

UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
SEDE “OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

TRABAJO DE DIPLOMA

**OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA
EMPRESA BUCANERO S.A.**

JULIO ANTONIO VICENTE CRUZ

HOLGUÍN
2017

UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
SEDE “OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

TRABAJO DE DIPLOMA

**OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA
EMPRESA BUCANERO S.A.**

Autor: JULIO ANTONIO VICENTE CRUZ

Tutor: MSc. Raymundo Carlo Rodríguez Tejeda

HOLGUÍN
2017

PENSAMIENTO

“El saber no es suficiente, debemos aplicarlo. El querer no es suficiente, debemos hacer.”

Bruce Lee

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente:

- A la Revolución por darme la oportunidad de estudiar en este nivel.
- A todos los profesores que de una manera u otra han contribuido con mi formación profesional integral.
- Al colectivo de trabajo del departamento de medio ambiente y energía de la empresa Bucanero S.A. por su dedicación y en especial particularidad a Kirenia, Nelson, Eudenis y Pedro.
- A mi familia por su amor y apoyo incondicional, en especial a Marlene mi madre, Julio mi padre y John mi hermano.
- A Ana María mi suegra, por su apoyo y ayuda profesional en la conformación de este trabajo de diploma.
- A Annalie mi novia, por su comprensión y ayuda incondicional.
- A todos mis compañeros de aula y en especial a José Ángel y a Cutiño por ser los mejores amigos.

RESUMEN

En todo proceso productivo se genera un desecho después de obtenido el producto deseado, desecho que debe tratarse de manera tal que su disposición final no afecte al medio ambiente. En la industria cervecera se genera un efluente con alta carga de materia orgánica, sólidos y otras sustancias, situación que hace necesaria la existencia y el buen funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales. Se realizó un estudio en la Cervecería Bucanero S.A., la cual tiene instalado un sistema de depuración aeróbica (filtros percoladores y reactor aeróbico) en su planta de tratamiento de aguas residuales. Durante la realización de este estudio se registró una baja eficiencia del proceso. El agua residual finalmente tratada presenta una gran variedad con respecto a sus características físicas, químicas y biológicas, donde prevalece una marcada carga contaminante. La causa de este problema está basada en que no se obtienen buenos resultados de la depuración biológica (biofiltros y bio-reactor aeróbico). Se requirió evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de residuales en función de la carga aplicada, sus parámetros de diseño, además de determinarse su eficiencia, de lo cual se propone un plan de mejora para el control y optimización del proceso, con la finalidad de proporcionar una disminución de la carga contaminante tal que se logra cumplir con los parámetros permisibles de DQO y DBO₅ establecidos por la NC: 27:2012, donde se consigue además una eficiencia instantánea comprendida entre 92.52 y 99.94 % aproximadamente.

ABSTRACT

In any production process a waste is generated after the desired product is obtained, waste that must be treated in such a way that its final disposal does not affect the environment. In the brewing industry, an effluent is generated with a high load of organic matter, solids and other substances, a situation that necessitates the existence and the proper functioning of a wastewater treatment plant. A study was carried out at the Bucanero S.A. Brewery, which has an aerobic treatment system (percolating filters and aerobic reactor) installed in its wastewater treatment plant. During the execution of this study, a low process efficiency was registered. The wastewater finally treated presents a great variety with respect to its physical, chemical and biological characteristics, where a marked contaminant load prevails. The cause of this problem is based on the lack of good results of biological purification (biofilters and aerobic bio-reactor). It was necessary to evaluate the operation of the waste treatment plant in function of the applied load, its design parameters, in addition to determining its efficiency, which proposes an improvement plan for the control and optimization of the process, for the purpose To provide a reduction of the pollutant load such that it is possible to meet the allowable COD and BOD₅ parameters established by NC: 27: 2012, where an instantaneous efficiency of between about 92.52 and 99.94% is also achieved.

ZUSAMMENFASSUNG

In jedem Produktionsprozess erzeugt, um eine Überbleibsel nach dem gewünschten Produkt, Überbleibsel erhält so behandelt wird, dass ihre Entsorgung die Umwelt nicht beeinträchtigt. In der Brauindustrie Abwasser mit hohen organischer Belastung, Feststoffen und anderen Stoffen, erzeugt wird, eine Situation, die das Vorhandensein und die Funktionsweise einer Abwasserbehandlungsanlage macht. Eine Studie wurde in der Bucanero S.A. Brauerei gemacht, die ein aerobes Reinigungssystem (Tropfkörper und aeroben Reaktor) wie ihre Abwasserbehandlung zu installieren gewählt hat. Während dieser Studie wurde eine geringe Effizienz des Verfahrens aufgezeichnet. Das gereinigte Abwasser präsentiert schließlich eine Vielfalt hinsichtlich seiner physikalischen, chemischen und biologischen Features, wo deutliche Schadstoffbelastungeigenschaften vorherrscht. Die Ursache dieses Problems basiert darauf, dass gute Ergebnisse biologischer depuration (aeroben Biofilter und Bioreaktor) nicht erhalten werden. Es bedarf wurde von der angelegten Last des Betrieb der Kläranlage zu beurteilen, je nach ihren Auslegungsparametern sowie deren Effizienz bestimmen, woher eine Verbesserung Plan für die Steuerung und Optimierung des Verfahrens vorgeschlagen wurde, mit der Zweck eine Reduzierung der Schadstofffracht Bereitstellen wird, so dass mit den zulässigen Parametern CSB und BSB₅ von der NC 27: 2012 fest entsprechen erreicht: , die auch ein momentanes Wirkungsgrad zwischen etwa 92,52 und 99,94% erreicht.

ÍNDICE

Denominación	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE ACERCA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA CERVECERA.	6
1.1 La industria cervecera.	6
1.1.1 El agua en la industria cervecera.	6
1.1.2 Aguas residuales.	8
1.1.2.1 Agua residual en la industria cervecera.	10
1.2 Tratamientos de las aguas residuales.	14
1.2.1 Tratamientos biológicos de aguas residuales.	17
1.3 Caracterización de la empresa cervecera Bucanero S.A. en Holguín.	20
1.3.1 Caracterización de la PTAR en la Cervecería Bucanero S.A.	21
1.3.1.1 Pasos del proceso tecnológico de la PTAR: Descripción.	21
1.3.1.2 Evolución operacional y constructiva de la PTAR de la CBSA.	27
Conclusiones del capítulo.	31
CAPÍTULO II. EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA CBSA.	32
2.1 Situación actual de la PTAR de la Cervecería Bucanero S.A.	32
2.2 Evaluación del diseño de la planta de tratamiento de residuales en la empresa cervecera Bucanero S.A.	37
2.2.1 Análisis de las aguas residuales de la CBSA.	38
2.2.1.1 Ensayo de DQO en la PTAR de la CBSA.	39
2.3 Propuesta de optimización para el tratamiento de las aguas residuales de la CBSA.	41
2.4 Comprobación de la propuesta de optimización.	52
Conclusiones del capítulo.	57
CONCLUSIONES GENERALES.	58
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

TÉRMINOS

- 0.6015: División entre la DQO entrante máxima permisible (6617 mg/l) y la DQO entrante máxima (11000 mg/l).
- 60: Factor de conversión (min - h).
- A_{DC} : Área de las divisiones centrales del empaque de un biofiltro (cm^2).
- A_S : Área superficial (m^2).
- A_{SBD} : Área superficial del empaque de un biofiltro (cm^2).
- A_{SC} : Área superficial circular del empaque de un biofiltro (cm^2).
- $A_{SE.B3}$: Área superficial de la E.B₃ (m^2).
- $A_{Somb.}$: Área sombreada (m^2).
- $A_{TBF}(x)$: Área total de la biomasa o biopelícula de un biofiltro a una altura x (m^2).
- A_T : Área total (m^2).
- A_v : Superficie específica del medio filtrante o biodisco (m^2/m^3).
- C_{bomba} : Capacidad de la bomba (m^3/h).
- CBSA: Cervecería Bucanero S.A.
- CH_4 : Metano.
- $d_{m\acute{a}x}$: diámetro máximo de un empaque o relleno (cm)
- HCl: Ácido clorhídrico.
- L: Carga hidráulica superficial que llega a un biofiltro ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$).
- L_A : Carga hidráulica superficial que llega al biofiltro A ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$).
- NC: 27:2012: Norma cubana de vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.
- PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.
- $Q_{m\acute{i}n}$: Gasto mínimo que puede llegar a la planta (m^3/h).
- Q_{total} : Gasto total que llega a un biofiltro (m^3/h).
- s: espesor de un relleno (cm).
- $T_{m\acute{a}x\ bombeo}$: Tiempo máximo de bombeo (min).
- $T_{m\acute{a}x\ d}$: tiempo máximo que demora en llegar el agua (min).
- V_{BD} : Volumen que ocupa un biodisco o empaque de un biofiltro (cm^3).

- $V_{m\acute{a}x}$: Caudal máximo de entrada a la planta (m^3/h).
- V_{nec} : Volumen necesario para que la bomba no se quede sin agua (m^3).
- $V_{nec\ a}$: Volumen necesario a bombear para que se apague la bomba (m^3).
- x : Caudal de salida de la planta del agua residual.
- y : Caudal necesario para que el agua residual salga con un valor de 30 mg/l de DBO_5

DEFINICIONES

- Aspersor o esparcidor: Mecanismo destinado a esparcir un líquido a presión, como el agua para el riego y en nuestro caso para la filtración de la misma.
- Afluente: En términos de agua residual es el agua que entra a las diferentes fases del tratamiento de la misma.
- Biofilme o bio-película: No es más que una capa de limo compuesta por microorganismos los cuales se alimentan de los componentes biodegradables del agua residual, lo que supone una disminución de la DBO_5 .
- Biomasa: Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresadas en unidades de superficie y volumen.
- Capacidad biomásica: Capacidad de un material para retener la biomasa.
- DBO_5 : Demanda Biológica o Bioquímica de Oxígeno (se basa en el consumo de oxígeno de un cultivo de microorganismos, es el parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos o lo que es lo mismo la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua). Se refiere al 5 porque el ensayo se realiza 5 días después de tomada la muestra debido a que los primeros ensayos de este tipo se realizaron en Inglaterra y este es el tiempo en que llegan las aguas de sus ríos al mar.
- Depuración: Palabra usada para el tratamiento de aguas residuales.
- Diatomeas o kieselguhr: Clase de algas unicelulares de caparazón silíceo formado por dos valvas de tamaño desigual. A la unión de muchas de estas algas ya secadas se les denomina tierra de diatomeas y la misma es muy

usada en el mercado para la filtración de fluidos y especialmente agua y cerveza.

- DQO: Demanda Química de Oxígeno (es el parámetro que mide la cantidad de sustancias que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida y son susceptibles de ser oxidadas por medios químicos).
- E.B₁: Estación de bombeo 1 (es la encargada de bombear hacia el biofiltro B el agua residual que efluye desde el SS₁). Actualmente es la estación de bombeo de recirculación del agua residual finalmente tratada. Véase el anexo 15.
- E.B₂: Estación de bombeo 2 (es la encargada de bombear hacia el bio-reactor aerobio el agua residual que efluye desde el biofiltro B). actualmente es el selector de bacterias. Véase el anexo 15.
- E.B₃: Estación de bombeo 3 (es la encargada de recircular hacia el biofiltro B parte del agua residual finalmente tratada que efluye desde el SS₂). Véase el anexo 15.
- Eficiencia instantánea: Eficiencia que se mide en una PTAR al tomar las muestras de agua en un mismo horario.
- Efluente: En términos de agua residual es el agua que sale de las diferentes fases del tratamiento de la misma o finalmente de la PTAR.
- Filtros percoladores: Es una modalidad de filtro en la cual se mantiene un lecho fijo de biofilme sostenido por rellenos de disímiles formas y materiales, donde se hace verter por gravedad el agua residual para que se produzca el proceso de filtración.
- Filtro o biofiltro A: Para nuestra propuesta de optimización será el filtro percolador que se encuentra al lado del tanque de equalización (ver anexo 15).
- Filtro o biofiltro B: Para nuestra propuesta de optimización será el filtro percolador que se encuentra del lado del actual selector de bacterias o la E.B₂ de la misma propuesta (ver anexo 15).
- Insuflar: Soplar o inyectar un gas o una sustancia pulverizada dentro de algo. En nuestro caso se insufla oxígeno (O₂).

- Mecanismo mezclador: En términos de aguas residuales se refiere al mecanismo capaz de mezclar la misma para lograr una buena homogeneización y evitar que se sedimente el fango que la acompaña.
- Optimizar: Conseguir que algo llegue a la situación óptima o dé los mejores resultados posibles.
- Sedimentación: Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad.
- Sólidos en suspensión: Son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos, como arcillas, arenas, etc.
- Sólidos sedimentables: Son aquellas partículas más gruesas que se depositarán, por gravedad, en los fondos de los receptores.
- SS₁: Sedimentador secundario 1 (es el sedimentador secundario existente), su función es la de sedimentar el fango que acompaña al agua que efluye desde el biofiltro A de la propuesta de optimización (ver anexo 15).
- SS₂: Sedimentador secundario 2 (es el sedimentador secundario propuesto), su función es la de sedimentar el fango que acompaña al agua que efluye desde el bio-reactor (ver anexo 15).
- Tanque selector de bacterias: En el tratamiento de aguas residuales es un depósito encargado de preparar las bacterias para una posterior depuración del agua residual en bio-reactores (normalmente se utilizan para una depuración anaeróbica).
- Tratamiento aerobio: Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en presencia de oxígeno.
- Tratamiento anaerobio: Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.
- Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

INTRODUCCIÓN

El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en los ecosistemas en donde se utilizan. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales. Si se entiende por desarrollo sostenible aquel que permita compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas.

Hay que considerar también que el hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas, bien directamente mediante extracción de las mismas y posterior vertido de aguas contaminadas como se ha dicho, o bien indirectamente donde altera la vegetación y la calidad de las aguas.

Nuestro mundo por muchos años ha sido descuidado y maltratado por nosotros los seres humanos. La industrialización y el modernismo son algunos factores que ayudan a la contaminación de nuestro ambiente.

En todo proceso productivo se genera un desecho después de obtenido el producto deseado, desecho que debe tratarse de manera tal que su disposición final no afecte al medio ambiente. El tratamiento de las aguas residuales constituye una necesidad aún sin solución en diversos lugares. Un importante efecto de la contaminación orgánica o biológica es el peligro para la salud. Visto desde una perspectiva mundial existe un trato inadecuado de este tema, especialmente en países poco desarrollados. Esto es debido a la superpoblación, a la crisis del agua y al costo de construir sistemas de depuración. El resultado se traduce en aumentos significativos de la mortalidad y de enfermedades prevenibles; por otra parte, este impacto es particularmente alto entre los niños en países subdesarrollados, con mayor énfasis en los continentes de África y Asia.

A nivel mundial se han desarrollado nuevos procedimientos y metodologías de trabajo para el tratamiento de los residuales debido a la necesidad del cuidado del medio ambiente. En especial se hace énfasis en el tratamiento de los residuos líquidos debido a que los mismos son vertidos a colectores y/o ríos que terminan en nuestros océanos y de no ser bien tratados contaminan el medio ambiente y culminan con la destrucción del ciclo de la vida.

De lo que se trata es de preservar la continuidad de vida en la tierra, a la vez de cuidar nuestros recursos naturales y elevar la calidad de vida e incluso en algunos casos se logra una producción de energía renovable (producción de biogás y posteriormente obtención de energía eléctrica del mismo) la cual proporciona un ahorro considerable de recursos a la vez que crea una satisfacción social.

Las características de las aguas residuales generadas dependen en gran medida del grado de optimización en el consumo de agua y de la gestión dada a los residuos. En el caso específico de la industria cervecera se genera un efluente con alta carga de materia orgánica, sólidos y otras sustancias, situación que hace necesaria la optimización de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en las mismas.

En la Cervecería Bucanero S.A. en Holguín, debido al aumento de la producción y los parámetros de descarga establecidos, no pueden alcanzarse las normas de la descarga del efluente, por esto la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales existente debe ser modernizada y adaptada para satisfacer los estándares requeridos y tiene que ser capaz de tratar todas las aguas residuales que vienen de una producción máxima de cerveza de 6900 hl/día.

Este estudio pretende proponer una solución para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la empresa cervecera Bucanero S.A. en Holguín. La aspiración final es obtener una solución óptima y económica. La aplicación de esta, podrá eliminar o disminuir el riesgo de contagio de enfermedades transmisibles (de origen hídrico) y reducir la contaminación del manto freático, además de posibilitar una situación ambiental conveniente para el desarrollo de la provincia.

En nuestra provincia no existen trabajos anteriormente realizados en la Universidad de Holguín que propongan soluciones para el tratamiento de aguas residuales en la empresa cervecera Bucanero S.A.

Todo lo cual conlleva a identificar como problema científico de la investigación: ¿Cómo optimizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales de La Empresa Cervecería Bucanero S.A en Holguín?

Se define como objeto de estudio de la investigación la planta de tratamiento de aguas residuales de la Cervecería Bucanero S.A en Holguín y el objetivo general: Propuesta de optimización del proceso de tratamiento de las aguas residuales de la empresa cervecera Bucanero S.A.

Para cumplimentar este objetivo, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un estudio del estado del conocimiento de las tecnologías de plantas que utilizan tratamientos biológicos para la depuración de aguas residuales provenientes de cervecerías.
2. Caracterizar física, química y biológica de las aguas residuales de la empresa cervecera Bucanero S.A.
3. Evaluar del diseño de la planta de tratamiento de residuales en la empresa cervecera Bucanero S.A.
4. Diseñar una propuesta de optimización para el tratamiento de los residuales de la empresa cervecera Bucanero S.A.

Se define como campo de acción:

El tratamiento de las aguas residuales en la empresa cervecera Bucanero S.A en Holguín.

Se formula como hipótesis:

La optimización del proceso de tratamiento de las aguas residuales de la empresa cervecera Bucanero S.A. permite la mejora del proceso y reduce la carga contaminante del agua residual del proceso.

Tareas de investigación:

1. Recopilación bibliográfica preliminar, definición del tema y elaboración del plan de trabajo.
2. Estudio bibliográfico y análisis del estado del arte de la temática del tratamiento de aguas residuales.

3. Diseño metodológico de la investigación y alcance de la misma.
4. Visita a la Empresa Cervecera Bucanero S.A en Holguín.
5. Documentación teórica sobre la composición química, ensayos y tecnologías para realizar el tratamiento de las aguas residuales.
6. Estudio de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales con concepción del funcionamiento general de plantas para el tratamiento de aguas residuales con filtros biológicos.
7. Redacción de la primera versión del Capítulo I “Estado del arte acerca del tratamiento de las aguas residuales en la industria cervecera.”.
8. Caracterización física, química y biológica de las aguas residuales.
9. Redacción de la primera versión del Capítulo II: Evaluación, análisis y propuesta de optimización del tratamiento del agua residual de la CBSA.
10. Redacción de las conclusiones y recomendaciones.
11. Redacción y puesta a punto del documento final.

En el transcurso de esta investigación se utilizaron como métodos de investigación el de análisis y síntesis, al procesar toda la información consultada, que permitió elaborar la fundamentación de la investigación e interpretar los resultados obtenidos; el histórico-lógico, que posibilitó estudiar teorías y posiciones de diferentes autores; el hipotético-deductivo, que permitió elaborar gran parte de nuestra propuesta de una manera lógica; el sistémico estructural funcional, que nos ayudó a concebir la estructura y componentes de la propuesta, así como las relaciones esenciales que se dan entre estos últimos. Se utilizaron métodos empíricos como el de observación científica que recoge la experiencia acumulada por el autor durante el proceso de investigación; el de análisis documental, utilizado para la interpretación de diferentes documentos; el de experimento, donde se realizaron mediciones para la realización de ensayos de caracterización física y química de las aguas residuales,

donde se implementan técnicas de ensayos en el laboratorio. Como método estadístico-matemático se utilizó el estadístico descriptivo con el objetivo de organizar y presentar diferentes informaciones, así como validar nuestra propuesta. En el estudio, se emplean además criterios de expertos, así como de especialistas de gran experiencia, que fueron consultados en el transcurso de la investigación y con anterioridad a la misma.

El aporte de la investigación se fundamenta en la conveniencia de la ejecución de una propuesta de optimización para el sistema de tratamiento de aguas residuales, que se pueda aplicar como una solución definitiva en la Cervecería Bucanero S.A.

Para su presentación, esta tesis se estructuró de la forma siguiente:

En el capítulo 1, titulado “Estado del arte acerca del tratamiento de las aguas residuales en la industria cervecera”, se realiza un análisis de las diferentes tecnologías de plantas que utilizan tratamientos biológicos para la depuración de aguas residuales y en especial para las provenientes de la industria cervecera. Se analizan las características físicas, químicas y biológicas de estas aguas provenientes del proceso de elaboración de la cerveza de la empresa cervecera Bucanero S.A.

En el capítulo 2, titulado “Evaluación, análisis y propuesta de optimización del agua residual de la empresa cervecera Bucanero S.A.”, se describen los elementos que dan solución al problema científico planteado.

Se presentan además un conjunto de conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación, la bibliografía consultada para la concepción del trabajo, la cual se encuentra actualizada y se obtiene durante el período de preparación para el desarrollo de este trabajo en las ciudades de Magdeburgo (Alemania) y Holguín (Cuba). Se presentan además anexos como complemento de los resultados expuestos.

CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE ACERCA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA CERVECERA

En el presente capítulo se abordan los elementos y conceptos principales del tratamiento de aguas residuales en la industria cervecera. Se parte de la sistematización conceptual de los componentes del campo, los cuales de forma detallada han sido estudiados a través de la bibliografía consultada al respecto. Se particulariza en el proceso de la fábrica cervecera Bucanero S.A. en la provincia Holguín.

1.1 La industria cervecera

Dentro de la industria agroalimentaria, el sector cervecero ocupa una posición económica estratégica, con una producción anual por encima de los 1000 millones de hectolitros en los cinco países que producen más cerveza en el mundo (Alemania, Rusia, Brasil, Estados Unidos y China).

La cerveza es la bebida alcohólica más demandada en el mundo y se encuentra ubicada como la cuarta bebida más consumida por detrás del té, el jugo de naranja y el café, con un consumo medio de 108 litros/persona al año. El sector cervecero tiene una tradición antigua y hoy en día es un sector dinámico abierto a los nuevos progresos en tecnología y desarrollo científico.

1.1.1 El agua en la industria cervecera

La industria cervecera forma parte del grupo de empresas que utilizan más agua en su proceso productivo, por lo tanto, el agua juega un papel fundamental en la totalidad de las operaciones unitarias que intervienen en la producción de cerveza, lo cual la convierte en un elemento esencial.

El consumo de agua en la industria cervecera no es sólo un parámetro económico sino que también sirve para determinar el rendimiento de sus procesos de producción en comparación con otras industrias y es, además, uno de los aspectos ambientales que más fluctúa entre unas instalaciones y otras.

Constituye el componente principal de la cerveza, aproximadamente el 95% en peso del producto, pero además de ser la materia prima mayoritaria de la misma, es una sustancia

indispensable para el funcionamiento de gran número de operaciones. Los principales usos del agua en la elaboración de cerveza son (8):

- Limpieza de equipos e instalaciones.
- Incorporación al producto.
- Circuitos de refrigeración y calderas.
- Envasado.
- Sanitarias.

En la Figura 1.1, se muestra un diagrama de flujo que representa el consumo de agua en la industria cervecera. Según se puede apreciar en ella, la mayor parte del agua utilizada en la elaboración de cerveza acaba en la red de drenajes, entre un 70- 80% del consumo.

En cuanto a los aspectos ambientales de la industria cervecera, referentes al consumo de agua y la generación de aguas residuales, en la Tabla 1.1, se muestra cada uno de ellos, vinculados con las operaciones unitarias que están más involucradas en la generación de impactos ambientales que pueden considerarse importantes.

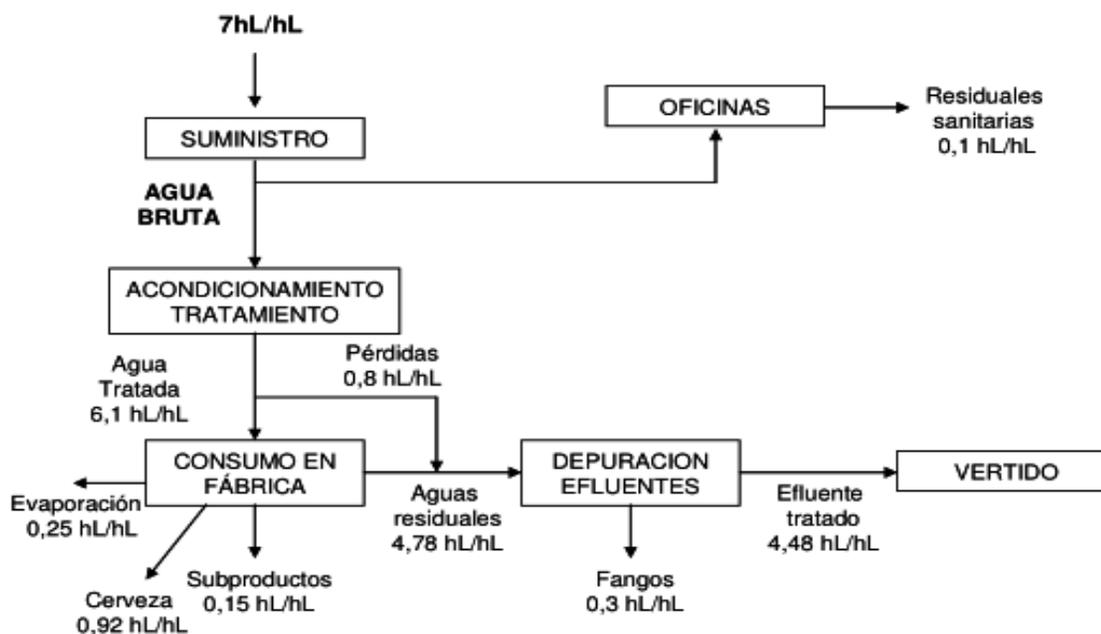


Fig. 1.1 Balance general para la fabricación un hectolitro de cerveza.

Fuente: Martínez-Espejo, 2010 (21).

Tabla 1.1 Aspectos ambientales significativos y operaciones donde se producen

Aspecto ambiental	Operación	Tipo de aspecto/parámetro contaminante
Consumo de agua	Limpieza de equipos	Elevado volumen de agua
	Estabilización microbiológica	Elevado volumen de agua
	Envasado (limpieza de envases)	Elevado volumen de agua
	Cocción	Elevado volumen de agua
	Enfriamiento del mosto	Elevado volumen de agua
Generación de aguas residuales	Envasado (limpieza de envases)	DQO, SST, pH, conductividad, T ^a
	Tratamiento de agua de proceso	Cl ⁻ , pH, conductividad
	Limpieza de equipos	DQO, SST, N, P, pH, conductividad, T ^a
	Estabilización microbiológica	Caudal, T ^a
	Enfriamiento del mosto	Caudal, T ^a

Fuente: Martínez-Espejo, 2010 (21).

1.1.2 Aguas residuales

Históricamente las aguas residuales no han sido un factor intrínseco de la producción y se suponía que el medio ambiente las absorbía y les daba un tratamiento natural. El progreso cultural e industrial llevó aquella práctica a situaciones límites y en la actualidad en las economías industriales el agua residual se convierte en costo de producción.

Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales diversas. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

El control de la contaminación del agua producida por las actividades industriales comenzó con la aprobación por el Congreso de los Estados Unidos de la enmienda de 1972 a la “Federal Water Pollution Control Act”, que estableció un sistema nacional de descarga y

eliminación de contaminantes. Las enmiendas de 1977 y 1987, conocidas como “Clean Water Act” y “Water Quality Act”, completan la regulación legal norteamericana. La tendencia en Europa es reducir el vertido de algunos contaminantes específicos y emplear sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales in situ. América latina no se queda atrás y como países más representativos en referencia al tratamiento de aguas residuales y sus regulaciones legales para esta actividad se encuentran a Colombia y a México en la puntera de avanzada.

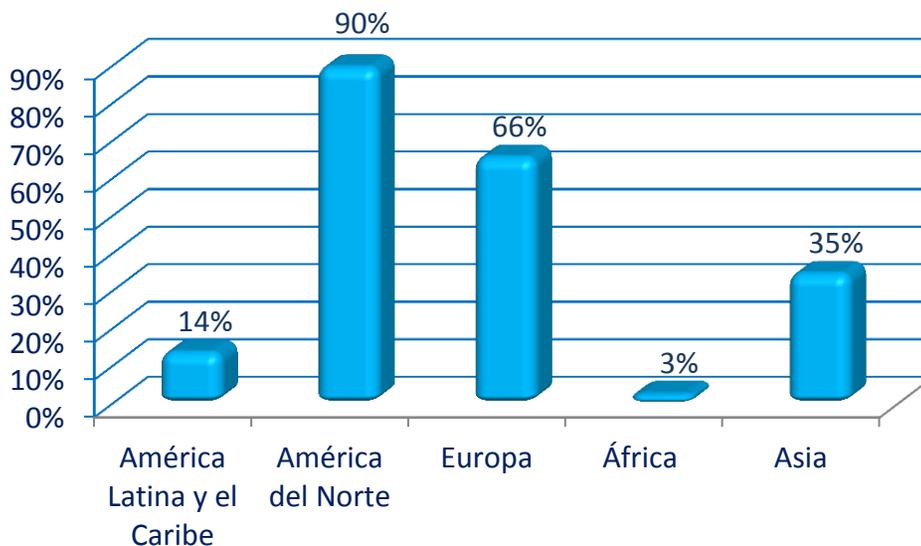


Gráfico 1.1 Tratamiento de aguas residuales en diferentes regiones del mundo.

Fuente: Suárez Guzmán, Alicia.

En Cuba, en la Ley 81 /97 del medio ambiente, artículo 95, se dispone el tratamiento de las aguas residuales antes de ser vertidas al medio ambiente. La norma cubana 27/2012 establece las especificaciones para el vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado y se aplica a todas las aguas residuales generadas por las actividades sociales y económicas como son las domésticas, municipales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro tipo.

1.1.2.1 Agua residual en la industria cervecera

El volumen de agua residual que se genera en las instalaciones cerveceras corresponde al agua total consumida, donde se descuenta la que se incorpora al producto final, la que se evapora en las operaciones de producción y servicios auxiliares y la que queda absorbida en la matriz sólida de los residuos generados. Este consumo se puede resumir en la siguiente ecuación (25):

$$V_{\text{agua residual}} = V_{\text{consumido}} - V_{\text{evaporado}} - V_{\text{uso en planta}} - V_{\text{residuos/prod. intermedios}} \quad (1.1)$$

Esta ecuación coincide con el concepto general de hidroeficiencia industrial descrita por Garrido:

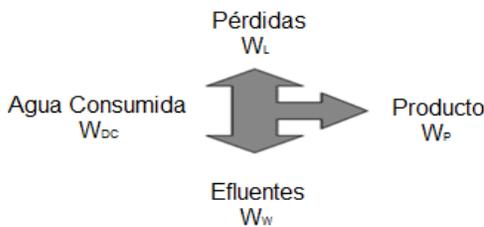


Fig. 1.2 Concepto de hidroeficiencia industrial.

Fuente: Martínez-Espejo, 2010 (21).

Si se realiza un balance entre el volumen de agua consumida con el volumen de agua residual vertida, se obtiene que el agua que no abandona la instalación como efluente residual fluctúa, entre 1,2 - 2 hL agua/hL cerveza, que en términos relativos se traduce en 16,2% - 43,1% (3). Estos porcentajes se distribuyen entre el agua incorporada al producto, la retenida en los residuos sólidos y la emitida a la atmósfera en forma de vapor.

El volumen total del agua residual producida proviene principalmente de las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones, donde es a la vez la corriente que normalmente aporta mayor carga contaminante. En la línea de envasado tiene origen otro efluente importante no tanto por el volumen como por la carga contaminante que aporta. Sus características son similares, pues confluye el uso de sustancias químicas más o menos agresivas con la eliminación de restos de cerveza y sólidos que pueden contener los envases (3).

El otro punto significativo de generación de agua residual en la línea de envasado es el túnel de pasteurización. La corriente residual procedente de este no suele llevar una carga contaminante importante, sí puede llegar a serlo el caudal en el caso de equipos antiguos no optimizados.

Finalmente se deben mencionar otros dos puntos generadores de agua residual. La que se utiliza para enfriar el mosto y la que se produce en la planta de tratamiento del agua de proceso. El primer caso es una corriente residual más potencial que real, ya que como se ha dicho anteriormente las posibilidades de recuperación y reutilización de esta corriente son muy factibles.

Respecto al efluente que se genera en la planta de acondicionamiento de agua de proceso, es muy difícil valorar en conjunto las características del vertido, ya que depende mucho de la composición del agua a la entrada y del sistema de acondicionamiento empleado. En algunos casos, puede ser muy leve o incluso innecesario el acondicionamiento del agua de proceso.

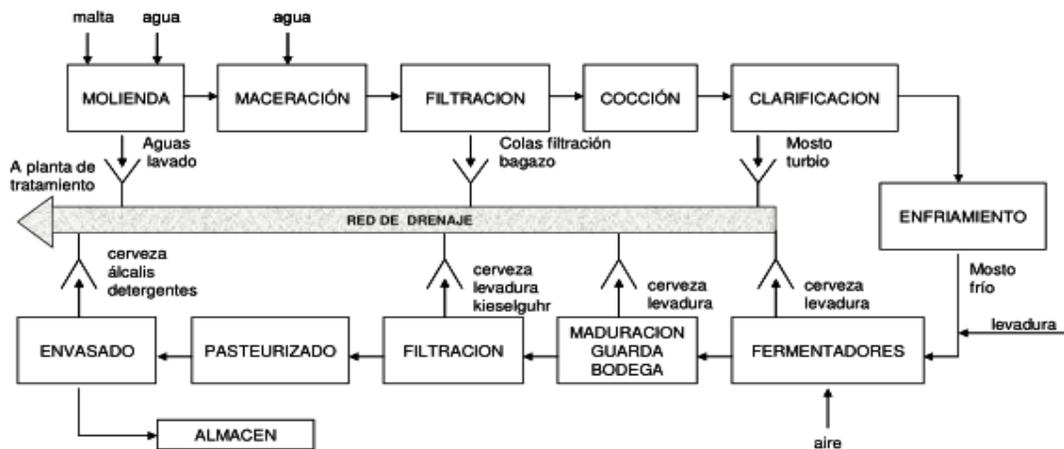


Fig.1.3 Diagrama de los vertidos producidos en el proceso de elaboración de la cerveza.

Fuente: Martínez-Espejo, 2010 (21).

La calidad y cantidad del efluente en la industria cervecera puede variar significativamente, donde existe la dependencia de los diferentes procesos que se lleven a cabo en la elaboración de la propia cervecera (6). Generalmente, las aguas residuales generadas en la

industria cervecera, presentan contaminantes en forma soluble e insoluble, así como compuestos orgánicos (13).

Las características comunes, de este tipo de agua residual industrial, son (3):

- Volumen de generación elevado y gran variabilidad de caudal a lo largo de la jornada.
- Marcado carácter orgánico (elevada DQO y DBO 5).
- Biodegradabilidad elevada (DBO 5 /DQO >0,6).
- Gran parte de la materia orgánica está en forma soluble.
- Presencia de sólidos en suspensión.
- Ocasionalmente, pueden tener pH extremos debidos a las operaciones de limpieza.

Las diferencias existentes en las características de las aguas residuales generadas en las distintas instalaciones dependen entre otros factores de:

- Grado de optimización del consumo del agua.
- Tipo de limpieza y productos químicos utilizados.
- Porcentaje de envases reutilizados frente a los no reutilizables.
- La gestión de los residuos realizada (aporte o no de levadura, tierra de diatomeas, turbios o cerveza residual a las aguas residuales).
- La necesidad o no de preparar el agua de proceso.

De entre las características de las aguas residuales, descritas anteriormente, la más destacable es su elevada carga orgánica, y su alta biodegradabilidad, lo que favorece sus posibilidades de depuración mediante métodos biológicos con buenos rendimientos de eliminación (1,3, 5, 6,12, 28,). Los compuestos orgánicos presentes en los efluentes de la industria cervecera son principalmente azúcares, almidón soluble, etanol, ácidos grasos volátiles, etc. (5, 6).

La carga contaminante de los distintos procesos presenta distintos rendimientos volumétricos, por ejemplo, el agua de limpieza de botellas supone un consumo de agua muy alto pero con baja carga contaminante, en cambio el agua empleada en los procesos de fermentación y filtración supone sólo el 3% del consumo, pero el 97% de la carga orgánica se debe a la DBO₅ (29).

Las concentraciones de contaminantes dependen del consumo específico de agua o ratio vertido/producción, de las pérdidas que tienen lugar durante la fabricación, el destino de los subproductos o residuos y del tipo de reactivos químicos empleados (25).

Tanto los caudales como la composición son muy variables a lo largo de un día de trabajo o entre temporadas de alta y baja producción (invierno-verano). Esto se debe a la naturaleza discontinua del proceso de elaboración de la cerveza (proceso en lotes), por lo que el efluente varía en caudal y concentración en períodos cortos de tiempo y a menudo se coincide con momentos en el día en los que se produce otra determinada operación (23).

Las concentraciones que se encuentren en una o varias muestras puntuales no son representativas. Sólo cuando se analizan los datos promedios de períodos semanales o mensuales, se pueden observar valores similares repetitivos.

Existe una gran variabilidad que existe en los parámetros característicos del agua residual de la industria cervecera. Además de la inevitable variabilidad, vinculada a las múltiples opciones de gestión y usos específicos del agua que se realizan en cada centro productivo, hay que añadir las condiciones de las redes de drenaje de efluentes, de manera que el grado de segregación de las corrientes tiene una marcada influencia en el volumen y carga contaminante del agua residual que entra en el sistema de depuración (propio o ajeno).

Los constituyentes de las aguas residuales se diferencian en materiales degradados (ácido úrico y glucosa son degradados biológicamente y a través de la descomposición anaeróbica dan lugar a olores molestos, además estos materiales pueden reducir la concentración de oxígeno en el agua), nutrientes (compuesto de nitrógeno y fósforo, los cuales pueden desencadenar una particular eutrofización en aguas estancadas), agentes contaminantes (metales pesados, compuestos sintéticos orgánicos, agentes desinfectantes y lubricantes) y sustancias que interfieren como sales grasas, aceites, arena y arcilla.

El origen de esta carga contaminante en el efluente es variado:

- La contaminación orgánica se produce principalmente por los cereales y semillas usadas en la cerveza, levadura, descarga pobre de malta, llenado y vaciado de los tanques de cocción, funcionamiento y limpieza de los filtros de diatomeas.

- Los sólidos en suspensión se originan en la descarga de productos intermedios, y contienen celulosa del bagazo, sílice de las tierras de filtración, complejos carbohidrato-proteínas de la levadura y proteínas del turbio (1), así como kieselguhr y almidón (5).
- Los niveles de fósforo y nitrógeno dependen principalmente del tipo de materia prima empleada para la producción y la cantidad de levadura presente en el efluente (5,21) el uso de productos químicos para la limpieza de tanques es también un factor determinante de elevadas concentraciones de fósforo y nitrógeno (5,21).
- El pH resulta alterado por el uso de ácidos o productos cáusticos en los procesos de limpieza de equipos y botellas retornables (21). En los procesos de maceración y embotellamiento se puede producir algún tipo de incidencia que ocasionan vertidos accidentales altamente cargados o con elevado pH (1).
- La presencia de metales pesados en concentraciones bajas como puede ser el níquel y el cromo puede deberse al desgaste de la maquinaria (3) o al ataque químico de los materiales de acero inoxidable por parte de soluciones de limpieza agresivas.
- Las aguas residuales, además de los contaminantes específicos de la actividad industrial que las genere, pueden presentar otras características, no reflejadas en la bibliografía, como son las relativas a la contaminación microbiológica debida, en algunos casos, a que el vertido procedente del proceso productivo es mezclado con el agua de las instalaciones sanitarias.

1.2 Tratamientos de las aguas residuales

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes industriales tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente o para garantizar las condiciones mínimas del proceso en el caso de reutilización o recirculación de la corriente para uso interno (27).

A la hora de seleccionar el tipo de planta de tratamiento de las aguas residuales de la industria cervecera, deben tenerse en cuenta tanto los criterios medioambientales como los criterios socioeconómicos, según criterios de autores (2). El objetivo principal es seleccionar un proceso que sea lo bastante flexible como para poder tratar este tipo de efluentes, con grandes variaciones de carga orgánica, que llegue a tener, además, un coste de operación lo

más bajo posible. Para esta selección se deben tener en cuenta dos factores importantes, característicos de este tipo de efluentes, que hacen que incremente el coste de las operaciones en los sistemas de tratamiento, estos son:

- La elevada concentración de materia orgánica requiere de grandes aportes de energía para los procesos de aireación.
- Los lodos generados durante el metabolismo aerobio necesitan ser tratados y eliminados.

Otro factor importante a tener en cuenta a la hora de seleccionar un tipo u otro de tratamiento es el límite de vertido impuesto a las distintas instalaciones en función del vertido final y de la legislación en materia de aguas residuales que afecta a cada municipio o comunidad autónoma (3).

Si se comparan las características de un efluente de una industria cervecera con los límites a colector municipal, se observa que en general hay que reducir la carga orgánica al menos en un 50 - 60%, y para ello hay que recurrir a un pretratamiento seguido de un tratamiento biológico. Cuando se trata de un vertido a cauce, se requieren, generalmente, rendimientos de eliminación de materia orgánica de más del 95%, ya que el límite de vertido es mucho más restrictivo, y la única forma de conseguirlo es mediante un pretratamiento y un tratamiento biológico aerobio en dos o más etapas, o bien anaerobio/aerobio, donde se precise incluso, en algunas ocasiones, de un tratamiento terciario (1).

Pretratamiento

Desbaste

El pretratamiento consiste en un desbaste de gruesos mediante rejillas de 5 - 10 mm para separar los residuos más gruesos como pueden ser papeles, plástico, etc., seguido por un desbaste fino en tamices filtrantes de 0,5 - 1 mm donde se separa la mayor parte del bagazo y fibras de papel. Las tierras de diatomeas o kieselguhr, empleadas en los filtros para la clarificación de la cerveza, atraviesan estos tamices finos y si no son separadas, en fábrica, práctica cada vez más extendida, se deben separar por medio de una decantación primaria (1). Es muy importante la correcta gestión y eliminación de las tierras de diatomeas una vez

usadas ya que desde el punto de vista de la salud, son consideradas como un residuo peligroso (10). Existen alternativas en cuanto a la gestión de este tipo de residuo (lodos de kieselguhr), debido, entre otras razones, a que su uso presenta serias complicaciones ambientales, sanitarias y económicas, ya que para los procesos de filtración o clarificación de la cerveza se emplean grandes cantidades de este medio filtrante (1 - 2 g/L de cerveza clarificada (8). Los lodos de tierra de diatomeas pueden ser usados como abono en agricultura o como material de construcción, pueden ser también regenerados química y térmicamente, y finalmente pueden ser eliminados en vertederos (21).

Desde un punto de vista económico, el consumo de tierra de diatomeas y la disposición de sus lodos generan el coste principal del proceso de la filtración. Las distintas vías de disposición de sus lodos están en la agricultura y el reciclaje, como se ha visto anteriormente, con un coste medio de 170 €/ t. Existen técnicas alternativas para los procesos de filtración y clarificación que reducen los problemas inducidos por los kieselguhr como son la regeneración de las tierras de diatomeas o los procesos de membranas como alternativa al uso de este medio filtrante en la clarificación, donde se reduce directamente el volumen de residuos generados e indirectamente el consumo de agua (10).

Homogeneización/ Preacidificación

Posteriormente se coloca un depósito de homogeneización para laminar puntas de caudal, de concentración, así como de pH, donde se evitan cambios bruscos que puedan llegar a afectar el funcionamiento de los procesos biológicos situados aguas abajo. La homogeneización se lleva a cabo en una balsa mediante agitación. Cuanto mayor sea el volumen de estos depósitos mejor, ya que nos permitirá amortiguar derrames o descargas accidentales, así como almacenar las aguas durante el fin de semana (fábrica parada), para ser tratadas el lunes. No se debe trabajar con tiempos de retención demasiado elevados (depósito lleno), ya que conducen a una excesiva acidificación de las aguas y a problemas de olores si estos no se controlan debidamente (tanques cubiertos, agitación mediante difusores de aire, pH por encima de 9) (1).

En dependencia de las características de los efluentes, una balsa de emergencia permite amortiguar las variaciones de pH. Cuando el pH es menor de 5 ó mayor de 11 el vertido se

almacena en este tanque de emergencia. Una vez almacenados, estos vertidos son bombeados de forma controlada al tanque de homogeneización. De esta manera se consigue neutralizar el efluente sin afectar al proceso biológico y reducir considerablemente los consumos de ácido y sosa para su neutralización (1).

Por último, como paso previo al bombeo al digestor, que trabaja en un rango de pH en torno a 6 - 7, el efluente se puede acondicionar en una tercera balsa donde se produce un proceso de preacidificación. Dicha preacidificación se alcanza mediante uno de estos tres métodos (3).

- Parte del efluente de salida del reactor anaerobio se puede recircular con el fin de ahorrar sosa de neutralización, mediante el aprovechamiento de la alcalinidad producida en el tratamiento aerobio.

- Neutralización biológica espontánea. El pH en la balsa de preacidificación puede descender sin aporte de reactivo ácido, debido a la hidrólisis de la materia orgánica. Este efecto es difícil de controlar pero hace disminuir las necesidades de aporte de reactivos a los efluentes básicos. Para conseguir el efecto de neutralización biológica el tiempo de retención hidráulica resulta un factor limitante.

- Por adición de reactivos. Cuando no se puede obtener el nivel de pH óptimo por los métodos anteriores, hay que recurrir al empleo de reactivos. Tiende a emplearse el vertido contenido en la balsa de emergencia y existe una reducción en el consumo de reactivos.

1.2.1 Tratamientos biológicos de aguas residuales

El tratamiento biológico de aguas residuales es un proceso que parece simple en la superficie ya que utiliza procesos naturales para ayudar a la descomposición de sustancias orgánicas, pero en realidad, es un proceso complejo que se ubica en la intersección de la biología y la bioquímica, y que no es comprendido en su totalidad.

Los tratamientos biológicos dependen de las bacterias, nematodos y otros pequeños organismos que descomponen los residuos orgánicos mediante procesos celulares normales. Las aguas residuales contienen generalmente una colección de materia orgánica, compuesta por residuos, desechos y alimentos parcialmente digeridos. También pueden contener organismos patógenos, metales pesados y toxinas.

El objetivo del tratamiento biológico de aguas residuales es la creación de un sistema en el que los productos de la descomposición puedan ser fácilmente recogidos para su adecuada eliminación. Los científicos han sido capaces de controlar y perfeccionar los procesos biológicos para lograr la eliminación óptima de las sustancias orgánicas existentes en las aguas residuales.

Estos tipos de tratamientos se utilizan en todo el mundo porque son eficaces y económicos en comparación con muchos otros procesos de tipo mecánico o químico.

El tratamiento biológico de aguas residuales es a menudo un proceso de tratamiento secundario, usado para remover los materiales remanentes luego de efectuado un tratamiento primario. En el proceso de tratamiento primario del agua, se eliminan de las aguas residuales los sedimentos o sustancias pesadas, como el aceite.

Los procesos biológicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales incluyen aplicaciones subsuperficiales, como son los sistemas de disposición en tanques sépticos o aeróbicos con una amplia variedad de tipos de aireación, donde se incluye la aireación superficial y por rociado. Los procesos de tratamiento biológico más utilizados son los de lodos activados, estanques y lagunas, filtros percoladores y los reactores de digestión tanto aeróbica como anaeróbica. Los humedales construidos y diversos tipos de filtración también son considerados procesos de tratamiento biológico.

Estos tipos de métodos de tratamiento de aguas residuales pueden dividirse generalmente en procesos anaeróbicos y procesos aeróbicos. Por “aeróbico” se entiende a un proceso en el que el oxígeno está presente, mientras que el término anaeróbico describe un proceso biológico en el que el oxígeno está ausente.

Los procesos de tratamiento aeróbicos de aguas residuales incluyen diversos tipos de tratamiento como son los de lodos activados, zanjas de oxidación, filtros percoladores, tratamientos basados en lagunas y en la digestión aerobia. Los sistemas de aireación difusa, por ejemplo, ayudan a maximizar la transferencia de oxígeno y minimizar los olores a medida que las aguas residuales son tratadas. La aireación es una de las primeras etapas del tratamiento debido a que las útiles bacterias y otros organismos necesitan oxígeno para descomponer las sustancias orgánicas existentes en las aguas residuales a tratar (27).

En la empresa Bucanero S.A. caso de estudio de la presente investigación se utiliza como tratamiento de aguas residuales un método biológico aeróbico en el que se utilizan un reactor biológico y filtros percoladores como elementos de depuración más significativos.

Reactor biológico

Un bio-reactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un bio-reactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aeróbico o anaeróbico. Estos bio-reactores son comúnmente cilíndricos y varían en tamaño desde algunos mililitros hasta metros cúbicos y son usualmente fabricados en acero inoxidable.

En términos generales, un bio-reactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propicias (pH, temperatura, concentración de oxígeno, etc.) al organismo o sustancia química que se cultiva. En función de los flujos de entrada y salida, la operación de un bio-reactor puede ser de tres modos distintos:

- Lote (batch).
- Lote alimentado (fed-batch).
- Continuo o quimiostato.
- En la PTAR de la CBSA se utiliza un reactor aeróbico continuo.

Filtros biológicos percoladores

Todos los reactores biológicos aerobios suponen la presencia de un crecimiento biológico que se mantiene en suspensión dentro del reactor. Por esta razón se denominan reactores de crecimiento biológico en suspensión. Se ha desarrollado otro tipo de reactor en el que se utiliza algún tipo de soporte del crecimiento biológico, que se mantiene fijo en él. Estos reactores se denominan reactores de crecimiento biológico asistido. Los filtros percoladores pertenecen a este tipo de reactores de crecimiento asistido (11). El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a

través del relleno y el efluente se recoge en el fondo. En el anexo 1 se presenta un diagrama de la sección típica de un filtro percolador. La capa del limo que se forma junto al relleno tiene un espesor total comprendido entre 0,1 y 2,0 mm está formado de una subcapa aerobia y de otra anaerobia, tal como se presenta en la figura 1.4.

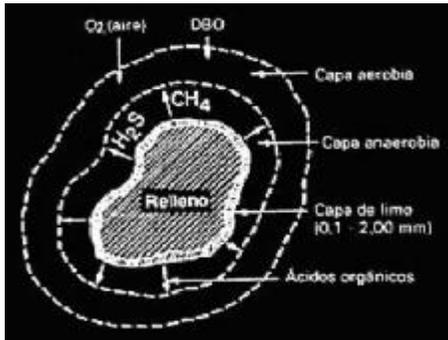


Fig. 1.4 Subcapas aerobia y anaerobia del medio filtrante de un filtro percolador:

Fuente: R.S. Ramalho.

1.3 Caracterización de la empresa cervecera Bucanero S.A. en Holguín

Cervecería Bucanero S.A. (CBSA), ubicada en Circunvalación Sur Km. 3 ½, es una fábrica cubana construida en colaboración con la antigua República Democrática Alemana. Inicialmente su nombre fue Cervecería Mayabe. Es la productora de las cervezas cubanas de clase mundial. La casa matriz se encuentra en la ciudad de La Habana y su planta de producción en Holguín, una típica ciudad cubana al este de Cuba que disfruta del agua de la mejor calidad del país. La creación de la cervecería comenzó a finales de la década de los 80 (año 86) con tecnología alemana completamente y fue inaugurada el 24 de octubre de 1990. Para estar acorde con la creciente popularidad de sus marcas, la instalación, de 80 389 m² ha transcurrido por un proceso continuo de mejoras e incorporación de nuevos y modernos aditamentos lo que permite que hoy por hoy sea Bucanero la cervecería más automatizada de Cuba.

Desde mayo de 1997 esta entidad se convierte en una empresa mixta, entre la Corporación Alimentaria S.A. - compañía del Ministerio de la Industria Alimentaria de Cuba - y la entidad canadiense Cerbuco Brewing Inc., (subsidiaria de Interbrew N.V. compañía belga) ubicada entre las mayores productoras de cervezas del mundo con el objetivo de ofrecer a los

conocedores una auténtica cerveza cubana, vendida en 21 países y producida de acuerdo con los más selectivos criterios en el mundo. Desde este momento cambia su nombre de Cervecería Mayabe a Cervecería Bucanero S.A hasta el día de hoy.

Bucanero posee una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la cual fue creada en el año 1992. Inicialmente fue concebida como una planta de pretratamiento para un posterior tratamiento pero se le han incorporado pasos a su proceso tecnológico inicial para llegar a lo que es actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Bucanero.

1.3.1 Caracterización de la PTAR en la Cervecería Bucanero S.A.

La planta de tratamiento de residuales (PTAR) en la Cervecería Bucanero S.A. (CBSA) se encuentra situada muy cerca de la circunvalación de Holguín, a unos 180 m de la fábrica de cerveza y en una cota topográfica 7 m inferior al nivel del piso terminado de la cervecería que es de 120,15 m, en dirección sur.

Reseña general del proceso de depuración de la planta:

El residual llega a la planta por gravedad a través de una tubería de hormigón armado de 20 pulgadas de diámetro.

Se somete el residual a un pretratamiento y posteriormente a una depuración biológica. Los pretratamientos son los primeros pasos que se siguen en la limpieza de las aguas residuales y tienen como objetivo preparar el líquido para que el proceso biológico posterior sea más eficiente, y además al separarse una parte de los sólidos suspendidos totales se disminuye la DBO_5 y se protegen las bombas y equipos que se son parte de su proceso tecnológico.

En el tratamiento biológico es posible eliminar la mayoría de los sólidos que se encuentran disueltos y en forma de material fino suspendido que no pueden ser evacuados con los tratamientos previos.

1.3.1.1 Pasos del proceso tecnológico de la PTAR: Descripción

Los pasos del proceso tecnológico por diseño inicial nuevas incorporaciones son:

Rastrillo mecánico y manual (Rejillas de retención de sólidos)

Se trata de dos rejas curvas de 10 mm de abertura entre barras que tienen un ancho de 500 mm y están instaladas en canales paralelos justo a la entrada del agua residual a la PTAR (ver anexo 3). Estas permiten la separación de los sólidos gruesos que puedan llegar a la planta (granos de levadura, afrecho, pedazos de cristales, latas, etc.). Una de estas rejillas consta por diseño de un rastrillo mecánico, el cual el encargado de separar automáticamente los sólidos que se retienen en ella. Estos sólidos se depositan en un contenedor de sólidos para su posterior recogida. La otra rejilla es manual y está diseñada para usarse sólo cuando se necesite realizar alguna operación en la rejilla mecánica que necesite la ausencia de líquido.

Desarenador

Se utiliza para la extracción de arenas y sólidos pequeños de residual crudo. Consta de dos canales abiertos con un ancho de 0,7 m, un largo de 13,6 m y una capacidad de 3,6 m³ y pueden ser aisladas por un sistema de compuertas a la entrada y salida de los canales. El fondo de estos canales está formado por tres capas de elementos filtrantes que recubren un tubo de barro nitrificado de 8 pulgadas de diámetro por donde se extrae el agua remanente, la cual va a parar a una cisterna donde es posible succionarla con una bomba reloj y enviarla a otro desarenador.

Al final de cada canal se encuentra un vertedero proporcional que garantiza que la velocidad del flujo de residual por el desarenador se mantenga constante y el tiempo de retención sea de 1 - 2 min.

Medidor de caudal

Los canales de desarenado se reúnen en un punto y el residual es conducido a través de un canal abierto de 0,6 m de ancho, hasta el medidor de flujo Parshall, el cual puede medir caudales entre 5 y 300 m³/h y en su garganta tiene un ancho de 0,2 m. El elemento sensor y transmisor es del tipo ultrasónico y está ubicado en el propio canal de medición.

Tanque de neutralización

Tiene una capacidad de 39,4 m³ y el tiempo de retención de agua es de 11 - 23 min. Consta de un sistema de aireación. En este tanque se cumplen dos funciones por diseño: neutralizar

el pH del residual en caso de que este sea nocivo para el proceso biológico mediante la adición de un ácido (ácido nítrico) o de una base (sosa cáustica), se añaden nutrientes que el residual tiene en déficit para de esta forma aumentar la eficiencia en el tratamiento biológico (ver anexo 4).

Tanque de ecualización

Tiene una capacidad de 83 m³ y el tiempo de retención hidráulica es de 24 - 47 min, consta de un sistema de aireación para cumplir con su función. Tiene como objetivo acabar de homogenizar el residual neutralizado e igualar las diversas concentraciones de DBO₅ y de pH, en un período de 50 - 60 min.

En este tanque se encuentran las primeras bombas en el flujo tecnológico y mediante estas se impulsa el residual hacia el tamiz rotatorio. Al ecualizador llega también el sobrenadante del espesador para su repurificación (ver anexo 5).

Tamiz rotatorio

Utilizado para la separación mecánica de las impurezas finas o pequeñas menores de 1 mm. Este tiene 1 m diámetro y 2,5 m de largo donde una malla filtrante está contenida en un tambor rotatorio (ver anexo 6). Los sólidos quedan adheridos a la malla, los cuales son raspados por un rascador fijo que los expulsa hacia una tolva anexa al tamiz, para caer finalmente en un contenedor móvil que será transportado fuera de la PTAR.

Filtro biológico

Es donde ocurre el proceso biológico de oxidación de la materia orgánica, por la acción microbiana. Su efecto de depuración del residual por la evacuación de los sólidos disueltos y del material fino suspendido se mide en conjunto con el sedimentador secundario. La carga hidráulica superficial de la alimentación del filtro es de 0,8 – 2 m³/m²*h.

El cultivo fijo del biofiltro consiste en la fijación de microorganismos que se adhieren al material soporte que es inerte y se genera una capa o bio-película con una elevada concentración de biomasa.

Consiste en dos torres cúbicas de hormigón armado empacadas con planchas corrugadas de plástico. Cada torre tiene 81 m² de área superficial y 9,2 m de altura por diseño.

El residual previamente tamizado cae en uno de los prismas triangulares de cada torre, donde al subir el nivel, penetra por una tubería de alimentación que lo conduce hasta el distribuidor central rotatorio, situado sobre un pilar central. El líquido sube por el centro del distribuidor, donde se distribuye equitativamente y radialmente a través de sus brazos distribuidores rociadores. El agua sale a presión por perforaciones que tienen los brazos (aspersores), para rociar radialmente toda la superficie del lecho. La acción del agua al salir de los aspersores, en virtud de la carga hidráulica del líquido sobre los brazos, hace que la reacción de los chorros simultáneos accionen los distribuidores y estos giren lentamente, donde se efectúa un rociado uniforme del agua residual (ver anexo 7).

El residual pasa a través de las planchas corrugadas, sobre las cuales se ha formado una película microbiana que toman del agua los nutrientes y la materia orgánica y del aire el oxígeno donde a su vez se expulsa al medio ambiente gases como metano (CO₄).

Esta película tiene una capa anaeróbica que se encuentra en contacto con el medio de soporte plástico o empaque y una capa aeróbica que se encuentra por encima de la capa anaeróbica y se encuentra en contacto con el aire.

En el filtro se establece un sistema de ventilación natural debido a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de este. Al filtro también llega la recirculación del líquido ya tratado con el objetivo de aumentar el grado de depuración y diluir la DBO₅ alimentada.

El éxito o fracaso, en cuanto aprovechar la capacidad depurativa de estas instalaciones, depende de factores fundamentales como:

- Tiempo de retención hidráulico, recirculación.
- Carga másica de aporte.
- Caudal de aporte.
- Estado de la biopelícula.

Tanque selector de bacterias

Es una estructura tipo cisterna a techo abierto con dimensiones interiores de 5 m de largo, 4 m de ancho y 3 m de profundidad. Se le llama selector de bacterias pero la verdad es que su función principal es la de servir como estación de bombeo (E.B₂) para alimentar al reactor aeróbico. Su mecanismo de encendido automático de la bomba se acciona a 1 m con respecto a la superficie y se apaga 1 m más abajo. Esto nos indica que el volumen nominal total a evacuar es de 20 m³ por cada régimen de bombeo (ver anexo 9).

Reactor biológico

Se trata de una estructura tipo tanque cilíndrico de 1000 m³ de capacidad total. El mismo es el encargado de crear biomasa en suspensión para dar una terminación al proceso de depuración de la planta. Para realizar su función es necesario un sistema de aireación (ver anexo 10).

Sedimentador secundario

Consiste en un tanque circular de hormigón de 20m de diámetro en cuyo interior hay una columna central de hormigón soportada por 4 patas. Sobre esta columna gira un puente móvil. La capacidad es de 710m³. El bombeo de lodos al espesador arroja un flujo de 40-50m³/día, la carga superficial de alimentación al sedimentador debe estar entre 0,33 y 0,9 m³/m²*h y el tiempo de retención es de 2-4 horas (ver anexo 11).

Espesador de lodos

Tiene como objetivo concentrar los lodos para que se envíen a los lechos de secado con el menor porcentaje de humedad posible. Consiste en un tanque circular de hormigón de 7m de diámetro y que está semienterrado. Tiene una capacidad de 120m³ y el tiempo de retención hidráulica es de 2 - 3 días (ver anexo 12).

Se bombea 18 - 20 m³/día de lodos por lo que se requiere arrancar temporizadamente la bomba una vez cada 8 horas o una vez al día.

Lechos de secado

Es donde tiene lugar la disposición final del lodo producido en la PTAR. Los lodos son secados por evaporación y drenaje del agua. Tiene un área útil de 1105 m² y una capacidad de 325,5 m³, el tiempo de retención es de 18 días y se pueden recoger 1 - 5 m³/día de lodo relativamente seco con una humedad aproximada de 40 - 50% por lo que hacia el lecho es bombeado 18 m³/día de lodos espesados, se tiene entonces 16,5 m³/día de licor filtrado (ver anexo 13).

Consta de 12 compartimentos a los que se puede hacer llegar, por bombeo los lodos espesados y con distribución por una tubería de 6 pulgadas de diámetro que circunda el lecho y hace verter el lodo cada dos compartimentos situados a los bordes del lecho. Además existen vertederos de reboso entre los compartimentos, de forma tal que el fango se distribuya uniformemente.

Una parte del agua contenida en los lodos se evapora y otra parte, filtra a través de diferentes capas cayendo a un filtro de hormigón con pendiente, es recogida por tuberías de drenaje de barro, colocadas en el fondo del canal. Esta tubería conduce esta agua que drena hacia el ecualizador.

Otras etapas que influyen en el proceso tecnológico

Existen otros elementos que no pueden ser clasificados dentro del flujo tecnológico pero que indirectamente forman parte de él. Estos son:

- Tanque de ácido nítrico y de sosa cáustica
- Tanque madre de sosa caustica
- Pozo colector que alimenta al sedimentador secundario
- Pozo de recirculación
- Pozo de lodos si espesar
- Pozo de lodos espesados

1.3.1.2 Evolución operacional y constructiva de la PTAR de la CBSA

Durante la puesta en explotación de la planta se le han agregado o cambiado algunos pasos de su proceso tecnológico como:

Cambio de una criba de barras anteriormente existente de 16 mm entre barra y barra destinada para la eliminación de los sólidos mayores de ese tamaño por el rastrillo mecánico y uno manual de 10 mm de paso permisible.

Se cambió el método de neutralización que anteriormente se hacía con la adición de sosa cáustica (NaOH) y ácido nítrico (HNO₃) por la neutralización con ácido clorhídrico (HCl) debido a que es más económico y a la vez igualmente eficiente, esto se debe a que en ocasiones, debido a procesos de limpieza se utiliza sosa cáustica y el agua residual viene normalmente con un pH básico y no necesita de este químico para su neutralización. En ambos casos con un suministro de manera automática por medio de una sonda de pH reguladora con un rango de trabajo de 2 - 12 de pH.

Se cambió el relleno de los biofiltros de ser de forma rectangular a ser de forma circular el empaque debido a que el empaque circular proporciona una mayor área específica (m²/m³) y por consiguiente un aumento de la biomasa (ver anexo 8).

Se construyeron un reactor aeróbico (tanque de níquel) y un selector de bacterias al lado de los biofiltros que recoge y bombea el agua proveniente de los mismos hacia el reactor para su posterior tratamiento.

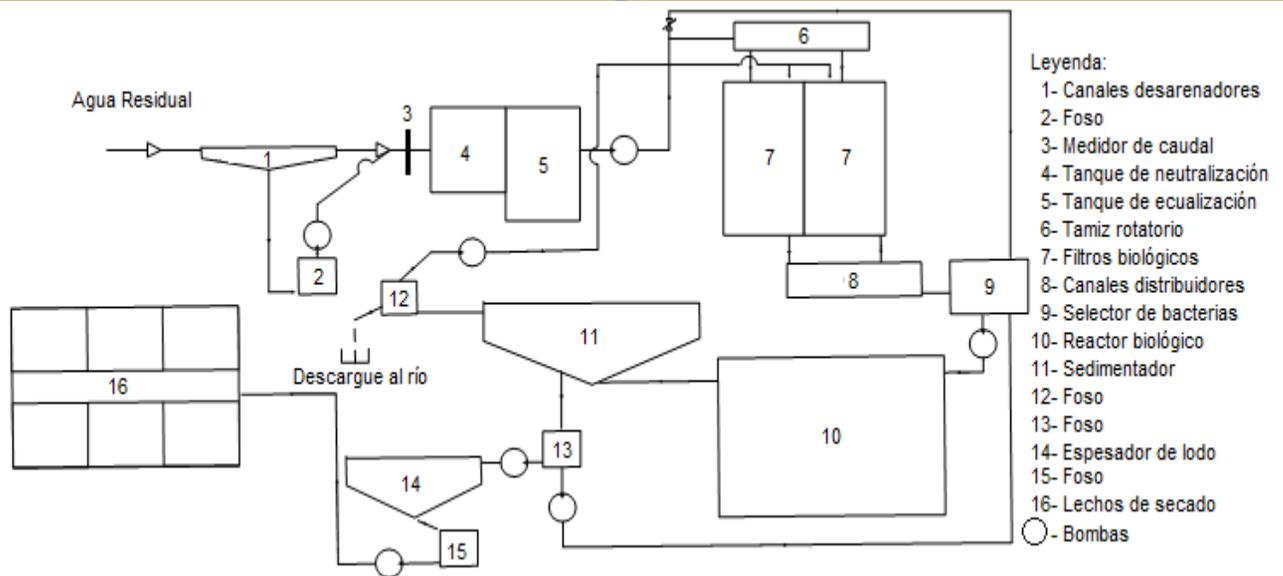


Fig. 1.7 Sistema de depuración actual en la CBSA.

Fuente: Manual de especificaciones de la PTAR de Bucanero S.A y edición propia.

Algunas características comunes en la industria cervecera en estudio, permiten comprobar la gran variabilidad en las características de las aguas residuales generadas en la industria las cuales provienen, tanto de la fabricación de malta y cerveza, como de los lavados y limpieza de equipos, instalaciones y envases. Estas son:

- Volumen de generación elevado y caudal variable a lo largo de los meses.
- Marcado carácter orgánico (elevada DQO y DBO₅).
- Biodegradabilidad elevada (DBO₅ /DQO >0.6).
- Gran parte de la materia orgánica está en forma soluble.
- Presencia de sólidos en suspensión.
- Ocasionalmente, pueden tener pH extremo debido a operaciones de limpieza.

El agua residual tratada en la PTAR de la CBSA se vierte finalmente en una conductora principal de alcantarillado que se encuentra a 600 m por la parte sur de la planta y se mezcla con las aguas comunales de la ciudad de Holguín donde se trata por medio de una laguna de oxidación y luego su disposición final es en una cuenca que termina en el río Cauto el cual es de gran importancia para la región oriental del país. Es por esto que la calidad del efluente

debe ser la mejor posible y al regirnos por la NC: 27:2012 tenemos que los parámetros máximos permisibles son:

Tabla 1.2: Parámetros máximos permisibles del agua residual de Bucanero.

pH	6.5 - 8.5
Conductividad eléctrica	1400 μ S/cm
Temperatura	40 °C
Aceites y grasas	10 mg/l
Materia flotante	Ninguna
Sólidos sedimentables totales	1 ml/l
DBO ₅	30 mg/l
DQO (Dicromato)	70 mg/l
Nitrógeno total (kjd)	5 mg/l
Fósforo total	2 mg/l

Fuente: NC: 27:2012

El actual vertido y carga contaminante se obtienen por los controles a diario que se realizan en la planta.

Tabla 1.3: Resumen anual de controles de la DQO (2009-2016) de la CBSA.

Años	DQO Entrada (mg/l)	DQO Salida (mg/l)	Eficiencia %
2009	3439,00	1932,00	43,82
2010	7254,00	4640,00	36,04
2011	5694,00	2314,00	59,36
2012	4369,00	1802,00	58,75
2013	3973,33	1769,58	55,46
2014	4059,55	1754,99	56,77
2015	3018,22	1160,82	61,47
2016	0,00	0,00	0,00

Fuente: Resumen de PTAR de CBSA.

Nota: En el año 2016 no se reflejan los datos de DQO de entrada y salida debido a que la planta no depuró producto a averías que se presentaron.

Tabla 1.4: Características físico-químicas de las aguas residuales de la CBSA para una producción máxima de cerveza de 6900 hl/día y una descarga de agua de 7,7 hl/hl.

Parámetro	Unidad	Afluente
DQO	mg/l	1792
DBO	mg/l	1039
SST	mg/l	500 – 750
N total	mg/l	0 a 30
P total	mg/l	0 a 10
PH	-	4 – 12
temperatura	°C	25 - 35°C

Fuente: Manual de especificaciones de la PTAR de la CBSA.

Como otra característica del agua residual de la CBSA tenemos que la coloración de esta varía. Comúnmente el agua que llega a la planta es de color gris clara. En momentos no muy prolongados del día y no todos los días cambia esta coloración a roja-carmelita y a color aceite para vehículos, esto se debe a algunos procesos ocurridos en la fábrica como por ejemplo la limpieza de los filtros de clarificación de la cerveza y descargas producidas en el proceso de cocción.

Debido a la comparación de los parámetros de vertido de la planta al río Cauto con la NC: 27:2012 se hace necesaria la evaluación y análisis de la PTAR de la CBSA.

Conclusiones del capítulo

1. El tratamiento de residuales en la empresa cervecera Bucanero S.A. es un proceso complejo que exige recursos y competencias organizacionales que aporten capacidades para desempeñarse en el entorno en que se desenvuelven.
2. Las aguas residuales de la CBSA aportan una elevada carga orgánica a la cuenca del río Cauto.
3. Se debe realizar una formación adecuada para la explotación y operación de la depuradora, en función de la alcanzar óptimamente el proceso de tratamiento de residuales.

CAPÍTULO II. EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA CBSA

2.1 Situación actual de la PTAR de la Cervecería Bucanero S.A.

El volumen de agua residual que se genera en Bucanero es el total consumido menos el incorporado al producto final, siempre que se tenga en cuenta que hay una parte que se evapora en las operaciones de producción y servicios auxiliares y otra que es absorbida en la matriz de los residuos sólidos generados.

Los puntos en los cuales se plantea incidir para lograr una mejora del proceso, son los que describimos a continuación. Los mismos presentan problemas o son insuficientes para el caudal y carga contaminante que deben tratar:

Rastrillo mecánico y manual (rejillas)

En esta fase existe un problema operacional y es que por diseño se tiene que una de las dos rejillas posee un rastrillo automático y en estos momentos las dos rejillas son de recogida manual por parte de los operarios con un rastrillo de níquel, el cual es bastante pesado y el trabajo con él se hace difícil.

Canal de desarenado y desbaste

El canal de separación de arenas se limpia actualmente de forma esporádica, de él se retira el exceso de arenas sedimentadas con el personal de la planta de forma manual.

Tanque de neutralización

Normalmente esta fase se realiza correctamente. En esta etapa se agrega HCl de manera controlada por una sonda de pH la cual regula la cantidad de ácido que se vierte al agua residual. El pH que sale de este tanque se mide antes de llegar al tanque de equalización y está comprendido entre 6 y 9, ideal para los tratamientos biológicos. El mecanismo mezclador (aireación) funciona perfectamente. Actualmente hay un equipo Endress-Hauser con el fin de neutralizar, además de un sistema de acumulación de ácido y base con sus bombas dosificadoras desde tanques guardados sigilosamente.

Tanque ecualizador u homogeneizador

Su tamaño no es el más adecuado para realizar esta función pues su volumen es de 83 m³ cuando debería ser de 1500 m³ para poder albergar en el toda el agua residual máxima de un día completo de producción. No obstante a eso sus aireadores mezclan correctamente el agua residual que a él llega aunque algunos de sus agujeros se encuentran tupidos. Se detecta como mayor problema visible el no funcionamiento de sus dos bombas establecidas por diseño. Solo existe una, la cual en no pocas ocasiones se avería y conlleva a que se detenga el proceso de evacuación del agua de este tanque por las bombas y se interrumpen todos los procesos de la planta que se realizan luego de la ecualización.

Se ha podido apreciar que en las condiciones actuales no se consigue un buen rendimiento con la bomba existente, aún cuando esta está en funcionamiento, debido a que no aporta la fuerza (capacidad) necesaria para poder mover los brazos mecánicos de ambos filtros biológicos.

Capacidad actual de la bomba existente:

Para realizar este cálculo se esperó a que la bomba arrancara y desde ese momento se apuntaron los caudales por minutos aportados por el medidor de caudal Mettler Toledo y observados en la pantalla Endress-Hauser que está ubicada en la sala de operaciones. El bombeo terminó a unos 28 min luego de que arrancara la bomba y el promedio de gastos en esos 28 min fue de ± 49.54 m³/h. El régimen de bombeo es automático por medio de controles de nivel eléctricos situados cerca de estas bombas los cuales arrancan y paran cuando la superficie del agua hace contacto con estos dispositivos, los cuales están separados entre sí a una distancia de 0.6 m. Como las dimensiones en planta son de 11x4 m² entonces el volumen que se bombea automáticamente durante cada régimen de bombeo es de 26.4 m³.

$$C_{bomba} = \frac{26.4}{28} \pm 49.54 = \pm 106.11 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.1)$$

$$C_{bomba} = 100-110 \text{ m}^3/\text{h}$$

Nota: Actualmente según la capacidad de la bomba no deberían existir caudales mayores a esta capacidad que lleguen al ecualizador, lo cual no ocurre en muchas ocasiones y la bomba tiene que sobre trabajar y se avería.

Tamizado

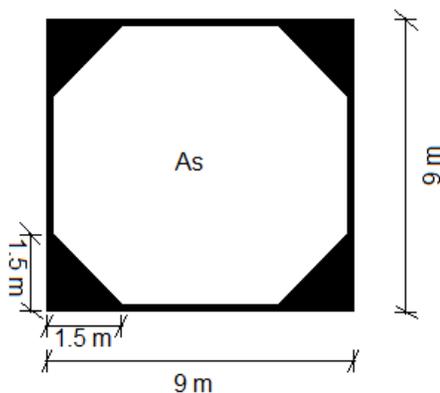
El tamiz rotatorio cumple perfectamente con sus funciones por diseño solo que la tubería que conduce los sólidos que él retiene se encuentra en mal estado debido a los efectos de la corrosión. Para nuestra propuesta está en perfectas condiciones operacionales.

Bio-filtros o reactores de lecho fijo

Según datos históricos y comprobaciones experimentales sabemos que la eficiencia de la planta en general no supera el 60% lo que nos indica que la depuración no se realiza de manera idónea. Se ha comprobado que la eficiencia de los biofiltros, como fase de depuración más significativa, no supera el 50% como promedio.

Por diseño se dice que el área superficial es de 81 m² pero es evidente que no tuvieron en cuenta la vista en planta de estas instalaciones para realizar este cálculo:

Esquema 2.1 Vista en planta de la estructura de un biofiltro.



Fuente: Elaboración propia

$$A_S = A_T - A_{Somb.} \tag{2.2}$$

$$A_S = 9 * 9 - \frac{1.5 * 1.5}{2} * 4 = 76.5 \text{ m}^2 \text{ de área superficial real.}$$

Nota: Todos los cálculos se realizaron con esta área superficial real para acercarnos mejor a lo que sucede y pueda acontecer en verdad.

Problemas que se presentan en los filtros:

No existencia de una circulación continua en ambos filtros debido a que en ocasiones se avería la única bomba que posee el ecualizador.

La capacidad de depuración en el mismo es inexistente por razones ligadas a la no presencia de bio-película, además de una operación no adecuada.

Al no existir esta necesaria circulación continua el mecanismo de rotación se daña debido a que se seca el efluente en su interior y se tupen los agujeros de los esparcidores (brazos giratorios) y pierde su funcionalidad, además sucede que el soporte de los esparcidores es de hierro y se nota la pérdida de su capa inoxidable por lo que se encuentra muy oxidada.

Al no funcionar correctamente el mecanismo de rotación estamos en presencia de la no existencia de una capa de biofilme y por consiguiente de un mal rendimiento de los biofiltros.

Para una filtración en dos etapas se necesita que uno de los dos biofiltros posea o bien una capa de relleno que permita menos libertades al agua residual y disminuya la velocidad de filtración o una rejilla en toda su área que logre esta disminución de velocidad.

Las barandas están totalmente oxidadas lo cual hace peligrosas las acciones de operación.

Algunas paredes se encuentran dañadas producto a una humedad descendente debido al riego del agua por los esparcidores.

Tanque selector de bacterias

La bomba que este posee no logra evacuar a tiempo toda el agua residual, lo cual provoca en ocasiones que se estanque el agua en el tanque e incluso en los canales distribuidores de los biofiltros por la teoría de los vasos comunicantes. Esto se debe a que la capacidad de la bomba (50 m³/h) no es la necesaria para esta fase.

Este tanque no posee mecanismo de remoción del agua residual por lo que parte del fango que acompaña al agua residual se sedimenta en él, lo cual provoca un ambiente anaeróbico poco aprovechable y dañino para los demás procesos del tratamiento.

Por lo anteriormente descrito existe una generación muy concentrada de NH_4 en este lugar, lo cual provoca la muerte de aves e insectos que se acercan a este. Esto se ha podido observar en varias ocasiones.

El tanque no posee una baranda para la seguridad de los operarios y personal que a este lugar llega.

Reactor aerobio de biomasa en suspensión

En su diseño inicial contaba con una turbina de aireación vertical, la cual según los operarios se averió producto a las vibraciones que ella misma creaba. En estos momentos no funciona, no tiene arreglo y se encuentra a flote encima del reactor.

Al no poseer un mecanismo de aireación su capacidad de depuración es nula y posee una parte de residual que trabaja anaeróticamente a la vez que el fango se sedimenta en él. El agua residual entra por encima, justo al lado de donde sale, lo cual no es conveniente porque no se mezcla como se necesita. Todo esto trae consigo que la calidad del agua que sale del reactor puede llegar a ser peor que la calidad de la que entra.

Estas condiciones aparejadas a negligencias (falta de tuercas en algunos de sus tornillos) nos llevan a que el tanque se encuentre dañado estructuralmente en sus partes inferiores.

Sedimentador secundario

Su buen funcionamiento se ve condicionado por el reactor aerobio el cual al no funcionar como debe trasmite mucha carga contaminante a éste y esto es evidente tanto física como químicamente.

La estructura en su rebosadero (desagüe de fango) no es la más favorable debido a que puede causar obstrucciones con el mismo fango y por ende no funcionar como debe.

Al verse afectado con un aumento de la carga contaminante y/o una posible obstrucción en el rebosadero, el motor del mecanismo de remoción tiene que sobre trabajar y se daña como ha ocurrido en varias ocasiones y de esta manera no funciona como debe funcionar un sedimentador en sí y crea un ambiente desfavorable para el correcto tratamiento.

El mismo no posee ningún mecanismo de retención y separación de sólidos en suspensión.

Espesador de lodo

Los elementos de hierro que esta posee así como otros metales oxidables se encuentran corroídos y pueden llegar a sufrir algún fallo y no permitir que el espesador de lodos funcione como se espera. Debido a esto se hace peligroso el trabajo a la hora de arreglar el motor del espesador debido a que el puente es de hierro.

Lechos o terrazas de secado

Se ha podido observar que su funcionamiento es como se espera solo que con las averías que sufre la planta a estas terrazas no se bombea lodo con frecuencia.

2.2 Evaluación del diseño de la planta de tratamiento de residuales en la empresa cervecera Bucanero S.A.

Durante la investigación se realizó una evaluación del diseño de la planta de tratamiento de residuales, como referencia se tomaron algunos resultados de una auditoría realizada a la Empresa Bucanero S.A por la firma ROWEKO en diciembre de 2016.

El tanque de equalización consta por diseño de dos bombas las cuales tienen la función de transmitir el agua residual neutralizada y equalizada hacia el tamiz rotatorio, la cual posteriormente cae en los filtros para su filtración por percolación. En la realidad tenemos que solo existe en funcionamiento una de estas dos bombas necesarias, la cual se rompe con frecuencia y no siempre se utiliza para bombear hacia el tamiz rotatorio sino que solo para bombear directo al desagüe final, por lo que no se trata el efluente debidamente.

La biopelícula en los empaques de los biofiltros no presenta en la zona superficial una gran actividad y densidad de microorganismos.

Por lo anterior dicho se infiere que los filtros percoladores no funcionan debidamente y se ha comprobado que los mismos muestran desprendimiento en el relleno de la capa de limo, porque además de que no siempre se le bombea agua, cuando se bombea no giran los brazos giratorios, los cuales son los encargados de esparcir el agua uniformemente por toda el área superficial de los filtros.

No se hace un buen uso del reactor aerobio el cual no consta de un adecuado dispositivo de remoción. O sea que su uso causa efectos negativos al proceso de tratamiento debido a que ocurre un proceso anaeróbico no deseado.

El sedimentador secundario tiene en uso su mecanismo de remoción pero en ocasiones no consta de circulación de agua como se ha expuesto y por lo tanto las aguas que en él se encuentran están totalmente contaminadas y llenas de lodo lo cual pudiese obstruir al mecanismo de remoción y por consiguiente averiarse.

No se bombea lodo a los lechos de secado desde el espesador de lodo debido a la no circulación de los lodos producto al mal rendimiento del sedimentador secundario.

2.2.1 Análisis de las aguas residuales de la CBSA

Durante nuestra investigación se tomaron valores de pH y temperatura medidos automáticamente en el tanque de neutralización y se realizaron ensayos de DQO a diferentes muestras, además se les hicieron preguntas a los operarios de la PTAR sobre sus ensayos de sólidos sedimentables. Solo se pudieron obtener estos valores debido a que eran los posibles de obtener en la propia PTAR, ya sea tanto de forma automática observada en una pantalla ubicada en la oficina de los operarios (pH y temperatura) como de manera experimental mediante ensayos (sólidos sedimentables y DQO). El pH estuvo comprendido entre 7.5 - 8.5 y la temperatura estuvo comprendida entre 25 - 34 °C donde en ambos casos se cumple con los valores permisibles por la NC: 27:2012. En el caso de los sólidos sedimentables los operarios coinciden en que los valores de este parámetro en el agua entrante están comprendidos entre 40 y 100 ml/l por lo que se demuestra que no se cumple con este parámetro. Por último en parte del período de realización de este trabajo de diploma se hizo un análisis exhaustivo de nuestro objeto de estudio y su funcionamiento, donde se

evaluó la calidad del efluente entrante y saliente mediante ensayos de DQO una vez por día, de lunes a viernes, durante un mes en el laboratorio de la propia PTAR.

2.2.1.1 Ensayo de DQO en la PTAR de la CBSA

Se trata de un ensayo colorimétrico por medio de un espectrofotómetro donde se hace reaccionar 0.2 ml de agua residual y un reactivo de dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) como compuestos orgánicos oxidables (ver anexo 14). Esta reacción se logra al calentar la mezcla previamente agitada 15 s en un termo reactor a una temperatura de 148°C durante 120 min. Por medio de esta reacción se reduce el ión de dicromato a un ión crómico (Cr^{3+}) verde. Luego de ser calentada la mezcla se espera a que se enfríe a temperatura ambiente y se miden los resultados en el espectrofotómetro. Para medir estos resultados se hace necesaria la existencia de un reactivo (cubeta en blanco o Blanco) para calibrar el espectrofotómetro. La confección del Blanco se realiza con la misma metodología pero se introducen 0.2 ml de agua desionizada y no de agua residual. Para conocer los resultados se introduce la cubeta en blanco en el instrumento de medición y se oprime la tecla ZERO del mismo, luego se saca esta cubeta y se introduce la cubeta de prueba y se oprime la tecla TEST, luego de esto obtenemos los resultados expresados en g/l los cuales se multiplican por 1000 para poder ser comparables con las especificaciones de la NC: 27:2012

Tabla 2.1: Valores de la DQO obtenidos en el laboratorio de la PTAR.

No. Ensayo	Fecha	Hora	DQO entrada (mg/l)	DQO salida (mg/l)
1	13/02/17	09:40	7720	4270
2	14/02/17	09:42	6640	4140
3	15/02/17	09:20	4840	3210
4	16/02/17	09:20	3720	2840
5	17/02/17	09:10	3770	2180
6	20/02/17	11:10	4660	1900
7	21/02/17	13:30	2870	1610
8	22/02/17	09:30	2000	1110
9	23/02/17	11:10	1820	2170
10	24/02/17	14:30	1090	1360
11	27/02/17	09:20	10100	2360
12	28/03/17	11:20	2270	2530
13	01/03/17	10:00	1720	2400
14	02/03/17	11:30	1870	1970

No. Ensayo	Fecha	Hora	DQO entrada (mg/l)	DQO salida (mg/l)
15	03/03/17	13:30	3110	1760
16	06/03/17	14:00	1690	880
17	07/03/17	08:00	2710	3020
18	08/03/17	09:05	1720	1450
19	09/03/17	12:30	2310	3180
20	10/03/17	10:30	4120	2290

Fuente: Elaboración propia.

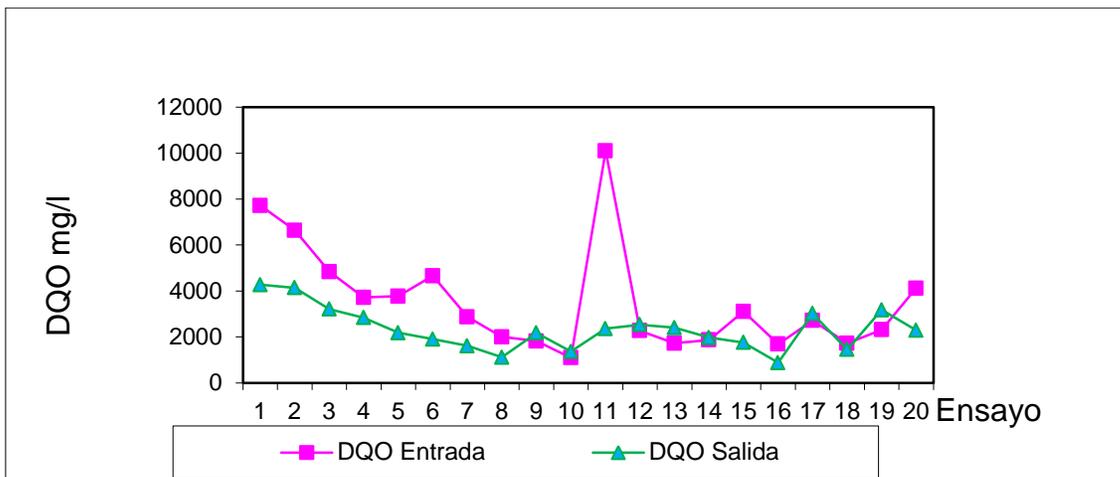


Gráfico 2.1: Demanda Química de Oxígeno del Agua Residual de la CBSA.

Fuente: Elaboración propia.

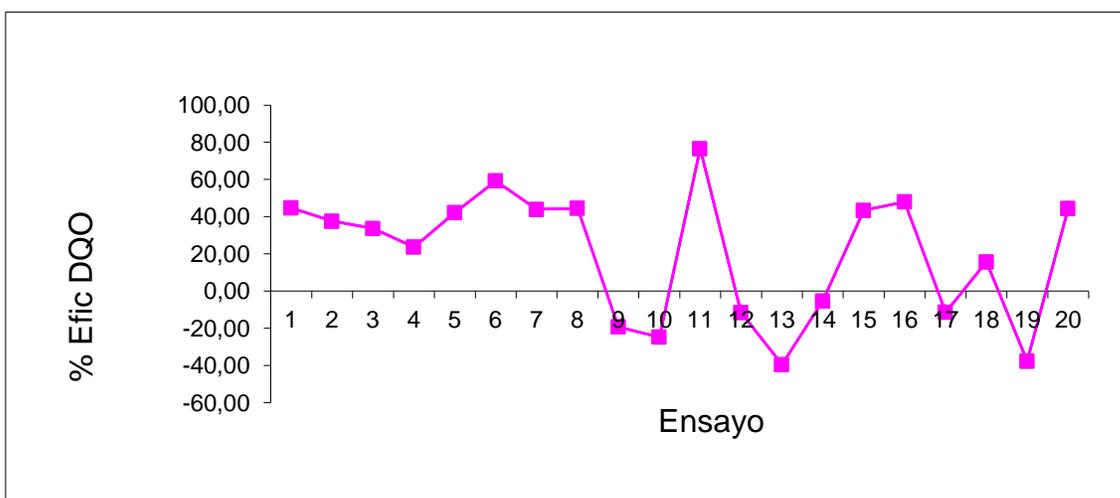


Gráfico 2.2 Eficiencia en la reducción de la DQO.

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia tanto en la tabla como en los gráficos tenemos en ocasiones valores de salida superiores a los de entrada esto se debe a dos motivos fundamentales el primero es la posibilidad de que en momentos anteriores a las tomas de las muestras los valores de DQO hayan sido superiores y el otro es la posibilidad que existe que el agua residual se contamine mucho más durante el paso por las distintas fases como por ejemplo el reactor aeróbico y el sedimentador secundario. En todo caso los análisis realizados demuestran que la eficiencia de la planta no es la esperada y los valores de salida ni se acercan al valor establecido por la NC: 27:2012 (70 mg/l). De todos modos el conocimiento de estos valores es útil para realizar la comprobación de nuestra propuesta.

A partir de la situación actual que presenta la planta se hace necesario profundizar en los principales problemas que persisten y las posibles vías para contribuir a su solución en virtud de lo cual se plantea la optimización del proceso en la planta de tratamiento de residuales para reducir la carga contaminante del agua residual del proceso, como tema de actualidad, vigencia y necesidad, y como problema científico no resuelto aún.

2.3 Propuesta de optimización para el tratamiento de las aguas residuales de la CBSA

Rejillas o rastrillo mecánico y manual

Estas funcionan correctamente con respecto a la retención de los sólidos más grandes y para estas se propone que una de ellas sea sustituida por una rejilla automática para facilitar las actividades de operación.

Desarenadores

Esta fase funciona correctamente con respecto a su funcionalidad por eso no necesita cambios y solo se propone la realización de una limpieza de estos cada 3 meses para evitar que pueda llegar arena a las demás fases.

Tanque de Neutralización

Para esta etapa solo hay que tener en cuenta que el operario deberá estar pendiente de cuando se le acaba el HCl de un tanque para cambiarlo por otro lleno.

Tanque de ecualización

Para la bomba actual se calculó su capacidad y el resultado fue de 100-110 m³/h de capacidad, cuando por diseño tenemos que su capacidad debería ser de 300 m³/h. Se conoce que el caudal máximo que llega al tanque es de 130 m³/h. Al ser este gasto mayor que la capacidad de la bomba la misma no puede evacuar a tiempo toda el agua residual a la vez que se mantiene encendida sin descanso siempre y cuando el gasto que a ella llegue sea mayor que su capacidad. Esto provoca que se pueda dañar la bomba como ha ocurrido en algunas ocasiones. La buena noticia es que este gasto máximo no es sostenido y se pudo apreciar que los gastos superiores a la capacidad de la bomba solo duran de 10-80 min.

Para nuestra propuesta se quiere que en esta fase la bomba existente posea un descanso de al menos 10 min entre bombeo y bombeo y además que el tiempo de encendido no exceda los 30 min. Para esto el gasto no debe aumentar los 50 m³/h como promedio. Como esto no se puede evitar (si se quiere tratar toda el agua residual) se hace necesario un cambio de bomba por una de mejor capacidad y se eligió una bomba de 300 m³/h de capacidad igual a la descrita por diseño la cual podrá funcionar con eficiencia incluso si aumentara la producción de cerveza y por ende la generación de un mayor caudal máximo sostenido de hasta 158.4 m³/h y poder descansar 10 min entre cada bombeo.

Tiempo máximo que estará encendida la bomba:

$$T_{eB} = \frac{V_{neca}}{C_{bomba} - V_{m\acute{a}x}} \quad (2.3)$$

$T_{eB} = \frac{26.4}{300-130} * 60 \approx 9.32 \text{ min} < 30 \text{ min (OK)}$ s.s.si el gasto máximo se sostiene por más de estos mismos 9.32 min en algún momento. Si el gasto máximo disminuye entonces este tiempo disminuirá proporcionalmente.

Tiempo mínimo que descansará la bomba:

$$T_{dB} = \frac{V_{neca}}{V_{m\acute{a}x}} \quad (2.4)$$

$T_{dB} = \frac{26.4}{130} * 60 \approx 12.18 \text{ min} > 10 \text{ min (OK)}$ s.s.si el gasto máximo se sostiene por más de estos mismos 12.18 min en algún momento. Si el gasto máximo disminuye entonces este aumentará proporcionalmente.

Otras propuestas:

Cambiar las tuberías y barandas de hierro por elementos homólogos de mejor resistencia a la corrosión (ejemplo: níquel).

Destupir los agujeros del mecanismo de aireación para que se mezclen mucho mejor las partículas y de paso para que se introduzca una mayor concentración de oxígeno al agua residual. Esto proporciona una mejor preparación del agua residual para sus posteriores fases a la vez que protege y optimiza las operaciones del aireador existente.

Filtros percoladores

El diseño de los filtros con respecto a su capacidad remanente está correcto y se puede utilizar en nuestra propuesta, solo se dan soluciones a la parte mecánica e hidráulica debido a que esa es la clave para un buen rendimiento (continua circulación de agua), ya que aquí es donde se encuentran sus mayores dificultades y además para nuestra propuesta se decidió colocar 1 m de relleno a lo que llamamos filtro o biofiltro B porque en comparación con una rejilla este relleno adicional nos proporcionará un mayor porcentaje de remoción de la DBO₅ así como también aumentará considerablemente el área de la capa de biofilme de los presente en los biodiscos.

Propuesta funcional:

Al conocer el área superficial real de cada biofiltro podemos calcular la carga hidráulica superficial (L) que cae en los mismos con respecto al gasto que a ellos llega.

$$L_A = \frac{Q_{total}}{A_S} \quad (2.5)$$

$$L_A = \frac{300}{76.5} \approx 1.1 * 10^{-3} m^3/m^2 * s$$

Se propone un diseño de filtración en dos etapas, donde en la primera etapa (filtración por el filtro A) se mantienen las características funcionales (no se producen cambios) y la carga hidráulica superficial será de $1,1 * 10^{-3} m^3/m^2 * (s)$. Para dicha carga hidráulica superficial tenemos que según el gráfico de remoción de la DBO₅ (ver anexo 2) con respecto a su profundidad de 5 m la capacidad de remoción no disminuirá el 70%. Para la segunda etapa

(filtración por el filtro B) contaremos con una capa de relleno de 1 m mayor a la de la primera etapa además de una carga hidráulica superficial menor. El agua que va a tratar nuestro filtro B será la proveniente de la E.B₁ y E.B₃, la E.B₁ será la que recoge el agua proveniente del SS₁ y la E.B₃ será la que recirculará el agua proveniente del SS₂. La E.B₃ y el SS₂ son fases propuestas para llevar a cabo la filtración en dos etapas, las mismas se describen posteriormente. De la E.B₁ se sabe que posee por diseño una bomba de 150 m³/h de capacidad y para la E.B₃ se propone la colocación de una bomba de 50 m³/h de capacidad para un gasto total de 200 m³/h, esto nos dice que para un $A_s = 76.5 \text{ m}^2$ L será de $7.26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot (\text{s})$ aproximadamente. Con dicha carga hidráulica superficial y una profundidad de 6 m la capacidad de remoción de la DBO₅ no disminuirá el 85% siempre y cuando no se vea afectado el proceso por razones operacionales.

Para nuestra propuesta se hace necesario cerrar a la mitad el canal distribuidor del agua proveniente de los biofiltros que se encuentra del lado del sedimentador secundario existente (o sea por la parte sur de la PTAR) y colocar un fondo para el filtro A con una pendiente de un 1% en dirección sur. Esto conjuntamente con un conducto situado en el fondo del canal distribuidor, al lado de la separación entre canales con una pendiente descendente en dirección al SS₁ será necesario para recoger toda el agua residual proveniente del filtro A.

Para el filtro B:

Los rellenos existentes tienen un diámetro máximo de 20 cm de longitud por una cara y de 17.5 cm de longitud por la otra y están constituidos por tres anillas una dentro de otra distribuidas de manera distinta entra una cara y la otra. Para el caso del cálculo del A_{SBD} se tiene en cuenta la forma de los mismos (ver anexo 8), donde para las áreas superficiales circulares (área superficial de las anillas) del relleno se toma en cuenta su forma hueca (50 % del área).

$$A_{SBD} = \sum A_{Sci} * 0.5 + A_{DC} \quad (2.6)$$

$$A_{SBD} = \frac{\pi * 11 + \pi * 15}{4} * \sqrt{5^2 + 4^2} + \frac{\pi * 20 + \pi * 17.5}{4} * \sqrt{5^2 + 2.5^2} + \frac{\pi * 1.5 + \pi * 1}{4} * \sqrt{5^2 + 0.5^2} + 10 * (20 + 15)$$

$$A_{SBD} = 615.2646 \text{ cm}^2$$

$$V_{BD} = \frac{\pi * d_{m\acute{a}x}^2 * s}{4} \quad (2.7)$$

$$V_{BD} = \frac{\pi * 20^2 * 5}{4} = 1570.8 \text{ cm}^3$$

$$A_v = \frac{A_{SBD}}{V_{BD}} \approx 40 \text{ m}^2/\text{m}^3 \text{ de empaque.}$$

Para el filtro B se propone un empaque proporcional al existente y de una profundidad de 1 m que posea un diámetro máximo de 10 cm de longitud por una cara y de 7.5 cm de longitud por la otra por lo que $A_v = 80 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de empaque.

$$A_{TBF}(x) = \sum A_{vi} * A_s * x_i \quad (2.8)$$

$$A_{TBF}(5) = 40 * 76.5 * 5 = 15300 \text{ m}^2 \text{ de capacidad biomásica actual de los filtros.}$$

$$A_{TBF}(6) = 40 * 76.5 * 5 + 80 * 76.5 * 1 = 21496.5 \text{ m}^2 \text{ de capacidad biomásica según la propuesta para el biofiltro B.}$$

Como se aprecia hay un aumento considerable de más de un 40% de la capacidad biomásica, además que el relleno al ser más denso en su primer metro permitirá reducir la velocidad del agua en gran medida y se logrará una mejor filtración.

Propuesta de mejoras estructurales (a corto plazo):

Destupir los agujeros de los esparcidores (brazos mecánicos).

Asegurar bien los esparcidores al mecanismo de rotación para lograr que existan la menor cantidad posible de pérdidas hidráulicas.

Lijar, limpiar y engrasar el mecanismo de rotación.

Asegurar estructuralmente las paredes (impermeabilizar).

Propuesta de mejoras estructurales (a largo plazo):

Cambiar todos los elementos metálicos que no sean inoxidables por elementos metálicos inoxidables (mecanismo de rotación y tuberías).

Propuesta para la conformación de las estaciones de bombeo 1 y 3:

E.B₁:

Actualmente existe una bomba de recirculación en funcionamiento la cual bombea el agua que sale de la E.B₁. Para nuestra propuesta de optimización tenemos que la bomba existente no tiene una buena capacidad (35 m³/h aproximadamente) y se propone una bomba sumergible de 150 m³/h de capacidad la cual por diseño es la que va en esa estación de bombeo. Dicha estación de bombeo de dimensiones conocidas (5x4x4) posee un sistema automático de encendido de la bomba donde la misma se enciende a 2.08 m con respecto a la superficie y se apaga 1.2 m más abajo, para un volumen necesario de bombeo total de 24 m³ de agua. Para el diseño hidráulico de la E.B₃ será necesario saber cuál es el tiempo máximo que se mantendrá la bomba de la E.B₁ encendida debido a que al mismo tiempo estará encendida la bomba de la E.B₃. Esto se hará en condiciones de entrada del caudal máximo a la E.B₁ y entrada del caudal mínimo a la E.B₃.

Tiempo máximo que estará encendida la bomba (2.3):

$$T_{eB2} = \frac{24}{150-130} * 60 = 72 \text{ min}$$
 s.s. si el gasto máximo se sostiene por más de estos mismos 72 min en algún momento, algo que en el por ahora es poco probable.

Tiempo mínimo que descansará la bomba (2.4):

$$T_{dB2} = \frac{24}{130} * 60 = 11.077 \text{ min}$$

E.B₃:

Para este paso es necesario recordar que para esta estación de bombeo se eligió una bomba de 50 m³/h (bomba 4) de capacidad para efectuar la operación de recirculación del agua tratada y que la misma se encenderá en paralelo con la bomba número 2 por lo que se sabe que su tiempo máximo de encendido será de 72 min. Además se toman en cuenta situaciones en extremas desfavorables como es la llegada del caudal mínimo a esta estación de bombeo a la vez que llega el máximo a la E.B₁.

Volumen máximo que bombeará en el tiempo máximo de bombeo:

$$V_{m\acute{a}x} = C_{bomba} * T_{m\acute{a}x \text{ bombeo}} \tag{2.9}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 50 * \frac{72}{60} = 60 m^3$$

El caudal mınimo que recibirıa la E.B₃ (30 m³/h) lo mımimo que podrıa durar son 7 min debido a que en la E.B₂ se propone una bomba con 200 m³/h de capacidad y dicho gasto transcurre por las fases del reactor aerobio y el SS₂ sin sufrir cambios y llegarıa a la E.B₃ de 1 - 7 min despuıs de encenderse las bombas de la E.B₁ y la E.B₃ segın la programaciın que se le haga a la bomba de la E.B₂ o el encendido automıtico de la misma.

Volumen mımimo que recibirıa en el tiempo mımimo de bombeo:

$$V_{m\acute{i}n} = Q_{m\acute{i}n} * T_{m\acute{a}x d} + C_{total} * (T_{m\acute{a}x bombeo} - T_{m\acute{a}x d}) \tag{2.10}$$

$$V_{m\acute{i}n} = 30 * \frac{7}{60} + 200 * \frac{72 - 7}{60} = 220.1\bar{6} m^3$$

Volumen necesario para que la bomba no se quede sin agua en ningın momento:

$$V_{nec} = (C_{bomba} - Q_{m\acute{i}n}) * T_{m\acute{a}x d} \tag{2.11}$$

$$V_{nec} = (50 - 30) * \frac{7}{60} = 2.\bar{3} m^3$$

Por razones constructivas y funcionales el V_{nec} propuesto serıa de 3 m³.

Se escogen como dimensiones de la E.B₃ 2 m de largo, 1 m de ancho y 4 m de profundidad debido a que a esta estaciın de bombeo llegarıa el agua proveniente del SS₂ cuya tuberıa de evacuaciın como en el SS₁ se encuentra a 2 m con respecto a la superficie. Su ubicaciın serıa al lado del SS₂ a unos 4 metros de longitud con respecto al borde mıs cercano del mismo. Como a esta estaciın de bombeo llegarıa el agua proveniente del SS₂ por un conducto de 30 cm de diımetro con una pendiente de un 2% la invertida del mismo en la E.B₃ se encontrarıa a 2.08 m de la superficie por el lado mıs largo en direcciın al SS₂ y el conducto de evacuaciın de 30 cm tambiın de diımetro poseerıa su invertida a 2.50 m de la superficie por el lado mıs largo pero en direcciın al drenaje final.

Para este caso circularıa el agua tratada constantemente sin ser bombeada y se contarıa tambiın con sopladores en el fondo como en las demıs estaciones de bombeo pero tanto

este mecanismo de aeración como la bomba solo se encenderán en sincronización con la bomba de la E.B₁.

Profundidad total que será bombeada en las condiciones más desfavorables:

$$Prof_{total} = \frac{V_{nec}}{A_{SE.B_3}} = 1.1\bar{6}m \quad (2.12)$$

Esto se encontrará a 3.67 m de la superficie.

El fondo tendrá una pendiente de un 1% en dirección a la bomba y la bomba se encontrará 10 cm más profunda que la profundidad máxima (4m) y a una distancia de 5 cm de su fondo para que pueda succionar el agua con facilidad.

Tanque selector de bacterias:

Para nuestra propuesta en esta fase se hace necesario recordar que a este tanque llegará un gasto total de 200 m³/h de agua provenientes de la E.B₁ y la E.B₃ respectivamente por lo que se propone una bomba sumergible de 200 m³/h para poder evacuar sin problemas toda el agua residual que a él llegue y además se propone un mecanismo de aireación parecido al que se encuentra en el tanque de equalización para que las partículas no se sedimenten y se mezclen bien antes de ser bombeadas al reactor aeróbico.

La bomba se encenderá automáticamente en los niveles ya existentes (1 m de diferencia) lo cual ocurrirá de 6-7 min luego de encenderse las bombas de las estaciones de bombeo 1 y 3 debido a que hay que esperar a que llegue el agua residual a su nivel de arrancado de la bomba. También se puede realizar un programado de arranque de la bomba a 7 min luego de arrancar la bomba de la E.B₁. El tiempo máximo que estará esta bomba en funcionamiento, por su capacidad igual al gasto que recibirá, será de 72 min. El mecanismo de aireación se encenderá cuando la bomba de la E.B₁ arranque y se apagará cuando termine el régimen de bombeo de esta fase para ahorrar energía.

Reactor aerobio

Para esta etapa del proceso tecnológico se propone:

- Retirar centrifuga de aireación vertical del reactor aeróbico.

- Cambiar la entrada del agua residual desde la E.B₂ para su parte más inferior.
- Realizar una comprobación estructural para verificar la resistencia de sus paredes de níquel. Para esto se necesita chequear por dentro y por fuera las paredes del tanque.
- Implementar un sistema de aireación a través de difusores de burbuja fina.

Apoyados en una auditoría realizada por la firma ROWEKO en diciembre de 2016 tenemos que la cantidad de difusores necesaria será de 900 dispuestos en una parrilla radial, de manera que cubra toda el área de la base del reactor.

Los difusores son de 10 pulgadas, cuyo caudal nominal es de 5-10 m³/h. Para ello la masa a insuflar será de 6000 m³/h, lo que supone la colocación para este elemento de dos sopladores de 30 KW cada uno. Estos difusores están desarrollados para desprender burbujas finas de 1-3 mm de diámetro en plantas de tratamiento de aguas residuales. Están contruidos con materiales seleccionados para resistir los efectos de agentes químicos y bioquímicos a temperaturas de 0-100 °C. El aire fluye a través del orificio de aire integrado a través de la válvula de no retorno al agua residual.

Las tuberías desde los sopladores serán de 200 mm de diámetro.

Este sistema de aireación proporcionará no menos de un 80% de eliminación de la DBO₅.

Este sistema debe estar en sincronización con la concentración de oxígeno existente en el agua, por lo que se propone un equipo de sonda de luminiscencia y programador el cual lee y controla el oxígeno en el agua. Para ajustar el aporte del oxígeno a las necesidades del proceso se colocarán sondas para la medición de oxígeno disuelto a lo largo del reactor y convertidores de frecuencia para ajustar el funcionamiento de los sopladores a estos requerimientos.

Sedimentador secundario (SS₁)

Para nuestra propuesta suponemos que las fases anteriores fueron bien realizadas como se han propuesto hasta ahora. El sedimentador secundario existente será nuestro SS₁ para la propuesta funcional de filtración en dos etapas realizada en los biofiltros y solo proponemos para él un cambio de su estructura central por una más factible donde los cambios solo se le realizarán a la base y el cabezal se mantendrá con las mismas dimensiones.

Para la base se propone una estructura tipo trípode con perfiles de acero los cuales estarán apoyados en el borde del rebosadero de manera que permitan la mayor decantación posible sin obstrucción. Además se propone un mecanismo de retención de sólidos en suspensión en todo su perímetro interior.

Para la propuesta funcional general de la planta se propone otro sedimentador secundario (SS₂) de idénticas dimensiones y características técnicas que el SS₁, situado a 10 m aproximadamente al lado del mismo, el cual va a sedimentar el agua residual proveniente del reactor aerobio.

Espesador de lodo

Sus dimensiones son adecuadas para el tratamiento de todo el lodo que pueda llegar a producirse y para este solo se propone una solución estructural la cual es cambiar todos los elementos metálicos corroídos u oxidables por elementos más resistentes a la corrosión. Por la parte funcional se propone que a él llegue el fango del SS₁ y del SS₂ para ser espesado y luego bombeado a las terrazas de secado.

Terrazas de secado

Para este caso tenemos que tener en cuenta que a los lechos de secado llegará como máximo el 10% de fango húmedo con respecto al volumen máximo diario de agua residual entrante (150 m³/d). Según las especificaciones de la planta los lechos de secado tienen pequeñas aberturas en el fondo las cuales tienen la capacidad de filtrar un 91.67 % del agua que acompaña al fango por lo que la producción máxima de fango total diaria será de 12.5 m³ con 100 % de humedad pero no sumergido.

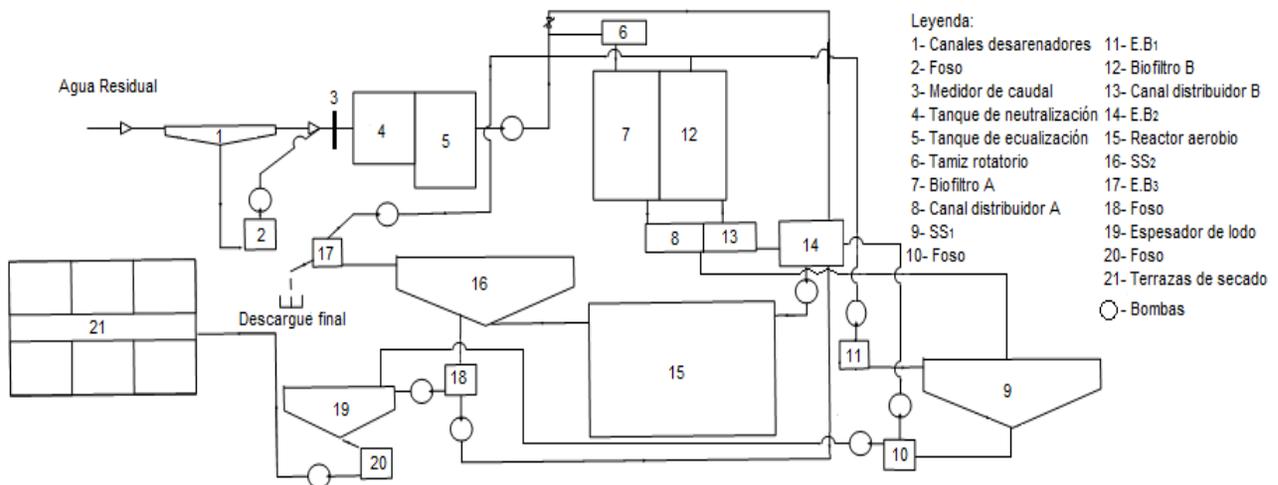
Para este caso sabemos que como la capacidad total de esta fase es de 325.5 m³ entonces cada parcela tendrá una capacidad superior a 27 m³ de fango, más que suficiente para la producción diaria. Además se sabe que a compartimento lleno el tiempo de secado está comprendido entre 11 y 14 días.

Se propone que se llene un compartimento por cada 2 días de trabajo (25 m³), lo cual hará que demore 24 días en llenarse totalmente todos los compartimentos. Como se aprecia este tiempo es mayor que el necesario para que se seque por completo el fango de cada

compartimento además que el volumen a secar será menor. Esto supone una disminución del tiempo de secado total el cual fijó en 12 días para hacer más sencillos los cálculos. Como primera variante se propone esperar al día 24 luego de comenzado el vertido de fango al primer compartimento y recoger el fango seco de 6 compartimentos luego de esto cada 12 días se podrá recoger el fango seco de 6 compartimentos lo cual supone la mitad de los compartimentos existentes. Como se sabe el volumen de fango por compartimento no superará los 25 m³ por lo que harán falta 2 camiones de carga con 12.5 m³ de capacidad como máximo para vaciar cada compartimento (esto puede disminuir hasta 1 camión solamente si se recuerda que nos hemos referido a una generación máxima de fangos lo cual puede realmente disminuir por días). Como segunda variante se propone que se recoja cada 2 días el contenido de un compartimento luego esperar al día 14 luego de comenzar a verter el fango en el primer compartimento, lo cual evita que en un día entren a la planta hasta 12 camiones y esto pueda interferir en el proceso de la misma.

Se ha indagado y demostrado que la tierra proveniente de aguas residuales de cervecerías es altamente nutritiva para las plantas, por lo cual se puede utilizar en la agricultura y se propone que la tierra producida en la PTAR de Bucanero S.A sea utilizada para abonar suelos de cooperativas que lo necesiten.

Esquema 2.1 Propuesta de optimización.



Fuente: Elaboración propia (ver anexo 15).

2.4 Comprobación de la propuesta de optimización

Para la comprobación de nuestra propuesta se tienen en cuenta varios factores:

Factores referentes a la carga contaminante:

- La medición de la disminución de la carga contaminante para nuestro sistema de depuración viene dada especialmente por la DBO_5 y no por la DQO aunque esta disminuye de manera proporcional.
- Para aguas residuales de cervecerías los valores proporcionales de DQO/DBO_5 están comprendidos entre 1.5 – 1.8. Para nuestros cálculos tomaremos la frontera 1.5 debido a que hace que calculemos para un valor máximo de DBO_5 y así estaremos del lado de la seguridad.
- Se trabajará solo con los valores de DQO de entrada.

Factores referentes a la propia propuesta de optimización:

- La disminución de la DBO_5 en la primera etapa de filtración (filtración por el biofiltro A) será de un 70% como mínimo.
- La disminución de la DBO_5 en la segunda etapa de filtración (filtración por el biofiltro B) será de un 85% como mínimo.
- La disminución de la DBO_5 en la fase del reactor aeróbico será de un 80% como mínimo.
- Se recirculará el agua casi a la salida de la planta luego del SS_2 , la cual al combinarse con la que viene desde el SS_1 aporta una disminución de la DBO_5 significativa y calculable.
- No se toma en cuenta la disminución de la DBO_5 aportada por otras fases como el tanque de neutralización y el tanque de equalización, además de la aportada por las estaciones de bombeo y por los sedimentadores secundarios.

Factores de cálculo:

- La bomba de la $E.B_1$ alimenta al filtro B en un 75% mientras que la bomba de la $E.B_3$ en un 25%.

- Cuando se filtra por primera vez el agua residual por el filtro B se supone una carga máxima de DBO_5 por lo tanto no se considera la recirculación desde la E.B₃. Esto a la vez aumenta el porcentaje de disminución de la DBO_5 en esta etapa debido a la disminución de la carga superficial. Dicho porcentaje no se tiene en cuenta.
- Para las iteraciones se supone que la DQO inicial no varía en el tiempo.

Ejemplo de cálculo:

$$DQO = 5000 \text{ mg/l}$$

$$DBO_5 = \frac{DQO}{1.5} = 3333.\bar{3} \text{ mg/l}$$

DBO_5 luego de la filtración A:

$$DBO_{5A} = DBO_5 * 0.3 = 1000 \text{ mg/l}$$

DBO_5 luego de la filtración B:

$$DBO_{5B} = DBO_{5A} * 0.15 = 150 \text{ mg/l}$$

DBO_5 luego de la reacción aerobia:

$$DBO_{5RA} = DBO_{5B} * 0.2 = 30 \text{ mg/l}$$

Si fuese solo hasta aquí ya lograríamos estar en la frontera de la NC: 27:2012 pero no obstante a esto sabemos que para nuestra propuesta existe una recirculación de agua desde la E.B₃ la cual nos proporcionará la posibilidad de disminuir la DBO_5 antes de la filtración B.

Iteraciones:

Iteración 1:

Se supone que se recircule agua desde la E.B₃ por lo tanto el contenido de DBO_5 en el agua de recirculación va a ser en este caso de 30 mg/l.

DBO_5 luego de la filtración B con recirculación -1-:

$$DBO_{5B1} = (DBO_{5A} * 0.75 + DBO_{5RA} * 0.25) * 0.15 = 113.625 \text{ mg/l}$$

DBO₅ luego de la reacción aerobia con recirculación -1-:

$$DBO_5RA1 = DBO_5B1 * 0.2 = 22.725 \text{ mg/l}$$

Iteración 2:

El contenido de DBO₅ en el agua de recirculación va a ser en este caso el de la DBO₅RA1 (22.725 mg/l).

DBO₅ luego de la filtración B con recirculación -2-:

$$DBO_5B2 = (DBO_5A * 0.75 + DBO_5RA1 * 0.25) * 0.15 = 113.352 \text{ mg/l}$$

DBO₅ luego de la reacción aerobia con recirculación -2-:

$$DBO_5RA2 = DBO_5B2 * 0.2 = 22.6704375 \text{ mg/l}$$

Iteración 3:

El contenido de DBO₅ en el agua de recirculación va a ser en este caso el de la DBO₅RA1 (22.6704375mg/l).

DBO₅ luego de la filtración B con recirculación -3-:

$$DBO_5B3 = (DBO_5A * 0.75 + DBO_5RA2 * 0.25) * 0.15 = 113.3501414 \text{ mg/l}$$

DBO₅ luego de la reacción aerobia con recirculación -3-:

$$DBO_5RA3 = DBO_5B3 * 0.2 = 22.67002828 \text{ mg/l}$$

$$DBO_5RA3 \approx DBO_5RA2$$

Si se quiere hacer una iteración 3...n se realizan los cálculos con la misma metodología pero como se puede apreciar a partir de la misma tercera iteración los valores de DBO₅ finales, luego de la reacción aerobia con recirculación, son muy cercanos. Por lo tanto para nuestros cálculos dejaremos las iteraciones hasta la segunda. Como conclusiones de nuestro ejemplo de cálculo tenemos que la DBO₅ final es de 22.67 mg/l aproximadamente para una eficiencia un 99.32%.

Tabla 2.2: Cálculos para la comprobación de la propuesta de optimización

Ensayo	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DBO ₅ A (mg/l)	DBO ₅ B (mg/l)	DBO ₅ RA (mg/l)	DBO ₅ lterc.1 (mg/l)	DBO ₅ lterc.2 (mg/l)	Eficiencia %
1	7720	5146.667	1544	231.6	46.32	35.0874	35.003	99.31989
2	6640	4426.667	1328	199.2	39.84	30.1788	30.106	99.31989
3	4840	3226.667	968	145.2	29.04	21.9978	21.945	99.31989
4	3720	2480.000	744	111.6	22.32	16.9074	16.867	99.31988
5	3770	2513.333	754	113.1	22.62	17.13465	17.094	99.31987
6	4660	3106.667	932	139.8	27.96	21.1797	21.129	99.31988
7	2870	1913.333	574	86.1	17.22	13.04415	13.013	99.31988
8	2000	1333.333	400	60	12	9.09	9.068	99.31990
9	1820	1213.333	364	54.6	10.92	8.2719	8.252	99.31989
10	1090	726.667	218	32.7	6.54	4.95405	4.942	99.31991
11	10100	6733.333	2020	303	60.6	45.9045	45.794	99.31989
12	2270	1513.333	454	68.1	13.62	10.31715	10.292	99.31991
13	1720	1146.667	344	51.6	10.32	7.8174	7.799	99.31985
14	1870	1246.667	374	56.1	11.22	8.49915	8.479	99.31987
15	3110	2073.333	622	93.3	18.66	14.13495	14.101	99.31989
16	1690	1126.667	338	50.7	10.14	7.68105	7.663	99.31985
17	2710	1806.667	542	81.3	16.26	12.31695	12.287	99.31991
18	1720	1146.667	344	51.6	10.32	7.8174	7.799	99.31985
19	2310	1540.000	462	69.3	13.86	10.49895	10.474	99.31987
20	4120	2746.667	824	123.6	24.72	18.7254	18.680	99.31990
Media	3537.5	2358.33	708	106.1	21.23	16.08	16.04	≈ 99.32

Fuente: Elaboración propia.

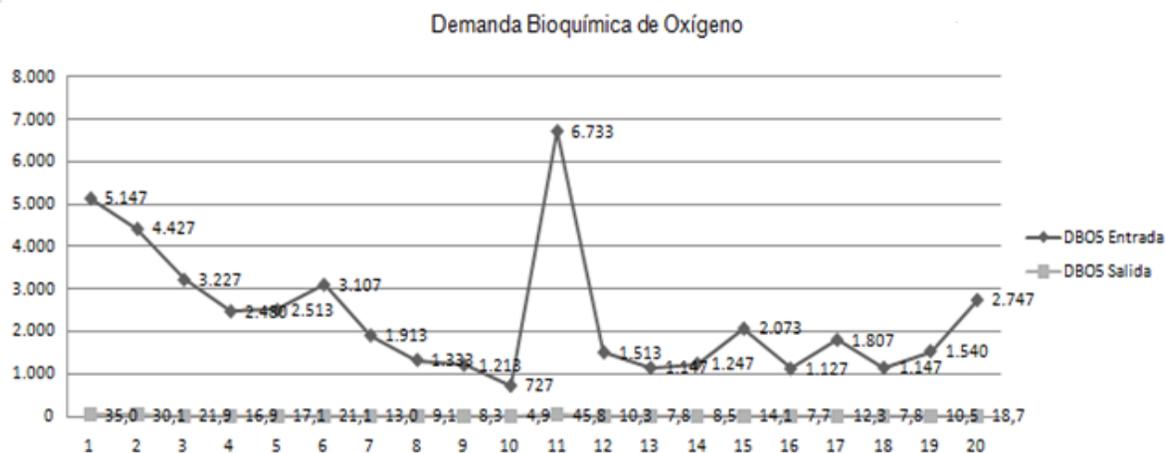


Gráfico 2.3 Valores de DBO₅ a la entrada y a la salida de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar luego de salida el agua residual del reactor aerobio para la mayoría de los casos se cumple con la NC: 27:2012.

Si se multiplican los valores de salida de DBO_5 por la frontera de proporcionalidad 1.8 notamos que solo se incumple con la norma de vertimiento de DQO en el agua (70 mg/l) para el ensayo 11. Para el caso de los ensayos 1, 2 y 11 no se cumple con la norma de vertimiento de DBO_5 en el agua (30 mg/l) pero hay que tener en cuenta que:

- Los procesos de biofiltración y reacción aerobia pueden tener un mejor rendimiento en la disminución de la DBO_5 .
- Existe disminución de la DQO y la DBO_5 causada por otras etapas del proceso de depuración no contempladas en el cálculo.
- El agua residual normalmente se combina antes de llegar a ser filtrada en el tanque de neutralización y en el de ecualización y por ende puede disminuir su carga contaminante antes de ser tratada por la filtración biológica.

Se realizó un cálculo inverso para saber cuál es el límite promedio de DQO para que el agua residual salga de la planta con menos de 30 mg/l de DBO_5 . Este cálculo arrojó como resultado que no se puede exceder de 6617 mg/l de DQO si se quiere cumplir con la NC: 27:2012. Por lo tanto como medida preventiva se propone que cuando la DQO sobrepase esa cifra se proceda a ligar el agua residual que sale de la PTAR con agua limpia para disminuir este parámetro y lograr cumplir con la norma.

Se realizó un cálculo para una DQO máxima de 11000 mg/l y se obtuvo como resultado:

$$\frac{x}{x+y} = 0.6015$$

(2.13)

$$\text{Entonces: } y = \frac{x}{0.6015} - x$$

(2.14)

Por lo tanto:

Para un gasto máximo de 130 m³/h y una carga máxima de DQO de 11000 mg/l se necesitará un caudal mínimo de 86.125 m³/h para lograr que el agua residual tratada cumpla con la NC: 27:2012 antes de depositarse en el medio receptor (cuenca del río Cauto). Luego si se supone una DQO mínima de 1000 mg/l entonces la eficiencia instantánea de la planta luego de implementada la propuesta de optimización estará comprendida entre 92.52 y 99.94% aproximadamente.

Conclusiones del capítulo

1. La investigación realizada muestra que el proceso de tratamiento de residuales en la Cervecería Bucanero S.A., provincia Holguín no es óptimo por factores inadecuados de diseño e implementación de las etapas del proceso.
2. No se obtienen buenos resultados de la depuración biológica (biofiltros y bio-reactor aerobio), por lo que el rendimiento actual de la planta es mucho más bajo del que puede llegar a dar.
3. Las mejoras propuestas permiten una optimización muy completa para la PTAR de la CBSA.

CONCLUSIONES GENERALES

1. El uso de tratamientos biológicos para la depuración de las aguas residuales provenientes de cervecerías permite la eliminación de parámetros contaminantes como la DQO y la DBO₅. Para el caso de la planta de depuración de aguas residuales estudiada el sistema utilizado (filtros biológicos y bio-reactor aerobio) no se comporta de forma óptima debido a problemas operacionales y de implementación de sus distintas etapas.
2. El agua residual de la Cervecería Bucanero S.A. presenta una gran variedad con respecto a sus características físicas, químicas y biológicas donde una marcada carga contaminante prevalece entre ellas.
3. La planta de tratamiento de aguas residuales de la Cervecería Bucanero S.A. no se encuentra en condiciones de cumplir con las exigencias de la NC: 27:2012.
4. La propuesta de optimización para el tratamiento de las aguas residuales de la Cervecería Bucanero S.A. proporciona una disminución de la carga contaminante tal que se logra cumplir con los parámetros permisibles de DQO y DBO₅ establecidos por la NC: 27:2012.

RECOMENDACIONES

1. Realizar el análisis estructural de la propuesta de optimización.
2. Estudiar la posibilidad de un tratamiento para el sólido generado (afrecho) durante el proceso, así como las posibilidades para su uso posterior.
3. Estudiar la posibilidad de un tratamiento de depuración diferenciado para el agua residual que proviene de cada una de las fases del proceso productivo de la empresa Bucanero S.A.
4. Realizar charlas educativas a los operadores de la PTAR de la CBSA de manera que reciban una superación completa sobre el proceso existente y el posible a implementar.
5. Estudiar la posibilidad de la existencia de un laboratorio y/o nuevos equipos en la misma planta que permitan obtener todos los parámetros exigidos por la NC: 27:2012.
6. Realizar la automatización del proceso de la PTAR de la CBSA, donde se cuente con sistemas computarizados que permitan un control óptimo del proceso.

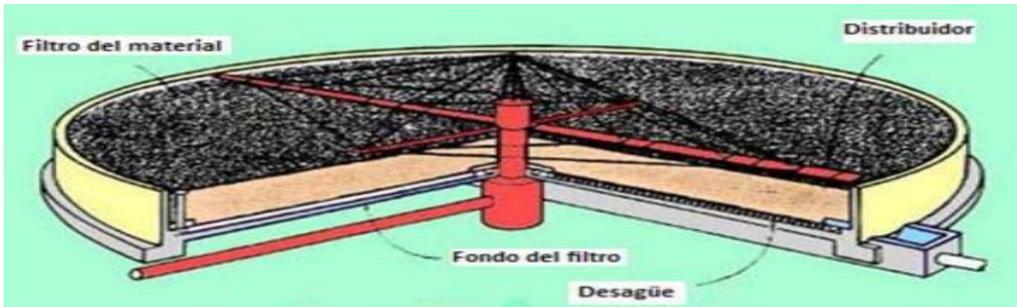
BIBLIOGRAFÍA

1. Arrieta J, Cantera E, Zuñiga I. (1998). Depuración de efluentes de cervecería aplicación de nuevos procesos anaerobios. Cerveza y Malta.
2. Brito A, Peixoto J, Oliveira JM, Costa C, Nogueira R, Rodrigues A. (2006). Brewery and Winery Wastewater Treatment: Some Focal Points of Design and Operation. Chemistry and Materials Science.
3. Canales C. (2005). Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector Cervecerero. Madrid: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente.
4. Díaz Pupo, Diana Rosa (2013). Contribuciones a la etapa de ideas conceptuales de la solución de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Gibara. Universidad de Holguín.
5. Driessen W, Vereijken T. (2003). Recent developments in biological treatment of brewery effluent. In: The Institute and Guild of Brewing Convention. Livingstone, Zambia.
6. Driessen W, Yepeert P. (1999). Anaerobic treatment of low, medium and high strength effluent in the agro-industry. Water Sci. Technol.
7. Estudio sobre la situación actual de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Perú (2016): www.aguasresiduales.info/feb
8. FAO. (2017). World beer production. BIOS International. Disponible en: <https://www.statista.com> › ... › *Alcoholic Beverages*
9. Fischer W. (1992). Reprocessing or disposal of kieselguhr sludge? Brauwelt International.
10. Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., Daufin, G. (2006). Water, waste water and waste management *in* brewing industries. *Journal of Cleaner Production*.
11. Ramalho, R,S Filtros percoladores Disponible en: cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/FILTROS_PERCOLADORES.pdf
12. Garrido Escudero A. (2002). Strategies for development of industrial hydroefficiency policies promoted by the water supply services. *Journal of the International Water Association*.
13. Gestión Integral de aguas residuales. Disponible en: www.prospectiva2020.com/.../68_i2020_gestion_integral_aguas_residuales_w eb.pdf
14. Gil AL.(1995). Aspectos técnicos del tratamiento de efluentes. S.A. El Águila. Cerveza y Malta.
15. Glas K. (2009) Waste water. In: Hans M, editor. Handbook of Brewing. Processes, Technology, Markets. Weinheim: WILEY-VCH; p. 621-641.
16. Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (2016). Disponible en: unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf

17. Las bebidas más consumidas en el mundo (2017). Disponible en: https://www.planetajoy.com/Las_9_bebidas_más_consumidas_del_mundo.
18. Ley 81 del Medio Ambiente, artículo 95(1997).
19. Los 5 países que producen más cerveza en el mundo (2017). Disponible en: www.vix.com/es/imj/gourmet/3207/los-5-paises-que-producen-mas-cerveza
20. Manual de Operaciones de la Planta de Tratamiento de Residuales de la empresa Bucanero S.A.
21. Martínez-Espejo Martínez, Rebeca (2010): Descontaminación de efluentes de la industria cervecera mediante el uso de membranas UF arrolladas en espiral como barrera de seguridad, Universidad Católica San Antonio Murcia.
22. Norma Cubana de Vertimiento de Aguas Residuales NC 27:2012.
23. O'Rourke J, Tomlinson H (1962). Effects of brewery wastes on treatment. *Industrial Water & Waste*.
24. Parawira W, Kudita I, Nyandoroh M, Zabulla R. A (2005). Study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full-scale UASB reactor seeded with activated sludge. *Process Biochem*.
25. Perry M (1997). The handbook of brewery effluent. Brewery Effluent Services. South Africa.
26. Pombar Vallejos, Pedro Galo (2014). Análisis y optimización del desperdicio de agua en el área de embotellado de cervecería nacional Planta Pascuales” Tesis Universidad de Guayaquil, Ecuador.
27. ¿Qué es el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales? julio 30/2015 RWL Water News Team. Disponible en: <https://www.rwlwater.com/que-es-el-tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/?lang>
28. Rodríguez A, Letón P, Rosal R, Dorado M, Villar S, Sanz JM (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Fundación para el conocimiento. Madrid: CEIM.
29. Suárez M. (2006). Contaminación en la fabricación de bebidas. En: Curso sobre inspección y control de vertidos en redes de saneamiento. Barcelona: Área Metropolitana de Barcelona. Entidad del medio ambiente.
30. Suárez Guzmán, Alicia (2012). Planta de tratamiento para las aguas residuales en grupos de hasta 50 personas en zonas urbanas con limitaciones de espacio. Tesis, Universidad de Holguín.
31. Van Oeveren, PW. (1993). Waste management in brewery operations. Tech Q Master Brew Assoc Am.
32. Vriens L; Van Soest H, Verachtert H. (1990). Biological treatment of malting and brewing effluents. *Biotechnol*.
33. Zambrano Leidy (2016): Planta de tratamientos de aguas residuales para planta cervecera, Venezuela.

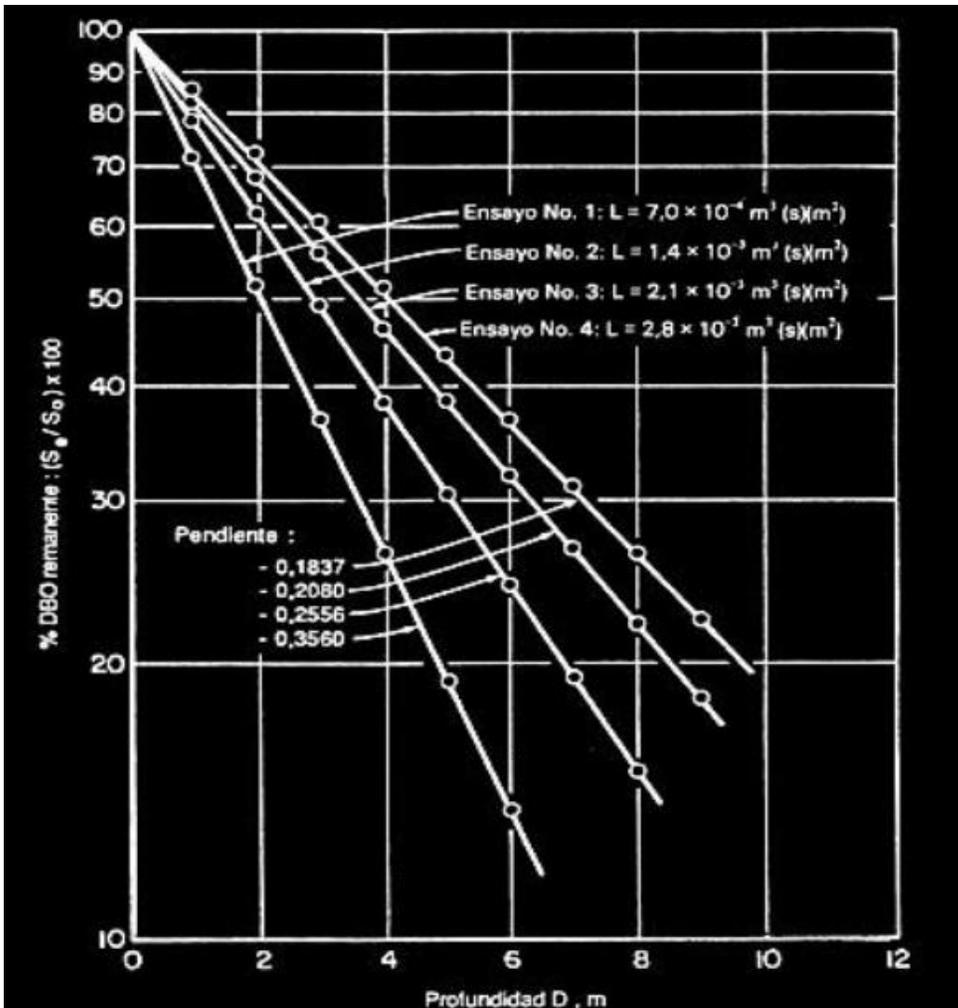
ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de la sección típica de un filtro percolador



Fuente: Informe de auditoría de la firma ROWEKO a la empresa Bucanero S.A.

Anexo 2: Diagrama de representación de la DBO₅ remanente en función de la profundidad y la carga hidráulica superficial.



Fuente: R.S. Ramalho (11).

Anexo 3: Fotos del canal de separación de sólidos grandes y/o pesados (rejillas y desarenador) de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Foto del tanque de neutralización de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Foto del tanque de ecualización de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Foto del tamiz rotatorio de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7: Foto de un filtro biológico percolador de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8: Fotos del relleno de los biofiltros de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9: Foto del selector de bacterias de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Foto del bio-reactor aerobio de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11: Foto del sedimentador secundario de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12: Foto del espesador de lodo de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13: Foto de las terrazas o lechos de secado de la PTAR de la CBSA.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14: Fotos de los reactivos necesarios para realizar el ensayo de DQO.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15: Vista aérea de la PTAR de Bucanero S.A. en combinación con la propuesta de optimización.



- Leyenda:**
- 1- Rejillas
 - 2- Desarenadores
 - 3- Medidor de caudal
 - 4- Tanque de neutralización
 - 5- Tanque de equalización
 - 6- Tamiz rotatorio
 - 7- Filtro A
 - 8- SS₁
 - 9- E.B₁
 - 10- Filtro B
 - 11- E.B₂
 - 12- Reactor aerobio
 - 13- SS₂
 - 14- E.B₃
 - 15- Espesador de lodos
 - 16- Lechos de secado
 - 17- Almacén de HCl
 - 18- Oficina y laboratorio

Fuente: Google y edición propia.