

Aplicación de Producción Más Limpia al Sector de Embotellado de una Industria Cervecerera Ecuatoriana

Villacis W. *; Vanderputten H. **

*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador
e-mail: williamvillacis@yahoo.es

** Mensura vzw - Servicios Ambientales, Amberes, Bruselas, Bélgica
e-mail: hugovdp@yahoo.com

Resumen: En el presente proyecto se realizó la aplicación de producción más limpia en el proceso de embotellado de una industria cervecera ecuatoriana en lo que se refiere a la disminución y recuperación de los efluentes líquidos posibles para lograr un ahorro de agua general y agua residual tratada, al tomar en cuenta el grado de contaminación que traen consigo estos efluentes líquidos. El trabajo preliminar consistió en la realización de un diagrama de flujo para cada línea de producción, en el cual se indica la salida de cada uno de los efluentes líquidos que se generan en el proceso de embotellado para posteriormente determinar la composición y volumen de descarga mediante análisis físico-químicos de acuerdo a los "Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, APHA, AWWA, WPCF". Una vez conocidos los parámetros de contaminación de cada efluente líquido se escogió cuáles pueden ser recuperados y reutilizados. Se proponen 2 sistemas para la recuperación y reutilización de los efluentes líquidos escogidos. Con el sistema propuesto de recuperación y reutilización, la empresa ahorra 228965.76 HL/año de agua general, 272332.80 HL/año de agua residual tratada, con un beneficio económico de 8069.97 USD/año. La inversión requerida para la instalación del sistema de recuperación y reutilización es 13828.20 USD, la cual se recupera a los 2.22 años, siendo el valor del TIR de 42.28% y del VAN 15423.25 USD, para un tiempo de vida útil de 5 años.

Palabras claves: Producción más limpia, Efluentes líquidos, Demanda química de oxígeno, Demanda bioquímica de oxígeno, Recuperación, Reutilización, Torres de enfriamiento, Condensado perdido.

Abstract: In the present project was the implementation of cleaner production in the bottling process an Ecuadorian brewery regard to the decline and recovery of liquid effluents possible to achieve overall water savings and treated wastewater to take into account the degree of pollution they bring these liquid effluents. Preliminary work was to conduct a flow diagram for each production line, which indicates the output of each of the liquid effluents generated in the bottling process for subsequently determining the composition and volume of discharge through physico-chemical analysis according to "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF". Once known pollution parameters of each liquid effluent was chosen which can be recovered and reused. We propose two systems for the recovery and reuse of liquid effluents chosen. With the proposed system recovery and reuse, the company saves 228965.76 HL / year of water generally 272332.80 HL / year of treated wastewater, with a profit of 8069.97 USD / year. The investment required for installing the recovery and reuse system is 13828.20 USD, which recovers to 2.22 years, with the value of IRR and NPV 42.28% 15423.25 USD, for a lifetime of 5 years.

Keywords: Cleaner production, Liquid effluents, Chemical oxygen demand, Biochemical oxygen demand, Recovery, Reuse, Cooling towers, Lost condensate.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente todas las industrias buscan que sus procesos sean lo más eficientes, tanto desde el punto de vista productivo como el ambiental, es por esto que buscan certificaciones como las ISO 9001 e ISO 14001, para demostrar ante los ojos de todo el proceso industrial que se

puede realizar un mejor proceso sin atentar al medio ambiente [13].

Uno de los principales efluentes que se preocupa el municipio de que se respete la Ordenanza Metropolitana substitutiva del Capítulo III del Título V del Libro Segundo del Código Municipal, son los efluentes líquidos puesto que

estos son uno de los principales agentes de contaminación que traen consigo los procesos productivos en la actividad industrial [14].

Es por esta razón que es importante que en todas las industrias se estudien o se conozcan las características de sus efluentes, para que con ello puedan diseñar su estrategia de recuperación o de tratamiento [5].

Cervecería Andina S.A. en busca de mejores logros para combatir la contaminación en contra al medio ambiente, ha decidido conocer de mejor manera la composición y el grado de contaminación que generan sus efluentes principalmente líquidos que producen sus diferentes procesos [12]; un ejemplo de esto, es este trabajo cuyo fin da a la empresa la información de cómo se encuentran los efluentes líquidos que se generan en el proceso de embotellado, así como también plantea una alternativa de una posible recuperación y reutilización de aquellos efluentes líquidos que son factibles de hacerlo.

Los resultados y las recomendaciones dadas en este trabajo serán de beneficio para la Cervecería Andina S.A., pues la realización de este proyecto tendrá como fin el ahorro tanto de la cantidad de agua general y agua residual tratada.

El trabajo está constituido en: Parte teórica, aquí se describe conceptos de producción más limpia [13], desarrollo sostenible [13], minimización de residuos [6], efluentes industriales [7], aguas residuales [9], tratamiento de aguas [4], [8], normas ISO 14000, descripción de los procesos productivos; parte experimental, aquí se detalla los balances de masa y energía, tiempo de funcionamiento, identificación de efluentes líquidos, caracterización de efluentes líquidos con metodología normalizada APHA, AWWA, WPCF [2], [3]; resultados y discusión, en esta parte se describe los resultados que se obtienen, al utilizar las respectivas metodologías; conclusiones y recomendaciones, aquí se concluye de lo que se observa en la parte de resultados y discusión y en recomendaciones se describe algunas sugerencias para continuar con el debido seguimiento del presente trabajo y su objetivo de seguir recuperar los efluentes líquidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Balance de Masa de las Líneas de Producción del Proceso de Embotellado

Para realizar los respectivos balances de masa en cada línea de producción, se utilizan flujo gramas, en los cuales se indican las entradas y salidas solamente del agua que se utilizan en el proceso de embotellado.

2.2. Balance de Energía de las Líneas de Producción del Proceso de Embotellado

Para realizar los respectivos balances de energía en cada línea de producción, se utilizan flujo gramas, en los cuales

se indican las entradas de vapor que se utiliza y las salidas que es el condensado que se genera luego de que el vapor cede todo su poder calorífico.

2.3. Tiempo de funcionamiento de Máquinas en las Líneas de Producción del Proceso de Embotellado

Para determinar el tiempo de funcionamiento de cada máquina que tiene el proceso de embotellado se utiliza los datos que reporta el departamento de producción de dicho proceso.

2.4. Propiedades Físico-Químicas del Agua que Ingresa al Proceso de Embotellado

Para determinar las propiedades físico-químicas del agua que ingresa al proceso de embotellado, se obtiene un promedio de los valores de alcalinidad, dureza, pH del agua general y agua ablandada que se utiliza en el proceso de embotellado durante 3 meses (agosto-octubre) del año 2002. Todos los valores son datos que se obtienen en el laboratorio de control de calidad de la empresa.

2.5. Identificación de los Efluentes Líquidos generados en el Proceso de Embotellado

El proceso de embotellado de una industria cervecera ecuatoriana ocasiona que se produzcan efluentes líquidos, los cuales se mandan conjuntamente con los efluentes de otros procesos de la cervecería (elaboración-cocimiento), a la Quebrada de San Pedro "Quebrada Roja".

Hay que recalcar que los efluentes líquidos que se generan en la lavadora de botellas, pasteurizadora y lavadora de cajas son el resultado del reboso del agua debido a la limitación de tamaño de los tanques de almacenamiento de agua de las máquinas mencionadas anteriormente.

Los efluentes líquidos que se generan en el proceso de embotellado son los siguientes: Línea 3: Lavadora de botellas, envasadoras, pasteurizadora y 2 en la lavadora de cajas. Línea 2: 3 en la lavadora de botellas, envasadora, 4 en la pasteurizadora.

2.6. Caracterización de los Efluentes Líquidos del Proceso de Embotellado

La caracterización de los efluentes líquidos se los realiza mediante el análisis en laboratorio de los parámetros de contaminación que traen consigo estos, por medio del procedimiento de los "Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, APHA, AWWA, WPCF" [2]. Estos parámetros se escogen en base a los requerimientos que se establece en la Ordenanza Metropolitana substitutiva del Capítulo III del Título V del Libro Segundo del Código Municipal.

A todos los efluentes líquidos que se generan en el proceso de embotellado se les caracteriza para luego ver cuál de

estos efluentes pueden ser recuperados en base a los valores que se obtienen de los parámetros de contaminación.

Los efluentes líquidos que salen del embotellado de una manera continua, es agua con impurezas, por lo tanto la caracterización de estos efluentes se la realiza en dos partes:

La primera parte comprende una toma de muestras puntuales en cada salida para medir pH, temperatura y caudal en intervalos de tiempo de aproximadamente una hora, durante el primer turno de trabajo, obteniéndose 7 datos por día, de cada parámetro de contaminación. Esta parte recibe el nombre de caracterización física.

La segunda parte comprende la realización de los análisis de los demás parámetros de contaminación referentes a aguas residuales (Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza total, dureza cálcica), utilizando una muestra combinada o compuesta cada día del muestreo [1], [2]. Esta parte recibe el nombre de caracterización química.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Los valores obtenidos de los parámetros de contaminación en la caracterización de los diferentes efluentes líquidos del proceso de embotellado, van a ser divididos en parámetros de contaminación principales y parámetros de contaminación secundarios.

Los parámetros de contaminación principales que toma en cuenta el Municipio son: pH, temperatura, caudal, DBO₅, DQO, DQO/DBO, sólidos suspendidos.

Los parámetros de contaminación secundarios que toma en cuenta la empresa son: Volumen de descarga por día, índice (HI. descarga del efluente líquido por día /HI. Cerveza envasada), alcalinidad parcial, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables [2].

El caudal se determinó y la temperatura se midió in situ, en un período de 18 días y para los análisis químicos conjuntamente con la medición del pH se hizo en 17 días, razón por la cual se formaron alrededor de 17 muestras compuestas.

3.1.1. Parámetros de Contaminación Principales

Los valores de estos parámetros de los efluentes líquidos de la línea 3 del proceso de embotellado se presentan en la tabla 1 y los de la línea 2 se presentan en la tabla 2.

3.1.2. Parámetros de Contaminación Secundarios

Los valores de estos parámetros de los efluentes líquidos de la línea 3 del proceso de embotellado se presentan en la tabla 3 y los de la línea 2 se presentan en la tabla 4.

3.2. Discusión de Resultados

3.2.1. Balance de Masa de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

El agua que ingresa a esta línea de producción tiene un consumo de 33145.33 HL/mes de agua general que va a la lavadora de botellas, pasteurizadora y lavadora de cajas; 45716.67 HL/mes de agua ablandada que se utiliza en las envasadoras y en la lavadora de botellas.

En la lavadora de botellas se puede apreciar que se agrega sosa proveniente de un tanque de almacenamiento en unos 350 a 400 L/día (42-48 HL/mes) con una concentración del 50%. Las envasadoras de botellas se envían cerca de 48475.77 HL/mes de cerveza proveniente del tanque de gobierno, para lo cual utilizan agua ablandada. La pasteurizadora al comenzar la jornada se carga con agua general y luego para nivelar los tanques durante la producción cuentan con agua proveniente de un tanque de reposición que tiene una capacidad de 3000 L, esta agua tiene un flujo de 201.6 HL/mes. La lavadora de cajas se utiliza agua general y agua que viene de los sistemas hidráulicos antes mencionados, siendo su flujo de 34.8 HL/mes que corresponde a compensar el tanque de almacenamiento que hay en esta máquina cuyo volumen es 5.8 m³, al considerar 5% de pérdida durante el día (dato práctico).

La cantidad de agua que ingresa a la Línea 3 es 79098.40 HL/mes (11.44 L/s) y la que sale es 63175.68 HL/mes (9.14 L/s), teniendo una pérdida en diferentes lugares de la Línea 3 en una cantidad de 15922.72 HL /mes (2.30 L/s), con estos resultados se tiene un porcentaje de 20.13% de agua que se pierde, este alto valor se debe a la pérdida de agua que se pierde en la lavadora de botellas en la zona de enjuague, cuya agua se manda a un tanque de almacenamiento junto a esta máquina, cuyo tamaño no es suficiente para almacenar todo el flujo de agua que entra y al uso desmedido de agua para la limpieza a través de mangueras por todo el piso de esta línea de producción.

Tabla 1. Parámetros de Contaminación Principales de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

| Análisis Físicos y Químicos | Unidades | Lavadora de botellas | Lavadora de cajas | | Pasteurizadora | Envasadora | |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------|----------------|---------------|---------------|
| | | | Salida 1 | Salida 2 | | Bomba vacío 1 | Bomba vacío 2 |
| pH | | 12.51 | 8.13 | 8.25 | 8.08 | 7.74 | 7.69 |
| Temperatura | °C | 48.39 | 25.93 | 26.73 | 49.46 | 33.20 | 33.34 |
| Caudal | L/s | 6.39 | 0.48 | 0.40 | 1.13 | 0.41 | 0.33 |
| DBO ₅ | mgO ₂ /L | 251.05 | 16.45 | 9.36 | 24.46 | 75.46 | 100.49 |
| DQO | mgO ₂ /L | 2323.02 | 36.43 | 56.27 | 354.59 | 647.90 | 992.08 |
| DQO/DBO ₅ | | 9.36 | 2.13 | 5.27 | 14.58 | 8.55 | 9.99 |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 107.11 | 62.29 | 35.43 | 25.00 | 13.33 | 26.57 |

“Fuente: elaboración propia”; DBO₅ = Demanda Química de Oxígeno, DQO = Demanda Química de Oxígeno, pH = Potencial de Hidrógeno

Tabla 2. Parámetros de Contaminación Principales de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado

| Análisis Físicos y Químicos | Unidades | Lavadora de botellas | | | Envasadora | Pasteurizadora | | | |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|----------|----------|------------|----------------|----------|----------|----------|
| | | Salida A | Salida C | Salida D | | Salida 1 | Salida 2 | Salida 3 | Salida 4 |
| pH | | 11.17 | 13.08 | 11.71 | 7.50 | 10.41 | 10.58 | 10.46 | 10.84 |
| Temperatura | °C | 51.28 | 53.72 | 38.45 | 26.06 | 47.11 | 62.88 | 53.65 | 48.98 |
| Caudal | L/s | 0.61 | 0.47 | 1.50 | 0.23 | 0.31 | 0.19 | 0.30 | 1.11 |
| DBO ₅ | mgO ₂ /L | 363.13 | 52.84 | 54.69 | 335.75 | 74.54 | 26.53 | 62.52 | 25.12 |
| DQO | mgO ₂ /L | 7664.15 | 283.00 | 244.50 | 2796.80 | 202.77 | 188.35 | 166.21 | 136.88 |
| DQO/DBO ₅ | | 21.19 | 5.45 | 4.60 | 8.33 | 2.71 | 7.11 | 2.68 | 5.45 |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 153.60 | 197.60 | 42.80 | 32.00 | 71.60 | 30.80 | 54.80 | 44.50 |

“Fuente: elaboración propia”; DBO₅ = Demanda Química de Oxígeno, DQO = Demanda Química de Oxígeno, pH = Potencial de Hidrógeno

Tabla 3. Parámetros de Contaminación Secundarios de los Efluentes Líquidos de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

| Análisis Físicos y Químicos | Unidades | Lavadora de botellas | Lavadora de cajas | | Pasteurizadora | Envasadora | |
|-----------------------------|---|----------------------|-------------------|----------|----------------|---------------|---------------|
| | | | Salida 1 | Salida 2 | | Bomba vacío 1 | Bomba vacío 2 |
| Volumen descarga | HL /día | 3680.64 | 276.48 | 230.40 | 650.88 | 236.16 | 190.08 |
| Índice | HL descarga por día /HL cerveza envasada diario | 0.87 | 0.07 | 0.07 | 0.13 | 0.05 | 0.04 |
| Alcalinidad parcial | ppm CaCO ₃ | 693.32 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 |
| Alcalinidad total | ppm CaCO ₃ | 1108.24 | 194.89 | 187.93 | 136.73 | 179.56 | 182.14 |
| Dureza cálcica | ppm CaCO ₃ | 8.22 | 16.16 | 14.93 | 14.94 | 10.86 | 10.49 |
| Dureza total | ppm CaCO ₃ | 14.31 | 49.89 | 46.74 | 54.95 | 46.13 | 46.27 |
| Sólidos totales | mg/L | 2266.00 | 495.00 | 351.43 | 327.50 | 442.50 | 511.43 |
| Sólidos disueltos | mg/L | 2151.11 | 409.67 | 312.00 | 313.71 | 428.57 | 488.89 |
| Sólidos sedimentables | ml/L | 0.93 | 0.33 | 0.16 | 0.14 | 0.00 | 0.00 |

“Fuente: elaboración propia”; DBO₅ = Demanda Química de Oxígeno, DQO = Demanda Química de Oxígeno, pH = Potencial de Hidrógeno

Tabla 4. Parámetros de Contaminación Secundarios de los Efluentes Líquidos de la Línea 2 del Proceso de Embotellado

| Análisis Físicos y Químicos | Unidades | Lavadora de botellas | | | Envasadora | Pasteurizadora | | | |
|-----------------------------|---|----------------------|----------|----------|------------|----------------|----------|----------|----------|
| | | Salida A | Salida C | Salida D | | Salida 1 | Salida 2 | Salida 3 | Salida 4 |
| Volumen descarga | HL / día | 351.36 | 270.72 | 864.00 | 132.48 | 178.56 | 109.44 | 172.80 | 639.36 |
| Índice | HL descarga por día /HL cerveza envasada diario | 0.39 | 0.31 | 0.81 | 0.12 | 0.09 | 0.10 | 0.15 | 0.30 |
| Alcalinidad parcial | ppm CaCO ₃ | 320.59 | 1892.00 | 344.41 | 0.00 | 117.87 | 181.53 | 154.58 | 181.30 |
| Alcalinidad total | ppm CaCO ₃ | 642.56 | 2377.32 | 611.48 | 184.04 | 410.33 | 481.59 | 430.89 | 440.55 |
| Dureza cálcica | ppm CaCO ₃ | 20.60 | 11.47 | 9.47 | 36.64 | 11.27 | 8.13 | 11.67 | 16.33 |
| Dureza total | ppm CaCO ₃ | 44.24 | 16.60 | 23.67 | 133.27 | 30.33 | 13.67 | 28.00 | 41.07 |
| Sólidos totales | mg/L | 3550.00 | 2304.00 | 724.00 | 1422.50 | 484.00 | 648.00 | 628.00 | 646.67 |
| Sólidos disueltos | mg/L | 3375.00 | 2100.00 | 680.00 | 1377.50 | 412.80 | 616.40 | 569.60 | 600.00 |
| Sólidos sedimentables | ml/L | 1.74 | 42.8 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

“Fuente: elaboración propia”; DBO₅ = Demanda Química de Oxígeno, DQO = Demanda Química de Oxígeno, pH = Potencial de Hidrógeno

3.2.2. Balance de Masa de la Línea 2 del Proceso de Embotellado

Esta línea de producción es más pequeña que la anterior, razón por la cual genera solo 6967.38 HL/mes de cerveza envasada, por lo que se tiene una pérdida de cerveza de 189.71 HL/mes, cuyo porcentaje de pérdida es 2.57% producto de la ruptura de las botellas en la pasteurizadora principalmente y otros accidentes de trabajo como la ruptura de las botellas en la encajonadora, entre otros.

En la lavadora de botellas se coloca también sosa con una concentración del 50%, en una cantidad de 250 a 300 L/día (20 – 24 HL/mes), proveniente de un tanque de almacenamiento; en esta máquina se coloca agua general y ablandada. La lavadora de cajas utiliza agua general, y genera una salida de 110.08 HL/ mes. En esta línea de producción hay una sola envasadora, la cual utiliza agua general y ablandada, razón por la cual se genera un efluente líquido en un cantidad de 1059.84 HL/mes; a esta máquina se envía 7368.42 HL/mes de cerveza y otras bebidas, se manda al tanque de gobierno cerca de 211.33 HL/mes de cerveza y merma, lo cual constituye que hay un 2.86% de cerveza y merma recirculada. La pasteurizadora se la carga con agua general y durante la producción para nivelar los tanques utiliza el agua que viene de una cisterna

cuyas dimensiones son: (profundidad = 1.40m, ancho = 1.01m y largo = 2.02m), que constituye un volumen de 2.86 m³ (2860 L), y es la recuperación de un efluente líquido de la lavadora de botellas que está en la zona de enjuague (Salida D); en la pasteurizadora se generan 4 efluentes líquidos (Salida 1, 2, 3, 4), producto del reboso o derrame de los tanques de almacenamiento, los mismos que tienen un flujo de 8801.28 HL/mes y una elevada temperatura).

La cantidad de agua que ingresa a la Línea 2 es 23520.67 HL/mes (5.1 L/s) y sale 14947.84 HL/mes (3.24 L/s), teniendo una pérdida en diferentes lugares de la Línea 2 en una cantidad de 8572.83 HL/mes (1.86 L/s), con un porcentaje de pérdida de 36.44%, este alto porcentaje se debe principalmente al uso desmedido de limpieza a través de mangueras por todo el piso de esta línea de producción, como por el derrame de agua en los tanques de almacenamiento de la pasteurizadora.

3.2.3. Balance de Energía de la Línea 3 del Proceso de Embotellado

La entrada de vapor aparece cierto índice que la empresa maneja para facilidad de manejo y control del consumo del vapor, el valor de este índice es 24.75 Kg vapor/ HL netos envasados. El condensado

que tiene una temperatura de 91°C, que se recupera es de 10285.74 HL/mes (1028574 Kg/mes), que constituye un 92.64% de condensado recuperado, este condensado principalmente se lo recupera en la lavadora de botellas; se desperdicia unos 817.32 HL/mes (81731.67 Kg/mes) en la pasteurizadora debido a fugas en las tuberías, que corresponden a un 7.36% de pérdidas de condensado, cuya pérdida económica es de 9807.80 USD/año (817.32 USD/mes).

3.2.4. Balance de Energía de la Línea 2 del Proceso de Embotellado

En la Línea 2 se necesita 444810 Kg /mes de vapor a 80 psig ($T^{\circ} = 155.57^{\circ}\text{C}$), esta cantidad de vapor se reparte en la lavadora de botellas y pasteurizadora.

El condensado que se forma y se recupera con una temperatura de 91°C en la lavadora de botellas es de 4094.25 HL/mes (409424.67 Kg/mes), que constituye en un 92.04% de condensado recuperado, el cual se lo envía de vuelta al Proceso de Motrices para nuevamente transformarlo en vapor.

En esta línea de producción, se desperdicia 353.85 HL/mes (35385.33 Kg/mes) de condensado, el mismo que corresponde el 7.96% de condensado perdido, esto es debido a que el intercambiador de calor que se encuentra en la pasteurizadora es un circuito abierto, por donde el condensado que se forma se combina con el agua que se encuentra en los tanques de almacenamiento de la pasteurizadora. La pérdida económica es de 4246.24 USD /año (353.85 USD/mes).

3.2.5. Tiempo de Funcionamiento de las Máquinas en el Proceso de Embotellado

Como en el proceso de embotellado es continuo, las máquinas funcionan todo el día de producción, el cual empieza con el primer turno (7h00 a 15h00), luego viene el segundo turno (15h00 a 23h00), por lo que cada máquina de este proceso, funciona 16 horas diarias tanto en la Línea 3 como en la Línea 2.

La Línea 3 generalmente trabaja 3 días a la semana, 16 horas diarias, de lunes a viernes, lo que equivale a 192 horas al mes. El porcentaje del tiempo utilizado tiene un valor promedio de 99.39% con una desviación estándar de 0.005, lo que demuestra que todas las máquinas funcionan de forma normal y excelente, sin tener entonces que optimizar el proceso para ninguna de las máquinas de la Línea 3.

La Línea 2 generalmente trabaja 2 días a la semana, 16 horas diarias, de lunes a viernes, lo que equivale a 128 horas por mes. El porcentaje del tiempo utilizado tiene un valor promedio de 99.50% con una desviación estándar de 0.004, lo que demuestra que todas las máquinas funcionan de forma normal, sin tener entonces que optimizar el proceso para ninguna de las máquinas de la Línea 2.

3.2.6. Propiedades Físico-Químicas del Agua que Ingresa al Proceso de Embotellado

El agua general tiene un valor de alcalinidad de 195 ppm CaCO_3 con una desviación estándar de 1, 123.3 ppm CaCO_3 de dureza con una dispersión de 7.51 y el valor del pH es 7.5 con una desviación estándar de 0.08.

El agua ablandada tiene un valor de alcalinidad de 184.7 ppm CaCO_3 con una desviación estándar de 1.53, 2.7 ppm CaCO_3 de dureza con una dispersión de 1.15 y el valor del pH es 7.5 con una desviación estándar de 0.05.

3.2.7. Discusión de Resultados de los Parámetros de Contaminación

De acuerdo a los resultados de los análisis que se encuentran en las tablas 1, 2, 3, 4, se define las características que posee cada efluente líquido generado en el proceso de embotellado.

En la Línea 3, el valor del pH del efluente generado en la lavadora de botellas que se sale del valor máximo permisible con un valor de 12.51, tiene mayor valor de DBO_5 y DQO que el resto de los efluentes. En la Línea 2, El efluente líquido de la salida C de la lavadora de botellas es el más básico ya que tiene un valor de pH 13.08, Los efluentes que poseen mayor DBO_5 , es el de la salida A de la lavadora de botellas y el de la envasadora, El efluente líquido en la salida A de la lavadora de botellas tiene un valor de DQO muy superior a los demás efluentes.

3.2.8. Selección de los Efluentes Líquidos que pueden ser Recuperados en el Proceso de Embotellado

De acuerdo a los resultados de los análisis, se selecciona los efluentes líquidos que pueden ser recuperados en el proceso de embotellado tanto en la Línea 3 como en la Línea 2; se consideran algunos de

los parámetros de contaminación principales como son: caudal, DQO, DBO₅, sólidos suspendidos y el pH para asegurar la compatibilidad que traen consigo los efluentes líquidos seleccionados al momento de mezclarse en el tanque y cisterna de recuperación.

Los efluentes líquidos que van a ser recuperados y reutilizados, son aquellos que poseen la menor cantidad de carga con relación al valor del caudal, DBO₅ y DQO.

En la Línea 3 se tiene los siguientes efluentes líquidos: lavadora de cajas salidas 1-2, y pasteurizadora. En la Línea 2 se tiene los siguientes efluentes líquidos: pasteurizadora salidas 1-2-3 y 4.

3.2.9. Determinación y Diseño de los Equipos para la Recuperación y Reutilización de los Efluentes Líquidos en el Proceso de Embotellado

a. Sistema de Recuperación y Reutilización para la Línea 3

Para la Línea 3, los efluentes van a ser llevados con ayuda de tubería y bombas primero a una torre de enfriamiento [10] para bajar su temperatura desde 39°C a 28°C, luego esta agua enfriada se envía a un tanque de almacenamiento, el cual tiene una capacidad de 3000L [11]. El agua que se va a reutilizar va al tanque de almacenamiento de la lavadora de cajas y a los tanques de almacenamiento en la pasteurizadora, para enfriamiento y nivelación de estos.

El tiempo que tiene que estar abierta completamente la válvula de agua general es de 71 min. (1h 11min), el tiempo de retención del agua recuperada en el relleno de la torre de enfriamiento es 4.97 min. y el tiempo de retención para un volumen de 1500 litros de agua recuperada en el tanque de recirculación es 12.44 min. (12min. 26seg.).

b. Sistema de Recuperación y Reutilización para la Línea 2

Para la Línea 2, los efluentes líquidos, van a ser llevados con la ayuda de tuberías y bombas primero a una torre de enfriamiento [10] para bajar su temperatura desde 51°C a 38°C, luego esta agua enfriada se envía a una cisterna que se encuentra en la parte superior a lado de la Línea 1 la cual está fuera de servicio; a esta cisterna llega agua

proveniente de otra cisterna que almacena agua del efluente líquido de la salida D en la lavadora de botellas; a este efluente líquido se lo va a recircular mediante un circuito interno en la lavadora de botellas para que esta agua vaya al tanque cero (zona de pre-lavado) de la misma máquina. El agua recuperada se la envía con la ayuda de una bomba desde la cisterna a los tanques de almacenamiento de la lavadora de cajas y pasteurizadora, para enfriamiento y nivelación de estos [11].

El tiempo que tiene que estar abierta completamente la válvula de agua general es de 77.95 min. (1h 18 min.), el tiempo de retención del agua recuperada en contacto con el relleno de la torre de enfriamiento es 3.57 min y el tiempo retención para un volumen de 3140 litros de agua recuperada en la cisterna es 27.44 min. (13min 6seg.).

3.2.10. Evaluación Económica

a. Beneficio Económico de la Empresa al realizar la Disminución de los Efluentes Líquidos en el Proceso de Embotellado

Al realizar la disminución de los efluentes líquidos por medio de la recuperación y reutilización se tienen los siguientes beneficios:

Cantidad de agua general ahorrada: Se ahorra alrededor de 228965.76 HL./año de agua general.

Cantidad de agua residual tratada ahorrada: Se ahorra 166717,44 HL/año de agua residual tratada en la Línea 3 y 105615,36 HL/año de agua residual tratada en la Línea 2, dando un total 272332,80 HL/año de agua residual tratada.

Beneficio económico por el ahorro de agua general y agua residual tratada: El precio del agua general es de 0.24 USD/m³ y del agua residual tratada es 0.15 USD /m³. (Costos nominales que tiene la empresa). Este beneficio se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Beneficio Económico por el Ahorro de Agua General y Agua Residual Tratada

| INGRESOS POR RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN | | | | |
|---|----------------|--------------|--------------|---------------|
| | Ahorro Mensual | Ahorro Anual | Unidades | Costo USD/año |
| Agua | 19080,48 | 228965,76 | HL | 5495,18 |
| Agua residual tratada | | | | |
| Línea 3 | 13893,12 | 166717,44 | HL | |
| Línea 2 | 8801,28 | 105615,36 | HL | |
| Total agua residual | 22694,40 | 272332,80 | HL | 4084,99 |
| | | | Total | 9580,17 |

“Fuente: elaboración propia”; HL = Hectolitros

b. Análisis Económico o Financiero

La inversión que se realiza por la adquisición de los equipos y otros gastos es 13828,20 USD, la misma que se recupera en 2.22 años (2 años 2 meses 13 días). Los parámetros de rentabilidad del proyecto se aprecian en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados del Análisis Económico y del Flujo de Caja Neto del Proyecto

| PARÁMETROS PARA ESTIMAR LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO | | |
|--|----------|------|
| VALOR ACTUAL NETO (VAN) | 15423,25 | USD |
| TASA NETA DE RETORNO (% /año) | 18,59 | % |
| CAPITAL TOTAL DESCONTADO | 13828,20 | USD |
| TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) | 42,28 | % |
| TIEMPO DE PAGO DE LA INVERSIÓN | 2,22 | años |
| FRACCIÓN DE PAGO NETO | 0,22 | |
| TIEMPO DE VIDA | 5,00 | años |
| TIEMPO DE OPERACIÓN | 4,00 | años |

“Fuente: elaboración propia”; VAN = Valor Actual Neto, TIR = Tasa Interna de Retorno

c. Análisis de Sensibilidad con respecto al Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

En el caso cuando solo se toma en cuenta el ahorro de agua general, a pesar de que su tasa interna de retorno es mayor a la tasa atractiva de retorno (12.17%), el valor de su VAN es bajo (2023.83 USD).

Cuando se toma en cuenta el ahorro tanto del agua general y del agua residual tratada se obtiene un TIR del 42.28% y su valor actual neto es de 15423.25 USD.

La diferencia entre los valores del VAN respecto al primer caso donde solo se ahorra agua general y el segundo caso considerando también el ahorro de agua residual tratada es 13399.42 USD, esto es debido a que el VAN del primer caso tiene un valor bajo, y la diferencia entre los valores del TIR es de un 30.11%.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El agua de reposición total para lograr un circuito cerrado en la Línea 3 es 0.07203 L/s (5976HL/año) y en la Línea 2 es 0.086 L/s (4756.80 HL/año), logrando un total de 10732.8 HL/año de agua de

reposición. Esta agua de reposición es para mantener un volumen de 1500 litros del tanque de recuperación en la Línea 3 y 3140 L de la cisterna recuperadora en la Línea 2.

La cantidad de condensado que se pierde en la Línea 3 es 9807.84 HL/año (425.68 Kg/h), con una pérdida económica de 982.94 USD/año, y en la Línea 2 se pierde 4246.6 HL/año de condensado (276.45 Kg/h), con una pérdida económica de 425.57 USD/año. La pérdida económica total en las 2 líneas de producción es 1408.51 USD/año.

La cantidad de agua que se pierde en la Línea 3 es 191072.64 HL/año (2.30 L/s), este alto valor se debe a la pérdida de agua que se produce en la lavadora de botellas (zona de enjuague), cuya agua se manda a un tanque de almacenamiento junto a esta máquina, cuyo tamaño no es suficiente para almacenar todo el flujo de agua que entra y al uso desmedido de agua para la limpieza a través de mangueras por todo el piso de esta línea de producción.

La cantidad de agua que se pierde en la Línea 2 es 102873.96 HL/año (1.86 L/s), este valor se debe a la pérdida producto del derrame de agua en los tanques de almacenamiento de la pasteurizadora, así como también por el uso desmedido del agua para la limpieza a través de mangueras por todo el piso de esta línea de producción.

Tanto el criterio de la carga simple como la carga combinada nos indica que en la Línea 3, los efluentes de mayor poder de contaminación son los de la lavadora de botellas y los de las envasadoras, siendo los de menor grado de contaminación los efluentes líquidos de la pasteurizadora y los efluentes de la lavadora de cajas, en la Línea 2 los que constituyen de mayor grado contaminante son el efluente líquido de la salida A en la lavadora de botellas, el de la envasadora y el efluente de la salida C también en la lavadora de botellas, citando como los efluentes de menor poder de contaminación los 4 efluentes líquidos de la pasteurizadora y el efluente de la salida D en la lavadora de botellas.

El efluente líquido en la lavadora de botellas de la salida D (Línea 2) tiene valores de parámetros de contaminación principales aceptables como lo establece la Ordenanza Municipal, así como valores de carga simple y carga combinada de bajo poder contaminante, es por esto que se concluye que este

tipo de agua cumple los requisitos para su recuperación y reutilización, como se lo ha estado realizando.

Los efluentes líquidos a ser recuperados y reutilizados son: los efluentes líquidos de la lavadora de cajas y pasteurizadora en la Línea 3 y los 4 efluentes líquidos de la pasteurizadora en la Línea 2

El sistema sugerido para la recuperación y reutilización, cuenta con un tanque de almacenamiento de agua, cuya capacidad es de 3000 litros para la Línea 3 y una cisterna en la Línea 2 cuya capacidad es 6290 L, tanto el tanque como al cisterna son propiedad de la empresa, 2 torres de enfriamiento, tubería y bombas.

El tiempo de retención del agua recuperada al pasar el relleno de la torre de enfriamiento en la Línea 3 es de 4.97 min., mientras que en el relleno de la torre de enfriamiento en la Línea 2 es 3.57 min.

El tiempo de retención para un nivel de agua de 1500 L en el tanque de almacenamiento de la Línea 3 es 12.44 min., mientras que para un nivel de agua de 3140 L en la cisterna de la Línea 2 es 27.44 min.

El tiempo que tiene que abrirse completamente la válvula de agua general en la Línea 3 es de 1 hora 11 minutos y en la Línea 2 es 1h 18 minutos, para luego de estos tiempos, cerrar parcialmente las válvulas de las máquinas donde se va a recircular, para permitir el ingreso solo de la cantidad de agua de reposición para cada línea de producción.

La cantidad de agua general ahorrada es 228965.76 HL/año, obteniendo un beneficio económico de 4740,08 USD/año. Este beneficio económico se lo realiza tomando en cuenta los costos o gastos operacionales adicionales.

Se ahorra 272332.80 HL/año de agua residual tratada, con esto se obtiene un beneficio económico de 3329.89 USD/año, tomando en cuenta los costos o gastos operacionales adicionales.

La inversión realizada es 13828.20 USD, la cual se recupera a los 2.22 años (2 años 2 meses 13 días), con un valor actual neto (VAN) de 15423.25 USD y una tasa interna de retorno (TIR) del 42.28%, que se calcula para un tiempo de vida útil de 5 años,

con lo cual se concluye que el proyecto es factible y rentable, porque primeramente presenta un valor actual neto mayor que cero y su tasa interna de retorno es 9 veces mayor a la tasa media atractiva de retorno (TMRA) que ofrecen los bancos.

Tomando en cuenta en el análisis económico, el ahorro solamente de agua general se tiene un TIR de 12.17%, con un VAN de 2023.83 USD, en cambio tomando en cuenta el ahorro de agua general y agua residual tratada tenemos un TIR de 42.28% con un VAN de 15423.25 USD.

Con este proyecto se ayuda a la empresa, a través de la recuperación y reutilización de los efluentes líquidos, con cierto beneficio como es la optimización del tratamiento de aguas debido a la disminución del volumen de agua tratada.

Se obtiene también como beneficio ambiental, la disminución del consumo de agua.

REFERENCIAS

- [1] American society of brewing chemists, "Methods o Analysis", 8th Edition, 1992, pp. 21-22.
- [2] Apha, Awwa, Wpcf, "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales", vol. 5220 B, C, Ediciones Diaz de Santos, S.A., Madrid, España, 1992., pp. 5-14 – 5-15 – 5-17 – 5-18 – 5-19, 5210 B., pp. 5-4 – 5-12, 4500-O C., pp. 4-172 - 4-176, 4500-H+, pp. 4-106 – 4-115, 2550 A., pp. 2-88 – 2-89, 2540 B. pp. 2-80 – 2-81, 2540 C. pp. 2-81– 2-82 – 2-83, 2540 D. pp. 2-83– 2-84 – 2-85, 2540 F. pp. 2-86 – 2-87, 2320 A. pp. 2-38 – 2-39 – 2-40 – 2-41– 2-42– 2-43; 2340 B. pp. 2-57 – 2-58 – 2-59 – 2-60– 2-61– 2-62.
- [3] División de control de calidad. Dpto. de control de calidad, "Técnicas de análisis de aguas", 1ra Ed., Bavaria - Colombia, 1999, p. 16.
- [4] Jalil, J., "Folleto de alternativas de tratamiento de aguas de desecho industrial", 1ra Ed., 2002, pp. 15, 21.
- [5] León, L.F., "Índice de calidad del agua, ica", Inf. # SH-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550 Jiutepec, México, 1999, p. 36.
- [6] Michalek, R., Lombardo, G., De Le Chesnaye, F., "Manual de capacitación de minimización de residuos", New York, 1996, pp. 1-15, 17-24.
- [7] Muñoz, M., "Folleto de efluentes industriales", Unidad de Ingeniería Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, 2000, pp. 1-6.
- [8] R. Mujeriego. (1999, Jun 04). Técnicas de recuperación, distribución y reutilización de las aguas depuradas. [On line]. Available: <http://www.Ictnet.es/conferencias>.
- [9] Nalco chemical company, "Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones", Tomo I, Sección 1 Capítulo I, Editorial Mc GRAW-HILL, México, 1995, pp. 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, Capítulo IV pp. 4-4, 4-5,4-7,4-18, 4-19,4-20 Tomo III, pp. G-1, G-3, G-4, G-5, G-8, G-10.

- [10] Ocon García, J., Tojo Barreiro, G., “Problemas de ingeniería química, operaciones básicas”, 1ra Ed., Tomo I, 1982, pp. 382-383-399-411.
- [11] Perry, R., “Perry’s chemical engineers’ handbook”, 7th edition, tomo II, McGraw-Hill Companies, sección 6, 1999, pp. 6-4 – 6-8 – 6-13 - 6-39 – 6-41 – 6-42 – 6-56 – 6-111 – 6-113.
- [12] Prats, D., “Conceptos generales sobre reutilización, calidad del agua y usos posibles”, Universidad de Alicante, 1999, pp. 1-3.
- [13] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, “Producción más limpia (un paquete de recursos de capacitación)”, 1ra ed., Ciudad de México, México, 1999, pp. 5-12, 30.
- [14] Seminario sobre tratamiento de efluentes industriales, “Aplicaciones industriales”, Editorial Latinreco S.A., 1993, pp.1-2.
- [15] Urwin, R., “Goulds pump manual”, 4th Edition, Advertising Manager, Inc, 1983, pp. 285-291.