	0.002
Velocidad del fluido, v (m/min.)	5.24
Longitud total, L_T (m)	26.2
Cantidad de pasos, n_p (unid.)	10

Cuadro B.11 Cálculos de la dosificación de coagulante y floculante

Parámetro	Coagulante	Floculante
Producto químico	Sulfato de aluminio	Poliacrilamida catiónica
Dosificación de producto (g/d)	2038	51
Dosificación de producto (L/d)	7.7	18.5
Dosificación de dilución (L/h)	0.5	1.2

Cuadro B.12 Cálculo de las dimensiones del filtro F-102.

Parámetro	Valor
Caudal, Q (m ³ /min)	0.011
Velocidad del flujo de operación (m/min)	0.65
Altura del medio, (m)	0.9
Área transversal, A (m ²)	0.017
Diámetro, D (m)	0.15
Volumen del medio filtrante, V (m ³)	0.015
Volumen ajustado del medio filtrante, V (m ³)	0.028

Cuadro B.13 Cálculo de las dimensiones del filtro F-103.

Parámetro	Valor
Caudal, Q (m ³ /min)	0.011
Tiempo de contacto, tc (min)	5
Volumen del medio filtrante, V (m ³)	0.057
Volumen ajustado del medio filtrante, V (m ³)	0.071

Cuadro B.14 Cálculo de la dosis de hipoclorito de sodio

Parámetro	Valor
Caudal, Q (m ³ /h)	0.678
Dosis NaClO punto ruptura (ppm)	6
Dosis NaClO (mL/h)	7.4
Dosis NaClO (L/d)	0.12
Dosis NaClO (L/mes)	4

Cuadro B.15 Costo mensual de insumos para la operación del sistema propuesto

Producto	Cantidad mensual	Costo unitario \$	I.V.A.	Costo mensual
Coagulante	61.1	₡ 611.33	13%	\$ 65.76
Floculante	1.5	₡ 6,274.22	13%	\$ 16.57
Hipoclorito de sodio	4	₡ 804.39	13%	\$ 5.66
Sal industrial	200	₡ 495.50	1%	\$ 155.94
Total				\$ 243.93

Cuadro B.16 Requerimientos energéticos mensuales del sistema propuesto

Equipo	Potencia (kW)	Operación diaria (h)	kWh
Soplador	2.55	22	56.1
BC-101	0.75	4	3
BC-102	2x0.75	4	6
BC-103	0.75	16	12
BC-104	1.5	24	36
BD-101	0.02	16	0.32
BD-102	0.02	16	0.32
BD-103	0.02	24	0.48

Cuadro B.17 Costo energético mensual del sistema propuesto

Requerimiento (kWh/mes)	Costo energía (\$/kWh)	Costo potencia kWh (\$/kWh)	Costo energético (\$/mes)
114.22	0.14	4.15	489.59

Cuadro B.18 Costo mensual de la mano de obra

Puesto	Jornada (h/d)	Salario mínimo / h	Cargas sociales	Costo (₡/mes)	Costo (\$/mes)
Jefe	1	₡ 2 699.20	45.18%	₡ 101 886.16	\$ 158.74
Operador 1	8	₡ 1 447.98	45.18%	₡ 437 251.38	\$ 681.25
Operador 2	8	₡ 1 447.98	45.18%	₡ 437 251.38	\$ 681.25

Cuadro B.19 Costo anual variable del sistema propuesto (CVP).

Rubro	Porcentaje seleccionado	Costo (\$ / año)
Insumos		\$ 2 927.27
Servicios		\$ 6 100.46
Mano de obra		\$ 18 254.81
Supervisión	15% de la mano de obra	\$ 2 738.22
Mantenimiento y reparaciones	2% ICF	\$ 1 159.59
Suministros operativos	15% del mantenimiento	\$ 173.94
Control de calidad del efluente		\$ 600.00
Total CVP		\$ 31 954.28

Cuadro B.20 Costo anual fijo del sistema propuesto (CFP).

Rubro	Porcentaje seleccionado	Costo (\$ / año)
Impuestos y seguros	1% de ICF	\$ 579.80
Costos adicionales	15% de la mano de obra	\$ 2 738.22
Total CFP		\$ 3 318.02

Cuadro B.21 Datos para la determinación de los beneficios del proyecto.

Rubro	Valor
Consumo anual de agua (m ³ /año)	2 365

Cuadro B.22 Datos para el cálculo del valor actual neto.

Período	Ahorro en de agua potable (\$/año)	CTT (\$/año)	Beneficio π (\$/año)	$\pi_n / (1+R)^n$
1	\$ 11 826.0	\$ 50,779.1	\$ -38 953.1	-37 874
2	\$ 12 180.8	\$ 52 302.5	\$ -40 121.7	-37 929
3	\$ 12 546.2	\$ 53 871.6	\$ -41 325.4	-37 984
4	\$ 12 922.6	\$ 55 487.7	\$ -42 565.1	-38 040
5	\$ 13 310.3	\$ 57 152.4	\$ -43 842.1	-38 095
6	\$ 13 709.6	\$ 58 866.9	\$ -45 157.4	-38 151
7	\$ 14 120.9	\$ 60 632.9	\$ -46 512.1	-38 206
8	\$ 14 544.5	\$ 62 451.9	\$ -47 907.4	-38 262
9	\$ 14 980.8	\$ 64 325.5	\$ -49 344.7	-38 318
10	\$ 15 430.2	\$ 66 255.3	\$ -50 825.0	-38 374

Cuadro B.23 Datos para el cálculo del valor actual neto sin el uso del SBR.

Período	Ahorro en de agua potable (\$/año)	CTT (\$/año)	Beneficio π (\$/año)	$\pi_n / (1+R)^n$
1	\$ 11 826.0	\$ 45 960.6	\$ -34 134.6	-33 189
2	\$ 12 180.8	\$ 47 339.4	\$ -35 158.6	-33 237
3	\$ 12 546.2	\$ 48 759.6	\$ -36 213.4	-33 286
4	\$ 12 922.6	\$ 50 222.4	\$ -37 299.8	-33 334
5	\$ 13 310.3	\$ 51 729.1	\$ -38 418.8	-33 383
6	\$ 13 709.6	\$ 53 280.9	\$ -39 571.4	-33 431
7	\$ 14 120.9	\$ 54 879.4	\$ -40 758.5	-33 480

Cuadro B.23 Datos para el cálculo del valor actual neto sin el uso del SBR
(continuación)

Período	Ahorro en de agua potable (\$/año)	CTT (\$/año)	Beneficio π (\$/año)	$\pi_n / (1+R)^n$
8	\$ 14 544.5	\$ 56 525.8	\$ -41 981.3	-33 529
9	\$ 14 980.8	\$ 58 221.5	\$ -43 240.7	-33 578
10	\$ 15 430.2	\$ 59 968.2	\$ -44 537.9	-33 627

Cuadro B.24 Datos para el cálculo del valor actual neto a $4.8 \cdot Q_{reúso}$

Período	Ahorro en de agua potable (\$/año)	CTT (\$/año)	Beneficio π (\$/año)	$\pi_n / (1+R)^n$
1	\$ 56 764.80	\$ 50 779.14	5985.7	5817
2	\$ 58 467.74	\$ 52 302.51	6165.2	5823
3	\$ 60 221.78	\$ 53 871.58	6350.2	5828
4	\$ 62 028.43	\$ 55 487.73	6540.7	5834
5	\$ 63 889.28	\$ 57 152.36	6736.9	5840
6	\$ 65 805.96	\$ 58 866.94	6939.0	5845
7	\$ 67 780.14	\$ 60 632.94	7147.2	5851
8	\$ 69 813.54	\$ 62 451.93	7361.6	5857
9	\$ 71 907.95	\$ 64 325.49	7582.5	5862
10	\$ 74 065.19	\$ 66 255.25	7809.9	5868

APÉNDICE C

MUESTRA DE CÁLCULO

C.1 Cálculo de los ciclos de concentración promedio en los condensadores evaporativos

Los ciclos de concentración se calculan con la fórmula

$$Ci = \frac{[Cl_{CE}]}{[Cl_R]} \quad C.1$$

Donde:

Ci: Ciclos de concentración: concentración alguno de los sólidos disueltos en el agua del condensador comparado con la concentración del mismo sólido en el agua de reposición.

Cl_{CE}: Cloruros en el condensador evaporativo.

Cl_R: Cloruros en el agua de reposición.

Para el cálculo de los ciclos de concentración en el condensador evaporativo 1 utilizan los datos del cuadro B.1, fila 9, columna 3 y fila 9 columna 2 y se obtiene:

$$Ci = \frac{78.9}{13.3} = 5.93$$

El resultado se muestra en el cuadro B.4 fila 2, columna 2. De la misma forma se calculan los ciclos de concentración del condensador evaporativo 2, utilizando los datos del cuadro B.1 fila 9, columna 4 y fila 9 columna 2 y el resultado se muestra en el cuadro B.4 fila 2, columna 3.

C.2 Cálculo del consumo de agua en los condensadores evaporativos

Inicialmente se calcula la evaporación en el equipo con la siguiente fórmula:

$$E = Q_R \cdot \Delta T \cdot \frac{0.8\%}{5.6 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad \text{C.2}$$

Donde:

E (m³/h): Evaporación del agua en el condensador evaporativo

Q_R (m³/h): Flujo de recirculación del agua de enfriamiento

ΔT (°C): Diferencial de temperatura del agua en el condensador evaporativo.

Se utilizan los datos del cuadro 4.1 fila 5, columna 2 y se asumió una diferencia de temperatura de 1.6 °C con lo que se obtiene:

$$E = 45.4 \cdot 1.6 \cdot \frac{0.8\%}{5.6} = 0.104 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.5 fila 2, columna 2. Posteriormente se estima las pérdidas por los arrastres de agua causada por los abanicos mediante la ecuación C.3:

$$A = Q_R \cdot \%p\acute{e}rdida \quad \text{C.3}$$

Donde

A (m³/h): Arrastres, pérdida de agua por el flujo de aire. Corresponde al 0.02% - 0.2% del Q_R.

Se utiliza el porcentaje de pérdida en de 0.02% y los datos del cuadro 4.1 fila 5, columna 2, con lo que se obtiene:

$$A = 45.4 \cdot 0.02\% = 0.009 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.5 fila 3, columna 2. A continuación se calcula la purga total de agua del condensador evaporativo con la ecuación:

$$P_T = \frac{E}{Ci - 1} \quad \text{C.4}$$

Donde P_T (m^3/h) es la purga total de agua del condensador evaporativo, incluye fugas.

Con los datos del cuadro B.5 fila 2, columna 2 y del cuadro B.4 fila 2, columna 2 se obtiene:

$$P_T = \frac{0.104}{5.93 - 1} = 0.021 \frac{m^3}{h}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.5 fila 3, columna 2. Se calcula la purga continua del condensador evaporativo con la ecuación C.5:

$$P_C = P_T - A \quad \text{C.5}$$

Donde P_C (m^3/h) es la purga continua de agua del condensador evaporativo, incluye fugas.

Se utilizan los datos del cuadro B.5 fila 4, columna 2 y fila 3, columna 2 con lo que se obtiene:

$$P_C = 0.021 - 0.009 = 0.012 \frac{m^3}{h}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.5 fila 5, columna 2. Para calcular la reposición de agua se utiliza la ecuación C.6:

$$R = E + P_T \quad \text{C.6}$$

Donde R (m^3/h) es la reposición de agua al condensador evaporativo.

Se utilizan los datos del cuadro B.5 fila 2 columna 2 y fila 4, columna 2 con lo que se obtiene:

$$R = 0.104 + 0.021 = 0.125 \frac{m^3}{h}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.5 fila 6, columna 2. Finalmente se calcula la reposición diaria de agua, para lo que se utilizan los datos del cuadro B.5 fila 6, columna 2 y del cuadro 4.4 fila 4, columna 2.

$$R = 0.125 \cdot 24 = 3.00 \frac{m^3}{d}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.5 fila 7, columna 2. Se sigue el mismo procedimiento de cálculo para el condensador 2, que corresponde a los resultados del cuadro B.5 columna 3, así como para los resultados mostrados en el cuadro B.6 donde se muestran los resultados del consumo de agua en los condensadores evaporativos a 4 ciclos de concentración.

C.3 Cálculo de los valores máximos que se pueden aceptar en el agua de reposición para trabajar a 4 ciclos de concentración.

Para el cálculo de los valores máximos del agua de reposición, se utiliza la fórmula de los ciclos de concentración

$$Ci = \frac{[X_{CE}]}{[X_R]} \quad C.7$$

Donde:

Ci: Ciclos de concentración: concentración alguno de los sólidos disueltos en el agua del condensador comparado con la concentración del mismo sólido en el agua de reposición.

X_{CE}: Sólido disuelto en el agua del condensador evaporativo.

X_R: Sólido disuelto en el agua de reposición.

Se utiliza el dato de los ciclos de concentración de 4, y el dato del cuadro 5.2 fila 2, columna 2.

$$4 = \frac{500}{[X_R]}$$

$$[X_R] = 125 \text{ ppm}$$

El resultado se muestra en el cuadro 5.3 fila 2, columna 2.

C.4 Cálculo del volumen de los reactores secuenciales biológicos

Se hace el cálculo de las dimensiones del SBR mediante la siguiente ecuación:

$$V_R = \frac{O_c \cdot Q \cdot Y \cdot (DBO_{5E} - DBO_{5S})}{X \cdot (1 + K_d \cdot O_c)} \quad \text{C.8}$$

Donde:

VR (m³): volumen del reactor

O_c (d): edad del lodo

Q (m³/d): caudal de agua

Y (g VSS/g DQOb): coeficiente de rendimiento

DBO_{5E} (mg/L): Demanda bioquímica de oxígeno en la entrada.

DBO_{5S} (mg/L): Demanda bioquímica de oxígeno en la salida.

X (mg/L): Concentración de Biomasa en el reactor

k_d (g VSS/g VSS-d): coeficiente degradación

Con los datos del cuadro 6.2, fila 2, fila 3, fila 4 y fila 5, todos de la columna 2, del cuadro 6.3 fila 2, columna 2 y del cuadro 6.1 fila 2, columna 2 y 4 se obtiene:

$$VR = \frac{14 \cdot 11 \cdot 0.55 \cdot (1100 - 55)}{4500 \cdot (1 + 0.035 \cdot 14)} = 13.2 \text{ m}^3$$

Se utiliza un factor de seguridad de 15% por lo que el volumen del reactor secuencial biológico se calcula:

$$VR = 13.2 \cdot 1.15 = 15.18 \text{ m}^3$$

Este valor se encuentra en el cuadro 6.3 fila 4, columna 2 y el volumen de cada reactor en el cuadro 6.3 fila 6, columna 2.

C.5 Cálculo de la producción de lodos de los reactores secuenciales discontinuos

Primero se hace el cálculo del coeficiente de rendimiento absoluto con la siguiente ecuación:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + kd \cdot Oc} \quad \text{C.9}$$

Donde:

Y_{obs} (g/g): coeficiente de rendimiento absoluto

Y (gVSS / g DQOb): coeficiente de rendimiento

kd (g VSS / g VSS-d): coeficiente degradación

Oc (d): edad del lodo

Sustituyendo los datos del cuadro 6.2, fila 2, fila 3 y fila 4, todos de la columna 2, se obtiene:

$$Y_{obs} = \frac{0.55}{1 + 0.035 \cdot 14} = 0.37 \frac{\text{g VSS}}{\text{g}}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.7 fila 2, columna 2. Luego se calcula el lodo activo volátil (Px), mediante la siguiente ecuación:

$$Px = Y_{obs} \cdot Q \cdot (DBO_{5E} - DBO_{5S})/1000 \quad C.10$$

Donde:

Y_{obs} (g/g): coeficiente de rendimiento absoluto.

Q (m³/d): caudal de agua.

DBO_{5E} (mg/L): Demanda bioquímica de oxígeno en la entrada.

DBO_{5S} (mg/L): Demanda bioquímica de oxígeno en la salida.

Sustituyendo los datos del cuadro B.7 fila 2, columna 2, cuadro 6.3 fila 2, columna 2 y del cuadro 6.1 fila 3, columna 2 y 4 se obtiene:

$$Px = 0.37 \cdot 11 \cdot \frac{(1100 - 55)}{1000} = 4.24 \frac{kg VSS}{d}$$

El resultado se encuentra en el cuadro B.7 fila 3, columna 2. Se continúa con el cálculo del lodo como SST (Px_{sst}), mediante la siguiente ecuación:

$$Px_{sst} = \frac{Px}{0.8} + \frac{Q \cdot (SST_E - SST_S)}{1000} \quad C.11$$

Donde:

Px (kg VSST/d): lodo activo volátil.

Q (m³/d): caudal de agua.

SST_E (mg/L): Sólidos suspendidos totales en la entrada.

SST_S (mg/L): Sólidos suspendidos totales en la salida.

Sustituyendo los datos del cuadro B.7 fila 3, columna 2, cuadro 6.3 fila 2, columna 2 y del cuadro 6.1 fila 4, columna 2 y 4 se obtiene:

$$Px_{sst} = \frac{4.24}{0.8} + \frac{11 \cdot (200 - 16)}{1000} = 7.33 \frac{kg SST}{d}$$

El resultado se encuentra en el cuadro B.7 fila 4, columna 2. Finalmente se calcula la cantidad de lodo a extraer (VL_{EX}), mediante la siguiente ecuación:

$$VL_{EX} = \frac{Px_{sst}}{X_{rec}} \quad C.12$$

Donde:

Px_{sst} (kg VSST/d): lodo como SST.

X_{rec} (kg/L): concentración de SSV recirculado,

Sustituyendo los datos del cuadro B.7 fila 4, columna 2, y cuadro 6.2 fila 6, columna 2, se obtiene:

$$VL_{EX} = \frac{7.33}{10} = 0.73 \frac{m^3}{d}$$

El resultado se encuentra en el cuadro B.7 fila 5, columna 2.

C.6 Cálculo del requerimiento de aire de los reactores secuenciales

Se calcula la tasa de transferencia de oxígeno ROx para la producción de lodos y biomasa mediante las fórmulas C.13 y C.14:

$$ROx = Q \cdot (DBO_{5E} - DBO_{5S}) - 1.42 \cdot Px + 4.33 \cdot Q \cdot NTK \quad C.13$$

$$ROx = a \cdot Q \cdot (DBO_{5E} - DBO_{5S}) + b \cdot VR \cdot X \cdot 4.33 \cdot NTK \cdot Rn \quad C.14$$

Donde:

ROx (kg O_2 /d): tasa de transferencia de oxígeno en condiciones de campo

Q (m³/d): caudal de agua.

DBO_{5E} (mg/L): Demanda bioquímica de oxígeno en la entrada.

DBO_{5S} (mg/L): Demanda bioquímica de oxígeno en la salida.

Px (kg VSST/d): lodo activo volátil.

NTK (mg/L): concentración de nitrógeno.

VR (m³): volumen del reactor

a (adim.): cantidad de O₂ para la síntesis de bacterias F/M

b (adim): velocidad de uso de O₂ para autooxidación F/M

Rn (%): porcentaje de transformación Amonio a Nitrato

Sustituyendo en la ecuación C.13 los datos del cuadro 6.1 fila 3, columnas 2 y 4, cuadro 6.2 fila 6, 7, 8, 9 y 10, columna 2, cuadro 6.3 fila 2, columna 2, y cuadro B.7 fila 3, columna 2 se obtiene:

$$ROx = 11 \cdot \frac{(1100 - 55)}{1000} - 1.42 \cdot 4.24 + \frac{4.33 \cdot 11 \cdot 5}{1000} = 5.71 \frac{kg O_2}{d}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.8 fila 2 columna 2. Y sustituyendo en la ecuación C.14 los datos del cuadro 6.1 fila 3, columnas 2 y 4, cuadro 6.2 fila 7, columna 2, cuadro 6.3 fila 2, columna 2, y cuadro B.7 fila 3, columna 2 se obtiene:

$$ROx = \frac{0.7 \cdot 11 \cdot (1100 - 55)}{1000} + \frac{0.2 \cdot 15.18 \cdot 4500 \cdot 4.33 \cdot 5 \cdot 0.7}{1000000} = 8.25 \frac{kg O_2}{d}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.8 fila 3 columna 2. Para el cálculo de la tasa de transferencia de oxígeno real, ROx, se utiliza la fórmula C.15:

$$ROx_{real} = ROx_{mayor} \cdot \frac{C_{s20}}{\alpha \cdot F \cdot (\beta \cdot C_{std} - C)} \cdot 1.024^{20 - T} \quad C.15$$

Donde:

ROx (kg O₂/d): tasa de transferencia de oxígeno en condiciones de campo

C_{S20} (mg/L): concentración de saturación de O_2 en agua a 20 °C

α (adim.): factor corrección transferencia O_2

β (adim.): factor de corrección por salinidad

F (adim.): coeficiente por tipo aireador, para difusores

C_{std} (mg/L): concentración saturación de O_2 a la temperatura del agua y altitud 50 mca

C (mg/L): concentración de O_2 deseada en el tanque

T (°C): temperatura del agua

Se utilizan los datos del cuadro B.8 fila 3 columna 2, cuadro 6.3 filas 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, columna 2, con lo que se obtiene:

$$ROx_{real} = 8.25 \cdot \frac{9.08}{0.6 \cdot 0.9 \cdot (0.95 \cdot 7.6 - 2)} \cdot 1.024^{20-30} = 12.72 \frac{kgO_2}{d}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.8 fila 4 columna 2. Con este dato se calcula el volumen de aire requerido con la siguiente fórmula:

$$V_{aire} = ROx_{real} \cdot \frac{1}{D_{aire} \cdot C_{O_2aire} \cdot t_{aireación} \cdot \epsilon_{sop}} \quad C.16$$

Donde:

ROx (kg O_2 /d): tasa de transferencia de oxígeno en condiciones de campo

D_{aire} (kg/m³), densidad del aire

$t_{aireación}$ (h)Tiempo de aireación

ϵ_{sop} (%), eficiencia

Se sustituyen en la fórmula C.16 los datos del cuadro B.8 fila 4, columna 2 y del cuadro 6.3 filas 9, 10 y 11, columna 2, con lo que se obtiene:

$$V_{aire} = 12.72 \cdot \frac{1}{1.2 \cdot 0.21 \cdot 16 \cdot 0.08} = 39.4 \frac{S m^3}{h}$$

El resultado se muestra en el cuadro 6.4 fila 2 columna 2.

C.7 Cálculo de la potencia de las bombas

Para calcular la potencia de las bombas primero se calcula la carga total de trabajo de la bomba para lo que se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_B + \left[\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 \right] = h_f + \left[\frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \right] \quad C.17$$

Donde:

h_B (m): Carga total de trabajo de la bomba

h_f (m): Pérdida de carga

P_1 (Pa): Presión en la entrada

P_2 (Pa): Presión en la salida

v_1 (m/s): Velocidad a la entrada

v_2 (m/s): Velocidad a la salida

Z_1 (m): Altura en la entrada

Z_2 (m): Altura en la salida

En todos los casos se puede asumir que $P_1 = P_2$ ya que se encuentran a presión atmosférica y que $v_1 = 0$ ya que el nivel de los tanques varía muy lentamente. Con estas simplificaciones se obtiene

$$h_B = h_f + \left[\frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 - Z_1 \right] \quad C.18$$

El cálculo de la pérdida de carga, h_f , depende del régimen de flujo y la tubería. Primero se calcula la velocidad del fluido

$$v_2 = \frac{Q}{A} \quad \text{C.19}$$

Donde:

Q (m³/s): caudal de agua

A (m²): área de sección transversal

Así con los datos de la tabla A8 fila 11, columna 2, se calcula el área de la tubería:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.0508^2}{4} = 0.002m^2$$

El dato se muestra en la tabla B.9 fila 2, columna 2. Al sustituir este dato en la fórmula C.19 junto con el caudal de la tabla A.8 fila 3, columna 2, se obtiene:

$$v_2 = \frac{0.003}{0.002} = 1.5 \frac{m}{s}$$

Este resultado se muestra B.9 fila 3, columna 2. Con este dato se determina el número de Reynolds para saber el régimen de flujo, con la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{D \cdot \rho \cdot v}{\mu} \quad \text{C.20}$$

Con los datos del cuadro A.8 fila 11, columna 2, fila 5, columna 2 y fila 6 columna 2, y del cuadro B.9 fila 3, columna 2 se obtiene:

$$Re = \frac{0.0508 \cdot 996.13 \cdot 1.5}{0.0008} = 95347$$

Este resultado se muestra en el cuadro B.9 fila 4, columna 2. Ahora la pérdida de carga se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{C.21}$$

Donde:

h_f (m): pérdida de carga

f (adim.): coeficiente de fricción.

L_{eq} (m): longitud equivalente

v (m/s): Velocidad a la salida

D (m): diámetro de la tubería

g (m²/s): constante de la gravedad

Debido al valor de Reynolds obtenido se encuentra entre $5 \times 10^3 - 1 \times 10^8$ y la rugosidad relativa (D/ϵ) se encuentra entre $1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$ el coeficiente de fricción se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \cdot (D/\epsilon)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{C.22}$$

Con los datos del cuadro A.8 fila 11, columna 2, fila 12 columna 2 y del cuadro B.9 fila 4, columna 2 se obtiene

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \cdot (0.0508/0.0015)} + \frac{5.74}{95347^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.02$$

El resultado se muestra en el cuadro B.9 fila 5 columna 2. A continuación se calcula la longitud equivalente de los accesorios en la tubería de acuerdo con lo descrito para cada bomba en el capítulo 6 y utilizando el nomograma de Crane. Así para el caso de la bomba BC-101 se tienen dos válvulas check y 4 codos de 90°, con longitudes equivalentes de 4 m y 1 m respectivamente, por lo que la longitud equivalente es 12 m y este resultado se muestra en el cuadro B.9 fila 6, columna 2.

Ahora se puede calcular la pérdida de carga con la ecuación C.21 y los datos del cuadro B.9 fila 5 columna 2, fila 6, columna 2 y fila 3, columna 2, y del cuadro A.8 fila 8, columna 2 y fila 11, columna 2.

$$h_f = 0.02 \cdot \frac{19.04 + 12}{0.0508} \cdot \frac{1.5^2}{2 \cdot 9.8} = 1.1 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.9 fila 7 columna 2. Ya con este resultado se puede calcular la carga de trabajo de la bomba con la ecuación C.18 y los datos del cuadro B.9 fila 7 columna 2, fila 3, columna 2 y cuadro A.8 fila 7, columna 2.

$$h_B = 1.4 + \left[\frac{1.5^2}{2 \cdot 9.8} + 3.67 \right] = 4.9 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.9 fila 8 columna 2.

La potencia teórica de una bomba se calcula mediante la fórmula C.23 y los datos del cuadro A.8 fila 3, columna 2, fila 5, columna 2 y del cuadro B.9 fila 8 columna 2.

$$P_{teór.} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_B \quad C.23$$

$$P_{teór.} = 0.003 \cdot 996 \cdot 9.8 \cdot 4.9 = 146.6 \text{ W}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.7 fila 9, columna 2.

Finalmente se calcula la potencia real de la bomba y su conversión de unidades a HP con la fórmula C.24 y los datos del cuadro B.9 fila 9, columna 2 y del cuadro A.8 fila 9, columna 2.

$$P_{real} = \frac{P_{teór.}}{\eta} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{750 \text{ W}} \quad C.24$$

$$P_{real} = \frac{146.6}{75\%} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{750 \text{ W}} = 0.26 \text{ HP}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.9 fila 10, columna 2.

Los valores de las bombas BC-102, BC-103 y BC-104 se calculan de la misma forma y los resultados se muestran en el cuadro B.9 fila 10 columnas 2, 3 y 4.

C.8 Cálculo de las dimensiones del floculador

Primero se calcula el caudal a través del floculador con la fórmula C.25 donde se sustituyen los datos del cuadro A.9 filas 2 y 3, columna 2:

$$Q = \frac{Q_{diario.}}{t_{op}} \quad C.25$$

$$Q = \frac{10.19}{16} = 0.68 \frac{m^3}{h}$$

Este dato se muestra en el cuadro B.10 fila 2, columna 2. Luego se calcula el área transversal de la tubería, con el dato del cuadro A.9 fila 5, columna 2 como se muestra:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.0508^2}{4} = 0.002m^2$$

El resultado se muestra en el cuadro B.10 fila 3, columna 2. Luego se calcula la velocidad del agua a través de la tubería mediante la fórmula C.19, así sustituyendo los valores del cuadro B.10 filas 2 y 3, columna 2 se obtiene:

$$v = \frac{0.64}{0.002} \cdot \frac{1h}{60 \text{ min}} = 5.24 \frac{m}{min}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.10 fila 4, columna 2. Ahora se calcula la longitud total del floculador con los datos del cuadro A.9 fila 4, columna 2 y del cuadro B.10 fila 4, columna 2.

$$L_T = v \cdot t_c = 5.24 \cdot 5 = 26.2 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.10 fila 5, columna 2. Para calcular el número de pasos del floculador se utiliza la siguiente fórmula

$$np = \frac{L_T}{L_p} \tag{C.26}$$

Donde Utilizando los valores del cuadro B.10 fila 5, columna 2, del cuadro A.9 fila 6, columna 2 y un factor de seguridad del 10% se obtiene:

$$np = \frac{26.2}{3} \cdot 1.1 = 9.6 \text{ pasos}$$

El resultado se redondea a 10 y se muestra en el cuadro B.10 fila 6, columna 2.

C.9 Cálculo de las dosificadoras de coagulante y floculante

Según la recomendación de dosificación de coagulante, se determina la cantidad de producto diaria, usando los datos del cuadro A.9 fila 2, columna 2, cuadro A.10 fila 3, columna 2

$$Q_{coag} = 10.19 \cdot 200 = 2038 \frac{g}{d}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.11 fila 3, columna 2. Con este dato y los datos del cuadro A.10 filas 4 y 5, columna 2 se calcula la cantidad de la disolución de coagulante:

$$Q_{coag} = \frac{2038}{20\% \cdot 1.32 \cdot 1000} = 7.7 \frac{L}{d}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.11 fila 4, columna 2. Para conocer la dosis por hora y determinar la capacidad necesaria para escoger la bomba dosificadora se utiliza este dato y del cuadro A.9 fila 3, columna 2:

$$Q_{coag} = \frac{7.7}{16} = 0.5 \frac{L}{h}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.11 fila 5, columna 2. De la misma forma se calcula la cantidad de floculante que se debe agregar y su flujo para escoger la bomba dosificadora. El resultado se muestra en el cuadro B.11 fila 5, columna 3.

C.10 Cálculo de las dimensiones del filtro F-102

Las dimensiones del filtro se calculan con base en las especificaciones del medio filtrante escogido y el flujo de operación. En primer lugar, se calcula el caudal de operación con el dato del cuadro A.9 filas 2 y 3, columna 2:

$$Q = \frac{10.19}{16} \cdot \frac{1}{60} = 0.011 \frac{m^3}{min}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.12 fila 2, columna 2. Luego se calcula el área transversal necesaria para obtener la velocidad requerida y de aquí el diámetro del filtro. Para este caso se asume una velocidad de 0.65 m/min como se muestra en el cuadro B.12 fila 3, columna 2, así el área transversal sería:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0.011}{0.65} = 0.017 m^2$$

El resultado se muestra en el cuadro B.12 fila 5, columna 2. Con este dato se calcula el diámetro del filtro:

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.017 \cdot 4}{\pi}} = 0.15 m$$

El resultado se muestra en el cuadro B.12 fila 6, columna 2. El volumen del medio filtrante se obtiene con los datos del cuadro B.12 filas 4 y 5, columna 2

$$V = A \cdot h = 0.017 \cdot 0.9 = 0.015 m^3$$

El resultado se muestra en el cuadro B.12 fila 7, columna 2. El volumen obtenido es pequeño por lo que se ajusta a un valor comercialmente disponible, 0.028 m³, como se muestra en el cuadro B.12 fila 8, columna 2.

C.11 Cálculo de las dimensiones del filtro F-103

Las dimensiones del filtro de carbón activado se calculan con base en el tiempo de contacto del agua con el del medio filtrante escogido y el flujo de operación. En primer lugar, se calcula el caudal de operación con el dato del cuadro A.9 filas 2 y 3, columna 2:

$$Q = \frac{10.19}{16} \cdot \frac{1}{60} = 0.011 \frac{m^3}{min}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.13 fila 2, columna 2. Luego se calcula el volumen del medio filtrante con este valor del caudal y el dato del cuadro B.13 fila 3, columna 2.

$$V = Q \cdot t_c = 0.011 \cdot 5 = 0.057 m^3$$

El resultado se muestra en el cuadro B.13 fila 4, columna 2. Aunque este valor sí se encuentra en comercialmente disponible, se decide ajustarlo por seguridad al siguiente valor disponible, 0.071 m³, como se muestra en el cuadro B.13 fila 5, columna 2.

C.12 Cálculo de la dosis de hipoclorito de sodio a utilizar

Para la determinación de la cantidad de hipoclorito de sodio que se debe adicionar al agua para desinfectarla, se toma la dosis de NaClO del cuadro B.14 fila 3, columna 2 y la densidad y las masas molares del cuadro A.12 filas 3, 4 y 5, columna 2:

$$Q_{NaClO} = 6 \cdot \frac{74.44}{35.45} \cdot \frac{1}{1.16} = 10.9 \frac{mL NaClO}{m^3 sol.}$$

Este valor se multiplica por el flujo de agua del cuadro B.14 fila 2, columna 2 y se obtiene:

$$Q_{NaClO} = 10.9 \frac{mL NaClO}{m^3 sol.} \cdot 0.678 \frac{m^3}{h} = 7.4 \frac{mL NaClO}{h}$$

Este valor se muestra en el cuadro B.14 fila 4 columna 2.

C.13 Cálculos de la evaluación de costos

Para la determinación la inversión del capital fijo, se multiplican los costos directos e indirectos por el porcentaje del costo del equipo que se estableció en la columna 3 del cuadro 7.2, luego se suman los valores obtenidos:

$$ICF = CD + CI$$

Usando el dato del cuadro 7.1 fila 24, columna 3, y multiplicándolo por los valores del cuadro 7.2 filas 2 a la 9, columna 3, se obtienen los costos directos, y los costos indirectos se obtienen de multiplicar el valor del cuadro 7.1 fila 24, columna 3, por los valores del cuadro 7.2 filas 10 a la 14, columna 3 como se muestra:

$$ICF = [20\ 292.83 \cdot (35\% + 10\% + 5\% + 8\% + 5\% + 3\% + 3\% + 8\%)] \\ + [24\ 963.05 \cdot (8\% + 4\% + 1\% + 5\% + 5\%)]$$

$$ICF = \$ 57\ 979.52$$

El resultado se muestra en el cuadro 7.2 fila 15, columna 4.

El costo mensual de los insumos necesarios para un mes de operación del sistema de acondicionamiento propuesto es la suma del costo mensual de cada insumo multiplicado por el impuesto al valor agregado y se convierte a dólares con el tipo de cambio del dólar del 1 de noviembre del 2021 de ₡ 641.84.

$$\text{Costo mensual insumo} = \text{Cantidad insumo} \cdot \text{Costo unitario} \cdot \text{IVA} \cdot \frac{\$1}{₡ 641.84}$$

Así con los valores del cuadro B.15 fila 2, columnas 2, 3 y 4 se obtiene:

$$\text{Costo mensual insumo} = 61.1 \cdot ₡ 611.33 \cdot 13\% \cdot \frac{\$1}{₡ 641.84} = \$ 65.76$$

El resultado se muestra en el cuadro B.15 fila 2, columna 5. De esta misma forma se calculan los costos que se muestran en el cuadro B.15 filas 3, 4 y 5, columna 5. Para el cálculo del costo total mensual de insumos se suman los valores

del cuadro B.15 filas 2 a la 5, columna 5, y se muestra el resultado en la fila 6, columna 5 del mismo cuadro.

$$\text{Costo total mensual de insumos} = \$65.76 + \$16.57 + \$5.66 + \$155.94 = \$243.94$$

Los requerimientos energéticos mensuales de cada equipo se obtienen al multiplicar la potencia por el tiempo de operación, como se muestra al utilizar los valores del cuadro B.16 fila 2, columnas 2, 3 y 4:

$$\text{Consumo energético} = 2.55 \cdot 22 = 56.1 \text{ kWh}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.16 fila 2, columna 4. De igual forma se calculan los consumos que se muestran en el cuadro B.16 filas 3 al 9, columna 4. El costo energético total mensual se obtiene de sumar los consumos de la columna 4 del cuadro B.16 y el resultado se muestra en el cuadro B.17 fila 2, columna 1.

El costo energético mensual se calcula al multiplicar el requerimiento mensual por el costo de la energía y el costo de la potencia como se muestra (el costo de la energía se convierte a dólares con el tipo de cambio del dólar del 1 de noviembre del 2021 de ₡ 641.84):

$$\text{Costo energético} = 0.14 \cdot 114.22 + 4.15 \cdot 114.22 = \$ 489.59/\text{mes}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.17 fila 2, columna 4. El costo total de los servicios se obtiene de sumar el costo energético y el costo de los análisis químicos obligatorios que se deben realizar y el resultado se muestra en el cuadro 7.3 fila 3, columna 2.

El costo mensual de cada puesto de trabajo se obtiene de multiplicar el tiempo laborado por el salario más las cargas sociales y se convierte el valor a dólares con el tipo de cambio del dólar del 1 de noviembre del 2021 de ₡ 641.84. Utilizando los valores del cuadro B.18 fila 2, columnas 1, 2 y 3 se obtiene:

$$\text{Costo de mano obra} = 1 \cdot 2\,699.2 \cdot (1 + 0.4518) \cdot \frac{1}{641.84} = \$158.74$$

El resultado se muestra en el cuadro B.18 fila 2, columna 6. Los demás resultados del cuadro B.18 filas 3 y 4, columna 6 se obtienen de la misma manera. El costo total de la mano de obra se obtiene al sumar estos resultados del cuadro B.18 filas 2 al 4, columna 6, y se ve el resultado en el cuadro 7.3 fila 4, columna 2.

El capital de trabajo se calcula al sumar el costo de los insumos, servicios y mano de obra utilizando los datos del cuadro 7.3 filas 2, 3 y 4, columna 2.

$$\text{Capital mensual de trabajo} = 243.93 + 508.37 + 1\,521.23 = \$ 2\,273.54$$

$$\text{Capital anual de trabajo} = 2\,273.54 \cdot 12 = \$ 27\,282.53$$

Estos resultados se encuentran en el cuadro 7.3 filas 5 y 6, columna 2.

La inversión total de capital se calcula con los datos del cuadro 7.4 filas 2 y 3, columna 2 como se muestra:

$$\text{ITC} = 57\,979.52 + 27\,282.53 = \$ 85\,979.52$$

Este valor se muestra en el cuadro 7.4 fila 4, columna 2.

Los costos variables del proceso se obtienen por la suma del costo de la supervisión, mantenimiento, suministros operativos y el control de calidad del efluente, tomando los datos del cuadro B.19 filas 2 a la 8, columna 3:

$$\begin{aligned} \text{CVP} &= 2\,927.27 + 6\,100.46 + 18\,254.81 + 2\,738.22 + 1\,159.59 + 173.94 + 600.0 \\ &= \$ 31\,954.28 \end{aligned}$$

El resultado se muestra en el cuadro B.19 fila 9, columna 3. Los costos fijos del proceso son la suma de los costos por impuestos y los seguros, así tomando los datos del cuadro B.20 filas 2 y 3, columna 3:

$$\text{CFP} = 579.80 + 2\,738.22 = \$ 3\,318.02$$

El resultado de muestra en el cuadro B.20 fila 4, columna 3. Los costos anexos a la planta se calculan como un 70% del total de los costos de mano de obra, mantenimiento y supervisión, así tomando los datos del cuadro B.19 filas 4, 5 y 6 columna 3 se obtiene:

$$CAP = (1\,521.23 + 228.19 + 96.63) \cdot 0.70 \cdot 12 = \$15\,506.84$$

El resultado de muestra en el cuadro 7.5 fila 4, columna 2.

C.13 Cálculo del valor actual neto (VAN)

En primer lugar, se calcula el consumo anual de agua y el ahorro por el consumo de agua, utilizando los valores del cuadro 5.1 fila 3, columnas 2 y 3:

$$Q_{agua} = (3.32 + 3.16) \cdot 365 = 2365 \frac{m^3}{año}$$

Este resultado se muestra en el cuadro B.21 fila 2, columna 2. El ahorro por el consumo de agua se obtiene al utilizar este dato y el del cuadro A.13 fila 2, columna 2:

$$Ahorro_{consumo\ agua} = 2365 \cdot 5 = \$11\,826.0/año$$

Este resultado se muestra en el cuadro B.22 fila 2, columna 2. Se calcula el ahorro generado por la disminución en el consumo de agua anualmente a partir del segundo año de operación del proyecto, utilizando los datos del cuadro B.21 fila 3, columna 2 y del cuadro A.13 fila 3, columna 2:

$$Ahorro_{n=2} = 11,826 \cdot (1 + 0.03) = \$12\,180.8/año$$

Este resultado se muestra en el cuadro B.22 fila 3, columna 2. El resto de los valores de la columna 2 del cuadro B.22 se calculan de la misma forma.

El costo total del tratamiento a partir del segundo año de operación se calcula utilizando los datos del cuadro 7.5 fila 5, columna 2 y cuadro A.13 fila 3, columna 2:

$$CTT_{n=2} = 50\,779.1 \cdot (1 + 0.03) = \$ 52\,302.5/\text{año}$$

Este resultado se muestra en el cuadro B.22 fila 3, columna 3. El resto de los valores de la columna 3 del cuadro B.22 se calculan de la misma forma.

El beneficio económico de cada período se calcula utilizando los datos del cuadro B.22 fila 2, columnas 2 y 3:

$$\pi_{n=1} = 11\,826.0 - 50\,779.1 = -\$ 38\,953.1/\text{año}$$

Este resultado se muestra en el cuadro B.22 fila 2, columna 4. El resto de los valores de la columna 4 del cuadro B.22 se calculan de la misma forma.

Se calcula la relación $\pi/(1+R)^n$ para el cálculo posterior del VAN utilizando los datos del cuadro B.22 fila 2, columna 4:

$$\frac{\pi}{(1+R)^n} = \frac{-38\,953.1}{(1+0.0285)^1} = -37\,874$$

Este resultado se muestra en el cuadro B.22 fila 2, columna 5. El resto de los valores de la columna 5 del cuadro B.22 se calculan de la misma forma.

El valor actual neto se calcula con la siguiente fórmula:

$$VAN = -C + \sum \frac{\pi_n}{(1+R)^n} \quad \text{C.27}$$

Donde:

C (\$): costo de la inversión inicial o inversión de capital fijo.

n: período

π_n : beneficio económico para el período

R (%): tasa de interés pasiva

Así con los valores del cuadro 7.4 fila 2, columna 2 y del cuadro B.22 filas 2 a la 11, columna 5 se obtiene:

$$VAN = -57\,979.52$$

$$+ (-37\,874 - 37\,929 - 37\,984 - 38\,040 - 38\,095 - 38\,151 - 38\,206 - 38\,262 \\ - 38\,318 - 38\,374) = -\$439\,212.19$$

Este resultado se muestra en el cuadro 7.6 fila 2, columna 2.

ANEXOS



---RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO---

FECHA: 31 DE OCTUBRE DE 2019

SOLICITANTE: CARLOS ENRIQUE COY HERRERA

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA PEC EFLUENTE DE LA PTAR. RECIBIDA POR PERSONAL DEL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 29 DE OCTUBRE DE 2019

ANÁLISIS:	RESULTADO PROMEDIO	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
		Según Decreto 38924-S	Según Decreto 38924-S
pH ^(a) (25°C)	6,78	6,0	8,0
SÓLIDOS TOTALES	2720 mg/L	---	---
SÓLIDOS DISUELTOS	2604 mg/L	---	1000 mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	124 mg/L	---	---
TURBIDEZ	29,0 NTU	1 NTU	5 NTU
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2640 µS/cm	400 µS/cm	---
ALCALINIDAD (FF expresada como CaCO ₃)	< 1,0 mg/L	---	---
ALCALINIDAD TOTAL (RM expresada como CaCO ₃)	1216 mg/L	---	---
DUREZA TOTAL (expresada como CaCO ₃)	211 mg/L	300 mg/L	400 mg/L
DUREZA DE CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)	211 mg/L	---	---
DUREZA DE NO-CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)	< 1,0 mg/L	---	---
CALCIO (Ca ²⁺)	46,7 mg/L	---	100 mg/L
MAGNESIO (Mg ²⁺)	22,9 mg/L	30 mg/L	50 mg/L
CLORUROS (Cl)	200 mg/L	25 mg/L	250 mg/L
SILICE (SiO ₂)	40,6 mg/L	---	---
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	17,6 mg/L	25 mg/L	250 mg/L
AMONIO (NH ₄ ⁺)	173 mg/L	0,05 mg/L	0,5 mg/L
HIERRO (Fe)	0,07 mg/L	---	0,3 ^(b) mg/L
COLOR APARENTE	>500 CU	< 5 CU	15 CU

OBSERVACIONES:

- PROCEDIMIENTOS ÚNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd 2012
- ^(a) SE ESTABLECEN RANGOS PERMISIBLES Y NO VA (Valor Alerta), NI VMA (Valor Máximo Admisible), SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S y 41499-S
- ^(b) EN AGUAS SUBTERRÁNEAS, DONDE SE ENCUENTRAN ESTOS DOS METALES, EL VMA (Valor Máximo Admisible) (Fe + Mn) ES 0,3 mg/L. SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD AGUA POTABLE N° 38924-S y 41499-S
- DIGITADO POR: ags
- MUESTRA CODIGO LAMBDA: 8208-U00

Alberto Coto
ALBERTO COTO GRIJALBA
NI CQCR 986



NOTA: Refiérase al código Lambda para cualquier consulta

Resultados de análisis válidos únicamente para la muestra enviada al laboratorio por el interesado

Anexo 2: Análisis 2 del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales



INFORME DE ENSAYO



Nº de Referencia: A-20/049926	Registrada en: AGQ Lambda	Cliente(*): CARLOS ENRIQUE COY HERRERA
Análisis: 152382A-1	Centro Análisis: AGQ Lambda	Domicilio: ALAJUELA, ALAJUELA, ALAJUELA
Tipo Muestra: AGUA RESIDUAL	Fecha Recepción: 22/05/2020	(*): Contrato: LA20-0703
Fecha Inicio: 24/05/2020	Fecha Fin: 03/06/2020	Cliente 3º(*): ----
Descripción(*): Agua residual PEM		

Fecha/Hora Muestreo:	21/05/2020	Muestreado por:	Cliente (*)
----------------------	-------------------	-----------------	--------------------

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	PNT	Rango
Parámetros Físico-Químicos						
* Color Aparente	100	uPt Co	±4,30		PT-58 SM 2120 B Ed 23	0,00 - 1.000 uPt Co
Conductividad Eléctrica	1.521	µS/cm a 25°C	±25,9		PT-07 SM 2510 B Ed 23	0,1 - 199.900 µS/cm a 25°C
DBO 5,20	654	mg/L O2	±27,5		PT-01 SM 5210 B Ed 23	4,0 - 55.000 mg/L O2
DQO	1.861	mg/L	±207		PT-02 SM 5220 D Ed 23	5,0 - 100.000 mg/L
Dureza Total	126	mg/L CaCO3	-		PT-25 SM 2340 C Ed 23	1,00 - 10.000 mg/L CaCO3
Grasas y Aceites	10,6	mg/L	±0,6		Pt-16 SM 5520 B Ed.23	3,0 - 10.000 mg/L
pH	6,83		±0,09		PT-08 SM 4500 B Ed 23	1,00 - 14,0
Sólidos Sedimentables	4,80	ml/l	±0,15		PT-05 SM 2540 F Ed 23	0,10 - 900 ml/l
Sólidos Suspendidos Totales	256	mg/L	±24,6		PT-06 SM 2540 D Ed 23	5,0 - 200.000 mg/L
Sólidos Totales	1.204	mg/L	-		PT-03 SM 2540 B Ed 23	10,0 - 10.000 mg/L
Sólidos Totales Disueltos	944	mg/L	-		PT-04 SM 2540 C Ed 23	10,0 - 10.000 mg/L
Sustancias Activas al Azul de Metileno	0,23	mg/L	±0,02		PT-19 SM 5540 C Ed 23	0,05 - 500 mg/L
Temperatura	23,1	°C	±0,6		PT-15 SM 2550 B Ed 23	4,0 - 96,0 °C
Turbidez	110	NTU	±9,79		PT-20 SM 2130 B Ed 23	0,20 - 750 NTU
Formas Nitrogenadas/Fosforadas						
* Nitrógeno Kjeldahl	342	mg/L	±85,4		LA-0094	1,00 - 1.000 mg/L
* Nitrógeno Total	345	mg/L	±93,1		LA-0090	1,00 - 1.000 mg/L
Cationes +						
* Amonio	33	mg/L	-		HACH NH4/NH3	0,05 - 5,0 mg/L
Calcio	34,02	mg/L	±6,8040		PT-18 SM 3120 Ed 23	0,0015 - 1.000 mg/L

(*) El rango mínimo se corresponde con el límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos. Para los parámetros de radiactividad el valor del rango corresponde al A.M.D.

Nº de Referencia: A-20/049926	Tipo Muestra: AGUA RESIDUAL
Descripción(*): Agua residual PEM	Fecha Fin: 03/06/2020

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	PNT	Rango
Aniones -						
Alcalinidad Total (verde de bromocresol)	661	mg/L CaCO ₃	±146		PT-23 SM 2320 B Ed 23	5,00 - 10.000 mg/L CaCO ₃
Cloruros	144	mg/L	±28,9		PT-17 SM 4110 B Ed 23	0,16 - 500 mg/L
Nitratos	14	mg/L	±2,85		LA-0154	0,08 - 500 mg/L
Nitritos	< 0,08	mg/L	-		LA-0162	0,08 - 500 mg/L
Sulfatos	42	mg/L	±8,32		PT-17 SM 4110 B Ed 23	0,46 - 500 mg/L
Metales Totales						
Fósforo	33,8	mg/L	±6,77		PT-18 SM 3120 Ed 23	0,50 - 50,0 mg/L
Hierro	2,29	mg/L	±0,4578		PT-18 SM 3120 Ed 23	0,015 - 500 mg/L
Magnesio	9,963	mg/L	±1,9926		PT-18 SM 3120 Ed 23	0,0015 - 500,0 mg/L
Sílice	43	mg/L	±8,55		PT-18 SM 3120 Ed 23	0,15 - 50 mg/L
Silicio	20,0	mg/L	-		PT-18 SM 3120 Ed 23	0,15 - 50,0 mg/L

Anexo 3: Cotizaciones de tanques de polietileno



Los especialistas en tanques

LA CASA DEL TANQUE S.A.

Cédula Jurídica: 3101191210

Teléfono: 22273722 - Fax: 22265218

Cliente	CARLOS ENRIQUE COY
Atención	_____
Teléfonos	. - Fax

FECHA	08/11/2021
Nº cotización	79695
Cotizador	ALPIZAR TORRES YAHAIRA VANE

Cantidad	Código	Descripción	I.V.A	Precio Unitario	Precio Total
1,00	01-022000	TANQUE INDUSTRIAL ECOTANK 22000 LTS NEGRO ESTANDAR	N	2 190 473,22	2 190 473,22
1,00	01-010000	TANQUE INDUSTRIAL ECOTANK 10000 LTS NEGRO ESTANDAR	N	984 707,09	984 707,09
1,00	17-100155	BARRIL PLASTICO 55 GALONES TAPA Y ARO	N	40 762,83	40 762,83

Monto en Letras	Subtotal	3 215 943,14
Tres millones seiscientos treinta y cuatro mil quince colones con 75/100	Descuento	0,00
	I.V.	418 072,61
	Total	3 634 015,75

Anexo 4: Cotización de bombas



Los especialistas en tanques

LA CASA DEL TANQUE S.A.

Cédula Jurídica: 3101191210
Teléfono: 22273722 - Fax: 22265218

Cliente	CARLOS ENRIQUE COY
Atención	_____
Teléfonos	. - Fax

FECHA	08/11/2021
Nº cotización	79697
Cotizador	ALPIZAR TORRES YAHAIRA VANE

Cantidad	Código	Descripción	I.V.A	Precio Unitario	Precio Total
1,00	CPM- 660M-2	BOMBA CENTRIFUGA PEDROLLO 2HP 220V	N	259 082,60	259 082,60
1,00	4CPM 100-C-2	BOMBA PEDROLLO CENTRIFUGA MULTIETAPA 1HP, 220V	N	220 552,22	220 552,22
1,00	PWBBUE-130LV	TANQUE HIDRONEUMATICO GWS VERTICAL 130 LTS AZUL	N	188 537,34	188 537,34

Monto en Letras
Setecientos cincuenta y cinco mil treinta y cuatro colones con 54/100

Subtotal	668 172,16
Descuento	0,00
I.V.	86 862,38
Total	755 034,54

Anexo 5: Cotizaciones de materiales para floculador

Inversiones Mareve S.A.



Heredía Santo Domingo
 Santo Tomás 400 este del Pali
 ventas@inversionesmareve.com
 (506) 2244-7233
 Cédula Jurídica: 3-101-404805

PROFORMA

PROFORMA	
Número	24201
Fecha	08/11/2021
Página	1

Presentado a:

CARLOS ENRIQUE COY HERRERA

Código Cliente	#Ced	Referencia	Términos			
MOSTRADOR			Contado			
Vendedor	Moneda	Emite				
Kevin Alfaro	Nacional CRC					
Itm	Cod. Prod	Descripción Producto	Cantidad	Precio Unit	Desc. %	Total
1	LD-500-2"	TUBO PVC SCH80 LISO 6MT 2"	5.00	26,488.90		132,444.50
2	LD-501-2"	CODO PVC SCH80 90° CEM 2"	20.00	1,877.82		37,556.40
<p><i>Plazo de entrega:</i></p> <p><i>Lugar de entrega:</i> CLIENTE GENERICO</p> <p>Validez de la Oferta: 3 días naturales ,Sujeto a previa venta. Garantía: 12 meses por defectos de fabrica.</p>			<p>Subtotal</p> <p>Dcto. parcial</p> <p>Dcto. Global</p> <p>Transporte</p> <p>Impto.</p> <p>TOTAL</p>		<p>170,000.90</p> <p></p> <p></p> <p></p> <p>22,100.12</p> <p>192,101.02</p>	



TUBOCOBRE S.A.

TELEFONO: (506) 2290-7655
 FAX: (506) 2296-4035

email: info@tubocobre.net

APARTADO POSTAL 3814-1000
 SAN JOSE - COSTA RICA.

Cedula Jurídica: 3-101-044901-15

Para ESTIMADO CLIENTE

sr, carlos enrique coy herrera

Fecha 09/11/2021

Vigencia 5 Días Naturales

Oferta de venta: 450140

#	Codigo	Descripción	Cantidad	Precio	Total
1	CSTRU-41X41X14	CANALES STRUT 15/8 X 15/8 X 10' #14 - 2. PERFIL ALTO	3	COL 12,085.00	COL 36,255.00
2	TLO-GSTRUT-51	GAZA STRUT 2 TOLCO RIGID	20	COL 790.00	COL 15,800.00
3	PST-ESP-C-41	ESQUINERO DOBLE P/CANAL STRUT 1-5/8" PT-507	4	COL 2,115.00	COL 8,460.00

Sub_Total COL 60,515.00

Condiciones de pago: CONTADO

Impuesto COL 7,866.95

Total COL 68,381.95

Anexo 6: Cotización de filtros y desmineralizador



HIDRO FILTRACION S. A.
 Cédula Jurídica 3101422454
 Dirección: 1 KM NORTE DE LA PLAZA DE DEPORTES, Rosales (Parte), San Pedro, Santa Bárbara, Heredia
 Teléfono: 22697137
 Email: hidrofiltracion@ice.co.cr
 Sitio Web: http://hidrofiltracion.com

Proforma V. 4.3

Número: 239

Fecha y hora de emisión: 09-11-2021 03:42:46 pm
 Fecha de vencimiento: 17-11-2021
 Actividad económica: 523805

Cliente: Vapor y Enfriamiento SA

Nombre Comercial: Vapor y Enfriamiento SA
 Número de identificación: 3101176992
 Dirección: 300 metros este embutidos cinta azul, Tejar, San Antonio, Alajuela, Alajuela
 Teléfono: 24424900
 Email: facturas@vapensa.com

Contacto: Vapor y Enfriamiento SA

Teléfono: 24424900
 Email: facturas@vapensa.com

Información financiera

Condición de Venta: Crédito. Plazo a 30 día
 Código de Moneda: USD
 Tipo de Cambio: CRC 644.05
 Medio de pago: Efectivo

No	COD	PRODUCTO	CANT	UNI	PRECIO	DESCUENTO	IMPUESTO	TOTAL DE LÍNEA
1	10657	Filtro de carbón activado BFF3 - 2 pies cúbicos Código CABYS: 4391401990000	1.00	Unid	USD 789.00	USD 0.00	IVA 13.00% USD 102.57	USD 891.57
2	10654	Filtro multimedia Turbidex - 1 pie cubico Código CABYS: 4391401990000	1.00	Unid	USD 1,190.00	USD 0.00	IVA 13.00% USD 154.70	USD 1,344.70
3	10656	Lecho mixto de 1 pie cúbico de resina grado nuclear y tanques completos Código CABYS: 4391401990000	1.00	Unid	USD 1,350.00	USD 0.00	IVA 13.00% USD 175.50	USD 1,525.50

Comentario:

CUENTAS PARA DEPÓSITOS O TRANSFERENCIAS:

CUENTA COLONES: BANCO NACIONAL DE COSTA RICA, 100-01-045-001022-0, SINPE 15104510010010223, IBAN CR41015104510010010223

CUENTA DÓLARES: BANCO NACIONAL DE COSTA RICA, 100-02-045-600287-9, SINPE 15104510026002875, IBAN CR48015104510026002875

GRACIAS POR CONFIAR EN NUESTROS PRODUCTOS Y SERVICIOS
 ES UN PLACER ATENDERLE

Mercancías gravadas:	USD 3,329.00
Monto Total:	USD 3,329.00
Descuento:	- USD 0.00
Subtotal:	USD 3,329.00
Total IVA:	+ USD 432.77
Otros Impuestos:	+ USD 0.00
Total:	USD 3,761.77

TRES MIL SETECIENTOS SESENTA Y UN DOLARES CON SETENTA Y SIETE CENTAVOS
 El monto total es equivalente a ₡ 2,422,767.97

Anexo 7: Fichas técnicas de medios filtrantes



Turbidex® está compuesto por un mineral aluminosilicato de alta superficie que provee una filtración de sólidos suspendidos excepcional. La naturaleza macroporosa de este medio filtrante, permite la filtración a un nivel de partículas de 5 micras. La superficie irregular y alta porosidad del Turbidex® lo convierten en el medio filtrante perfecto para la remoción de sólidos suspendidos.

Ventajas:

- ⇒ Produce agua con menor turbidez.
- ⇒ Reduce el costo de operación total.
- ⇒ Reduce el retrolavado hasta en 50%.
- ⇒ Costo de embarque menor comparado con otros medios filtrantes.
- ⇒ Un solo medio reemplaza varias capas de otros medios filtrantes.
- ⇒ Turbidex® cuenta con certificado NSF bajo estándar 61.

Características:

- ⇒ Color: blanco hueso.
- ⇒ Densidad aparente: 0.8 g/cc.
- ⇒ Superficie: 14 a 25 m²/g.
- ⇒ Malla: 14 x 30.
- ⇒ Coeficiente de Uniformidad: 1.64.

Parámetros de operación:

- ⇒ Profundidad de la cama: 0.75 – 1.20 m.
- ⇒ Espacio libre: 50% de la altura de cama.
- ⇒ Flujo de servicio: 0.49 – 0.81 m/min.
- ⇒ Flujo de retrolavado: 0.57 – 0.73 m/min.
- ⇒ Expansión de la cama a 0.81 m/min = 30 – 40%.
- ⇒ Deje saturar el medio antes del primer retrolavado.

Los filtros de arena proveen una filtración nominal de 25 micras, filtros multimedia (lecho profundo) pueden filtrar hasta 12 micras. Turbidex™ tiene la capacidad de filtrar partículas con tamaño menor a 5 micras. Los filtros con Turbidex® pueden retener hasta tres veces más sólidos por ciclo entre retrolavados que los filtros comunes de arena.

Los sedimentos son atrapados a través de la extensa superficie del medio, permitiendo corridas más largas entre retrolavados, consiguiendo un ahorro de agua y una mucho mejor calidad de agua producida. La naturaleza hidrofílica del Turbidex® permite flujos hasta 25% mayores por área filtrante. Esta característica le permite filtrar más agua con una menor inversión de capital en equipo.



CARBÓN ACTIVADO

PKCARBON1240

ESPECIFICACIONES

El carbón activado 12x40 concha de coco PURIKOR se utiliza ampliamente en procesos de tratamiento de agua, teniendo como funciones principales las de eliminar el cloro libre que por norma se adiciona al agua potable y absorber los contaminantes orgánicos que por su naturaleza están en el agua y que se encuentran en bajas concentraciones.



APLICACIONES

- Tratamientos de aguas potables residenciales, comerciales e industriales
- Tratamientos de aguas residuales y de procesos
- Decoloración de azúcares, licores, jugos, vinagres, etc.

VENTAJAS

- Fabricado con cáscara de coco de origen vegetal
- Elimina el cloro
- Elimina olores y sabores
- Retiene los contaminantes orgánicos
- Absorbe con mayor eficiencia los contaminantes orgánicos que suelen ser los más dañinos para el ser humano
- Afiliado a Water Quality Association (WQA)

ESPECIFICACIONES

- Presentación: Bultos de 1 pie cúbico
- Apariencia: gránulos negros
- Tamaño de partícula: 12x40
- Radio medio del poro: 0.78 nm
- Dureza (mín.): 98
- PH: 8.0-9.5
- Máxima temperatura de operación: 55°C

DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO

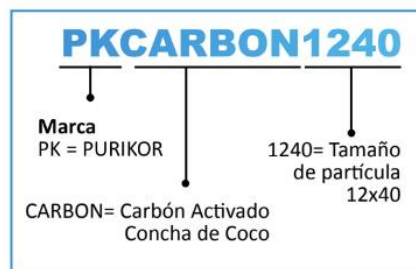


TABLA DE ESPECIFICACIONES

CÓDIGO	HUMEDAD (% máx.)	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	CONTENIDO DE CENIZAS TOTALES (% máx.)	FLUJO DE RETROLAVADO
PKCARBON1240	4	0.55 - 0.58	4	10 a 12 gpm/ft2

DIMENSIONES Y PESO

CÓDIGO	DIMENSIONES (mm)		PESO (kg)
	A	B	
PKCARBON1240	700	500	14



CAPACIDAD DE CARBÓN ACTIVADO PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

MODELO DEL TANQUE	CAPACIDAD (ft3)	SUPERFICIE DE FILTRACIÓN (ft2)	CARBÓN ACTIVADO			CARGA DE CARBÓN ACTIVADO (kg)
			TIEMPO DE CONTACTO 1MIN. FLUJO DE SERVICIO RESIDENCIAL (gpm)	TIEMPO DE CONTACTO 3MIN. FLUJO DE SERVICIO COMPERCIAL (gpm)	FLUJO DE RETROLAVADO 10-12 gpm/ft2	
PKT0948-1	1	0.44	7.5	2.7	4.4-5.28	14
PKT1035-1	1	0.55	11.25	4.05	5.5-6.6	14
PKT1054-1.5	1.5	0.55	11.25	4.05	5.5-6.6	21
PKT1248-2	2	0.79	15	5.4	7.9-9.48	28
PKT1354-2.5	2.5	0.92	18.75	6.75	9.2-11.04	35
PKT1465-3	3	1.07	22.5	8.1	10.7-12.84	42
PKT1665-4	4	1.4	30	10.8	14-16.8	56
PKT1865-5	5	1.77	37.5	13.5	17.7-21.24	70
PKT2162-7	7	2.41	52.5	18.9	24.1-28.92	98
PKT2472-10	10	3.14	75	27	31.4-37.68	140

Nota: flujos pueden variar dependiendo el modelo de la válvula de control a utilizar

PASOS PARA RETROLAVADO INICIAL: FILTRO TRATAMIENTO DE AGUA

1. Confirmar capacidad de flujo mínimo de retrolavado de acuerdo al tamaño del tanque (revisar tabla).
2. Antes de llenar el tanque de agua, se debe colocar la válvula de control en la posición de RETROLAVADO (BW= Backwash).
3. Abrir lentamente la llave de entrada para permitir que el agua entre al tanque, cerrar la llave al observar que el agua sale por la conexión de drenaje (Dren) de la válvula de control.
4. Dejar que el carbón activado PURIKOR se remoje por al menos 1 hora (para mejor eficiencia dejar 24 horas) esto para dejar salir el aire y el polvo fino.
5. Después de dejar reposar el carbón por el tiempo indicado (1h o 24h), abrir la llave de entrada y dejar que se RETROLAVE por 20 minutos si deajo reposar 24h o si deajo reposar 1h es necesario 50 minutos hasta que el agua del dren salga limpia y sin partículas.
6. Posteriormente avanzar la válvula de control a la posición de enjuague rápido (fast rinse) y dejar en esa posición por algunos minutos hasta que el agua salga limpia y sin partículas
7. Avanzar la válvula de control a SERVICIO para que el filtro entre en operación.
8. Listo, empiece a disfrutar de los beneficios de tener agua limpia y saludable.



Anexo 8: Cotización de dosificadoras y controladores



Contado

COTIZACION : 66475

Zebol S. A.
Cedula Juridica: 3-101-064341
Phone Number: (506) 2437-7900

FECHA : 10/11/2021

La Recta, 50 mts al norte del edificio de la Cruz Roja 20701 Palmaraes, Alajuela, Costa Rica

Datos del cliente:

Cliente : CARLOS ENRIQUE COY HERRERA

Telefono:

Atencion:

Fax:

Referencia : EQUIPO DE CONTROL Y DOSIFICADO

Email:

Condiciones de venta:

Tiempo de entrega: 10 Semanas luego e OC y adelanto cuando aplique

Forma de pago: Contado

Termino de entrega : ZBL PISTA

Validez de la oferta: 15 dias

Detalle de la cotizacion:

Estimado(a) Sr.(A); por este medio me permito presentarle oferta según sus necesidades:

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNI	DESC %	TOTAL
0000066	BOMBA DOSIF WALCHEM 3/8" 1.0 GPH 105 PSI 115V	2.00	\$606.14		\$1,212.28
0009883	CONTROLADOR DE CONDUCTIVIDAD WALCHEM C/ SENSOR CONDUCTIVIDAD 0-30mS 100PSI	2.00	\$837.90		\$1,675.80
0000238	CONTROLADOR PH/ORP WALCHEM W100 C/ SENSOR ORP	2.00	\$942.21		\$1,884.42

Atentos a cualquier consulta

Mauricio Fernandez

SUBTOTAL \$	4,772.50
DESC % \$	0.00
FLETE\$	0.00
IMPUESTO \$	620.43
TOTAL\$	5,392.93

Anexo 9: Cotización de insumos y servicios



Vapor y Enfriamiento S.A.
Tel: 2442-4900 / Fax: 2442-5475
E-mail: vapensa@vapensa.com
Alajuela, Costa Rica



Código: F06-PGGV-03
Versión: 1

COTIZACIÓN

CLIENTE:	FECHA:	# PEDIDO	TIPO DE CAMBIO:
CARLOS COY	8/11/2021		643,51

Solicitado por / Atención	Telefono:	Fax:	Correo:

Vigencia de la Cotización:	Condiciones de Pago:	ELABORADO POR:
8 días	Contado	Manuela Herrera F / Servicio al Cliente info@vapensa.com

Línea	Producto	Cantidad	U / M	Precio Unitario	Precio Total
1	VAPEN CLOR	20	LT	¢804,39	¢16 087,75
2	VAPEN FLOC S	10	KG	¢6 274,22	¢62 742,23
3	SULFATO DE ALUMINIO	25	KG	¢611,33	¢15 283,36
4	SAL ROCA	100	KG	¢495,50	¢49 550,27
5					
6					
7					
8					
9					
10					
				Subtotal:	¢143 663,61
				Impuesto:	¢18 676,27
				TOTAL	¢162 339,88

DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO

Salvo indicación expresa del Cliente, los métodos analíticos para la determinación de los parámetros solicitados serán seleccionados por AGQ en función del parámetro, tipo y condiciones de cada Muestra.

Cantidad	Descripción	Detalle	Análisis tipo (AT)	Precio Unitario (€)	Precio total (€)
1	Analisis <u>AGUAS RESIDUALES SEGÚN REGLAMENT O 33601-S</u>	FISICO QUÍMICO y MICROBIOLOGICO DEL AGUA	A-LBD-2002	60,000	60,000
1	Toma de muestreo en Sitio	Barranca, Puntarenas	N/A	68,000	68,000
Subtotal					128,000
IVA					16,640
Total					144,640

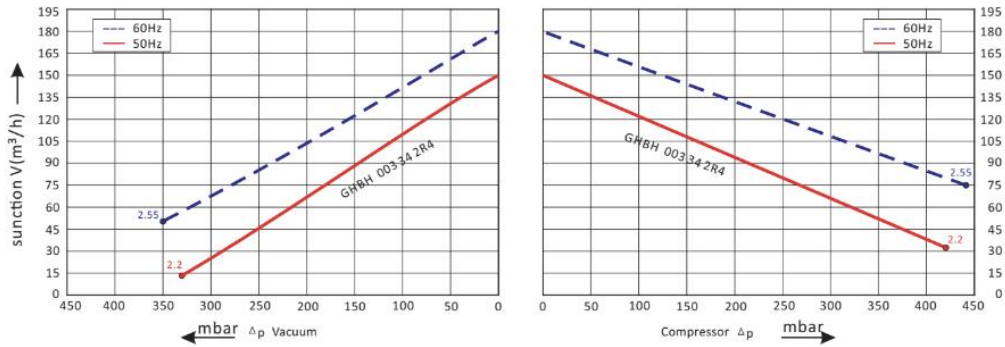
Anexo 10: Soplador y difusores

GHBH Series GHBH 003 34 2R4 Technical datasheet

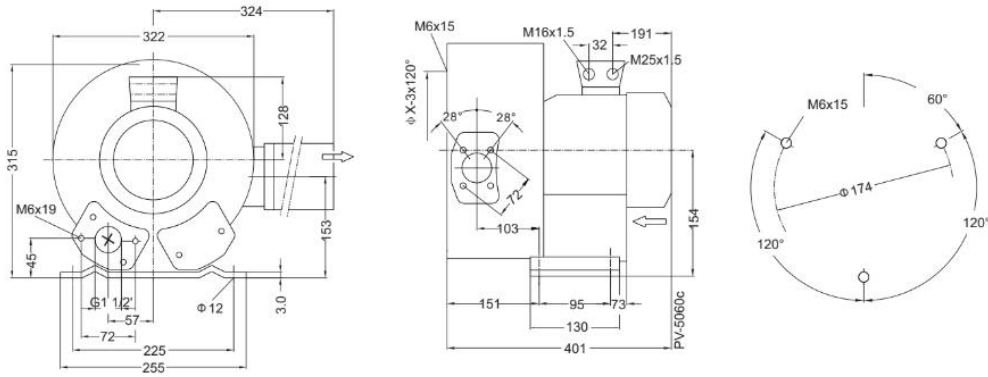


Goorui blower performance curves

Vacuum selection diagram curve Compressor selection diagram curve




Goorui blower installation drawing



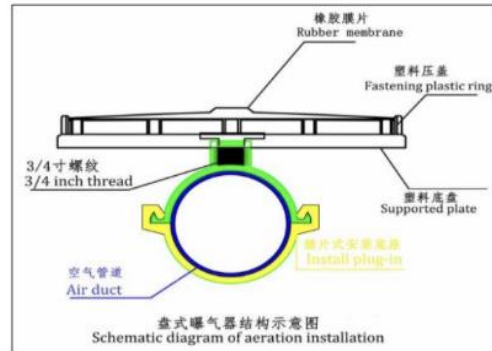
Goorui blower parameter

Model	Frequency	Output	voltage	Current	airflow	pressure		noise	Weight
						vacuum	compressor		
	Hz	KW	V	A	m³/h	mbar	mbar	dB(A)	kg
3~ 50/60Hz IP54 INSULATION class F									
GHBH 003 34 2R4	50	2.2	200-240 Δ/345-415Y	9.7Δ/5.6Y	150	-330	420	66	27
GHBH 003 34 2R4	60	2.55	220-275 Δ/380-480Y	10Δ/5.8Y	180	-350	440	69	27

ESPECIFICACIONE TECNICA DIFUSOR

Modelo	PVS-FBD12
Tipo burbuja	Fina
Imagen	
Tamaño	12"
Conector	3/4" NPT rosca macho
Grosor membrana	2 mm
Burbuja tamaño	1-2 mm
Flujo de diseño	5-6m3/h
Rango del flujo	1-12m3/h
SOTE	>=38% (6 m sumergida)
SOTR	>=0.75kg O2/h
SAE	>=8.9kg O2/kw.h
Perdidas	1500-4300Pa
Area de servicio	0.4-1.5m2/pcs
Vida Tipica Media Aguas Negras	5 años
Vida Tipica Media Aguas Industriales	18 - 24 meses
Garantía Aguas Negras	1 año
Garantía Aguas Industriales	6 meses

El difusor de burbuja fina de membrana presenta un patrón dividido único y formas de hendidura, que pueden dispersar las burbujas de aire en un patrón extremadamente fino y uniforme para una alta eficiencia de transferencia de oxígeno. Su valor de verificación altamente efectivo e integrado permite que las zonas de aireación se cierren fácilmente por aire aplicaciones de encendido/apagado. El difusor de disco membrana se puede operar en una amplia gama de flujos de aire con un mantenimiento mínimo



Características

- ◆ Baja pérdida de resistencia
- ◆ Alta resistencia al desgarro
- ◆ Anti-obstrucción, anti-retroceso
- ◆ Resistente al envejecimiento, anti-corrosión
- ◆ Alta eficiencia, ahorra energía

Anexo 11: Diagrama de instrumentación y tubería del sistema propuesto

