

## Estudio de las aguas industriales y residuales en la UEB Central Azucarero "Paquito Rosales"

### Study of Industrial Waste Water in a Sugar Factory UEB "Paquito Rosales"

José Alberto Motito-Legrá<sup>I</sup>, Osmel Rosseaux-Reve<sup>I</sup>, Dra.C Dania Del Toro-Álvarez<sup>II</sup>

I: Delegación del CITMA, Santiago de Cuba, Cuba. jmotito@citmasc.ciges.inf.cu

II: Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. daniadt@fiq.uo.edu.cu

---

#### RESUMEN

Este trabajo se ocupa de la estimación de los flujos de condensados que se generan en el proceso de obtención de azúcar de caña, a través de la evaluación técnica de los equipos fundamentales del proceso, lo que permitirá en una etapa posterior evaluar el funcionamiento del sistema de tratamiento de residuales líquidos generados en el proceso tecnológico de la UEB Central Azucarero "Paquito Rosales", ubicado en el municipio San Luis. Las ecuaciones fundamentales de los balances de masa y energía permitieron estimar el flujo de condensado generado en cada uno de los equipos del proceso, los que se sometieron posteriormente a un análisis físico-químico, cuyos resultados demostraron que el 44 % de estos caudales están contaminados con azúcar, según la clasificación de trazas ligeras, medias y fuertes. Una vez estimados los flujos de condensados se procedió a estimar la eficiencia del sistema de tratamiento del residual líquido para el año 2012, siendo la misma de un 20 % de eficiencia, la cual se encuentra por debajo del rango establecido en las normas (85-90 %); lo que demuestra el mal funcionamiento de ese sistema de tratamiento.

**Palabras claves:** condensados, sistema de tratamiento, residuales.

---

#### ABSTRACT

He occupies this work of the esteem of the flows of extracts that are generated in the process of obtaining of cane sugar, through the technical evaluation of fundamental teams of the process, that will permit in a posterior stage to evaluate the functioning of the system of treatment of residual liquids generated in the Central Sugar Little Reddish UEB's technological process Rose Bushes, located at the municipality San Luis. The fundamental equations of the balances of mass and energy permitted estimating the flow of extract generated in each one of the teams of the process, the ones that submitted to at a later time a physical analysis - chemical, of whom proven to be demonstrated that 44 % of these flow intensities are contaminated with sugar, according to the classification of light, half traces and fortresses. Once once the flows of extracts were estimated it was proceeded to estimating the efficiency of the system of treatment of the residual liquid for the year 2012, being the same one belonging to a 20 % of efficiency, which meets underneath the range established in standards (85-90 %); That demonstrates the impairment of function of that system of treatment.

**Keywords:** Extracts, system of treatment residual.

---

## **INTRODUCCIÓN**

La industria azucarera se considera como una de las más antiguas tanto en el país como en el mundo. Desde sus inicios, más de un siglo, estas industrias se proyectaron y construyeron sin tener en cuenta el volumen y el impacto de los residuales líquidos, los que se caracterizan por ser altamente agresivos y tóxicos. Las consecuencias de las decisiones tomadas han traído enormes daños al medio ambiente, los que en la mayoría de las veces son irreversibles. Ejemplos de impactos ecológicos negativos se reportan y se aprecian en las zonas costeras, los mantos freáticos, ríos, presas, lagunas y suelos de diferentes partes del país [1].

En el proceso de producción de azúcar, además del producto principal, se obtienen condensados que se generan en diferentes equipos. Estos condensados son analizados para determinar su calidad físico-químico y determinar su destino: tanques de agua para alimentar la caldera y tanques para uso del proceso tecnológico (agua de imbibición, dilución de mieles, lavado en centrifugas y otras) [2].

Actualmente, en la UEB Central Azucarero "Paquito Rosales", una parte del volumen de condensado total teórico destinado hacia la caldera está siendo afectado por contaminaciones reflejadas en los análisis físico-químicos que se realizan. De esta manera, parte de esa agua se destina hacia la laguna estabilizadora, uniéndose a las que llegan del reboso del enfriadero y las provenientes del lavado de los equipos, estas últimas con una alta carga de contenido de ácidos y bases.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El equipamiento utilizado ha sido el correspondiente a la UEB Central Azucarero "Paquito Rosales" y sus laboratorios y el procedimiento ha consistido en:

- Seleccionar las ecuaciones fundamentales para realizar el balance de masa y energía en cada uno de los bloques tecnológicos y por equipos utilizados en el proceso.
- Identificar la información de los datos de operación correspondiente a un período determinado de la planta.
- Calcular los flujos de condensado generados en los diferentes equipos a través de las ecuaciones seleccionadas.
- Caracterizar los condensados por métodos físico-químicos.

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Los condensados son producidos por diferentes equipos entre los que se encuentran los calentadores, los pre-evaporadores, cuádruple efecto y tachos.

Para los cálculos se utiliza la metodología propuesta en [3]. Estos cálculos se realizan para determinar los caudales de agua de retorno que procede de cada equipo, a fin de evaluar la magnitud de los mismos y comprobar si existe o no un adecuado uso. Nos brinda información acerca del flujo de agua de retorno que se envía a la caldera, el volumen del flujo contaminado con azúcar y su destino.

### Expresiones de cálculo en los calentadores

La cantidad de vapor que se utiliza para lograr el calentamiento del jugo es el condensado que se produce, y se calcula por:

$$W = Q / \lambda \dots\dots\dots(1)$$

donde:

W: Cantidad de vapor y condensado generado, kg/h.

Q: Cantidad de calor necesario para calentar el jugo que entra a calentadores kcal/h.

$\lambda$ : Calor latente de vaporización correspondiente al vapor de calentamiento.

Para calcular el valor de Q se aplican las siguientes fórmulas:

$$Q = M * C_p (T_f - T_0) * x \dots\dots(2)$$

$$C_p = 1 - 0.0056 * B_{rix} \dots\dots(3)$$

donde:

Q: Flujo de calor necesario para calentar el jugo que entra a calentadores (kcal/h).

M: Flujo de jugo que se alimenta a los calentadores (kg/h).

$T_f$  y  $T_0$ : Temperatura inicial y final del jugo alcalizado (C).

$C_p$ : Coeficiente de pérdida de calor al medio ambiente (1.02-1.08).

x: Calor específico del jugo (kcal/kg C).

$B_{rix}$ : Concentración del material alimentado (jugo alcalizado).

### Expresiones de cálculo en los pre-evaporadores (ver figura 1)

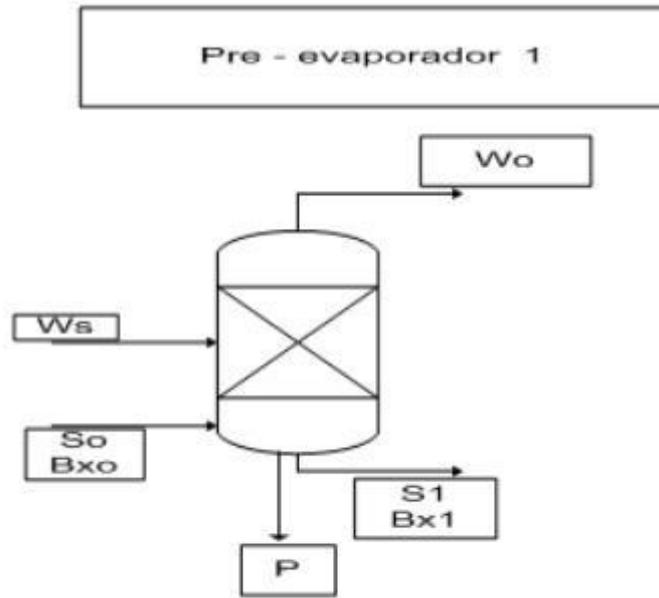


Fig.1 Primer pre-evaporador.

#### Ecuación de balance de masa

$$S_0 \cdot B_{x0} = S_1 \cdot B_{x1} \dots (4)$$

donde:

P: Flujo de condensado que se genera en la calandria de este equipo (kg/h).

$S_0$ : Flujo de jugo clarificado alimentado al pre-evaporador (Kg/h).

$B_{x0}$ : Concentración del material alimentado (jugo clarificado).

$B_{x1}$ : Concentración del material saliendo del primer pre-evaporador.

$S_1$ : Flujo de jugo concentrado a la salida del equipo, m(kg/h).

$$W_0 = S_0 - S_1 \dots (5)$$

donde:

$W_0$ : Flujo de vapor generado en el primer pre-evaporador que se alimenta a la calandria del segundo pre-evaporador y se condensa (kg/h).

#### Ecuación de Balance de Energía (ver ecuación)

$$W_s * \lambda_s = W_0 * \lambda_0 + S_0 * C_p * \Delta t \dots\dots\dots(6)$$

donde:

$W_s$  : Flujo de vapor alimentado al primer pre-evaporador (kg/h).

$\lambda_s$  : Calor latente de vaporización correspondiente al vapor de calentamiento (kcal/h).

$\lambda_0$  Calor latente de vaporización correspondiente al vapor generado en el primer pre-evaporador (kcal/h).

$S_0$  : Flujo de jugo clarificado alimentado al pre-evaporador (kg/h).

$C_p$  : Calor específico del jugo (kcal/kg C).

$\Delta t$  Diferencia de temperatura existente en el jugo a la entrada y salida del primer pre-evaporador (°C).

Para el segundo pre-evaporador (ver figura 2)

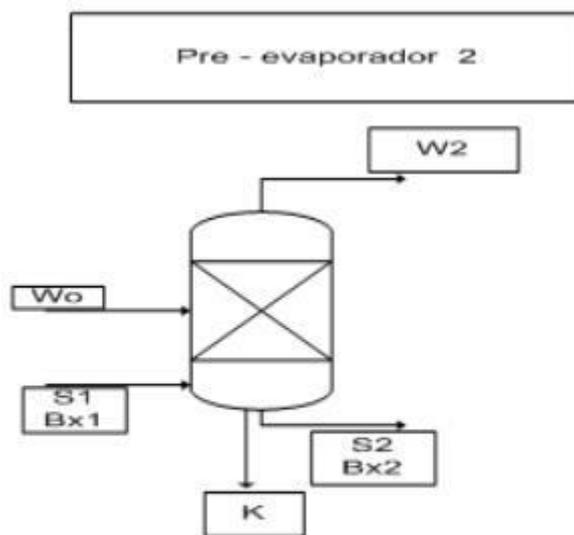


Fig.2 Segundo pre-evaporador.

**Ecuación de balance de masa**

$$S_1 * B_{x1} = S_2 * B_{x2} \dots\dots(7)$$

donde:

$S_1$ : Flujo de jugo concentrado alimentado al segundo pre-evaporador, (kg/h).

$B_{x1}$ : Concentración del material alimentado (jugo concentrado).

$B_{x2}$ : Concentración del material saliendo del segundo pre-evaporador.  
 $S_2$ : Flujo de jugo concentrado que va al primer vaso del cuádruple, (kg/h).

$$W_2 = S_1 - S_2 \dots (8)$$

donde:

$W_2$ : Flujo de vapor generado en el segundo pre-evaporador que se alimenta a la línea general de vapor de escape (baja presión) (kg/h).  
 $k$ : Flujo de condensado (kg/h).

**Ecuación de balance de energía (ver ecuación)**

$$W_0 * \lambda_0 = W_2 * \lambda_2 + S_1 * C_p * \Delta t \dots \dots \dots (9)$$

donde:

$W_0$ : Flujo de vapor alimentado al segundo pre-evaporador, (kg/h).

$\lambda_0$ : Calor latente de vaporización correspondiente al vapor de calentamiento (kcal/h).

$\lambda_2$ : Calor latente de vaporización correspondiente al vapor generado en el segundo pre-evaporador (kcal/h). la línea general de vapor de escape, (kg/h).

$S_1$ : Flujo de jugo concentrado alimentado al segundo pre-evaporador, (kg/h).

$C_p$ : Calor específico del jugo (kcal/kg C).

$\Delta t$ : Diferencia de temperatura existente en el jugo a la entrada y salida del segundo pre-evaporador (°C).

$W_2$ : Flujo de vapor generado que se alimenta a la línea general de vapor de escape. (kg/h).

**Expresiones de cálculo en el cuádruple efecto**

En el cuádruple efecto se utilizan las ecuaciones 4, 5, 6, 7, 8 y 9, considerándose que en cada vaso ocurre condensación, evaporación y concentración.

Conociendo la presión de vapor que entra a la calandria del primer vaso y la presión del cuerpo de cada efecto se busca en la referencia [2], la temperatura y el calor latente de vaporización (ver figura 3).

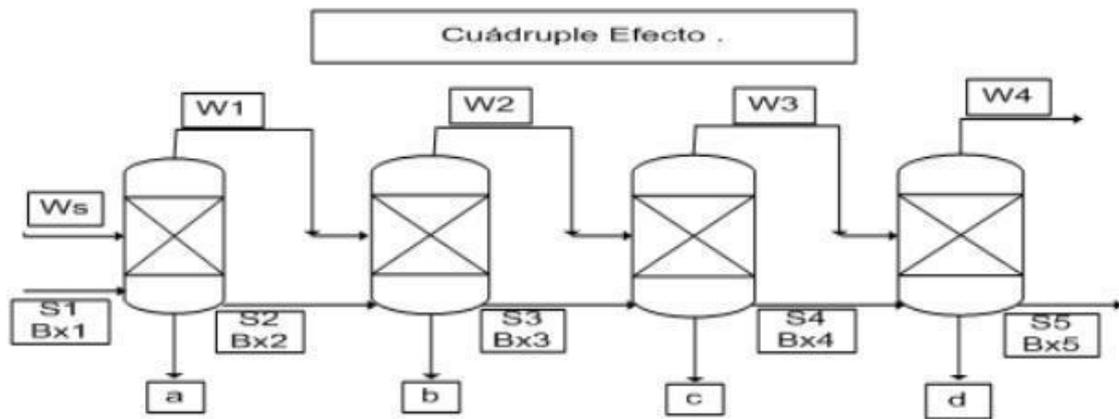


Fig. 3 Cuádruple efecto.

donde:

a, b, c y d : Flujos de condensado que se produce en la calandria de cada vaso evaporador (kg/h).

$W_1, W_2, W_3, W_4$  : Flujos de vapores que se generan en cada cuerpo del vaso evaporador (kg/h).

S1, S2, S3, S4 : Flujos de material azucarado a la entrada y salida de cada vaso (kg/h).

S5 :Flujo de Meladura, producto final obtenido en el cuádruple (kg/h).

Brix 1, Brix 2, Brix 3, Brix 4, Brix 5  
Concentración del material a la entrada y salida de cada vaso.

### Expresiones de cálculo en los tachos

Para determinar el flujo de condensado que se genera en estos equipos es necesario el cálculo del consumo de vapor de los tachos por lo que se efectúan balances de materiales con el fin de determinar la cantidad de agua evaporada del material inicial (pie de templa) y del material alimentado (meladura, miel).

Se realizan operaciones para tres tipos de productos: Masa Cocida A, B y C, esto ocurre en el interior de los tachos y se alimentan distintos materiales para aborarlos.

Para determinar el agua evaporada inicialmente en los tachos se utilizan las fórmulas 10 y 11:

$$Wt = P_0 * \left(1 - \frac{B_{rix0}}{B_{rixf}}\right) \dots\dots\dots (10)$$

donde:

$W_t$ : Flujo de vapor generado en los tachos que se condensa y va al enfriadero (kg/h).

$B_{rix0}$  : Concentración del material al inicio.

$B_{rixf}$  : Concentración de la masa cocida al final.

$P_0$ : Peso del material inicial (Kg).

Peso del material inicial ( $P_0$ ).

$$P_0 = \gamma_0 * V_0 \dots\dots\dots (11)$$

donde:

$\gamma$ : Peso específico del material alimentado (kg/m<sup>3</sup>)

$V_0$ : Volumen inicial del material (pie de templa, m<sup>3</sup>)

El peso del material final y peso del material alimentado. Ver fórmulas 12 y 13:

$$P_f = \gamma_f * V_f \dots\dots\dots (12)$$

donde:

$V_f$ : Volumen final del producto que se descarga del tacho (m<sup>3</sup>).

$\gamma_f$ : Peso específico del material al final (kg/m<sup>3</sup>)

Peso de material alimentado.

$$P_{mat} = (P_f - P_0 - Wt) * \frac{B_{rixf}}{B_{rix0}} \dots\dots\dots (13)$$

Cantidad de agua evaporada en el material que se alimenta.

$$W_{mat} = P_{mat} * (1 - (Brix_0 / Brix_f)) \dots\dots(14)$$

$B_{rix0}$ : Concentración del material inicial alimentado que puede ser meladura o miel.

$B_{rixf}$ : Concentración de la masa cocida al final.

Flujo de vapor hacia los condensadores que se condensa y va al enfriadero.

$$F_{\text{cond}}=W_t \dots (15)$$

### **Sistema de análisis de los condensados industriales**

En el central existe un laboratorio donde se realizan las determinaciones para conocer las características físico-químico del condensado, para ello se emplean diversas técnicas o métodos como se muestran a continuación:

- Método basado en la determinación del contenido de sacarosa [5]

El resultado de este análisis define el uso del condensado que puede ser: para alimentar la caldera si no existe traza (concentración) de sacarosa o para usar en el proceso tecnológico (con media o elevada concentración de sacarosa) [6]. Este análisis se realiza cada una hora y cuando la situación es crítica, es decir al incrementarse el volumen de contaminación se realiza el análisis cada treinta minutos.

Existen muchos métodos eficaces para la determinación de sacarosa en las aguas, de ellos, los más sensibles a la presencia de sacarosa en las aguas son: con molibdato de amonio.

Este es el método que se utiliza en el central, que consiste en tomar 5 mL de agua a analizar (condensado de los equipos) en un tubo de ensayo se añaden 6 gotas de ácido clorhídrico concentrado, 3 mL de solución al 4 % de molibdato de amonio, luego se coloca el tubo con la mezcla en agua hirviente durante 6 minutos, la aparición de una coloración azul indica la presencia de azúcar.

- El-alfa-naftol.
- El ácido pícrico.
- El licor de Fehling.
- El timol.
- El nitrato de cobalto.

A los condensados se les determinan otros parámetros que nos permite caracterizarlos tales como:

- La dureza. Método del EDTA (sal sódica del ácido etilen-diamino-tetraacético).
- El pH
- La alcalinidad.
- Método basado en los Sólidos totales disueltos
- La temperatura.

### **Sistema de tratamiento de residuos líquidos**

Durante el proceso de elaboración del azúcar se genera cierta cantidad de residuos líquidos, cuyas características potencialmente contaminantes hacen necesario su tratamiento con el fin de disminuir su impacto negativo en los cuerpos receptores (ríos, quebradas, etc.).

Para el tratamiento de las aguas residuales de los centrales azucareros se han utilizado los sistemas de lagunas de oxidación, también los filtros biológicos o lechos bacterianos y los procesos de lodos activados.

Este central tenía cuatro lagunas de oxidación con las siguientes dimensiones: 85 m de largo, 35 m de ancho y 3 m de profundidad con un volumen de trabajo de 8 925 000 L en cada laguna para un total de 26 775 000 L, desde hace varios años se eliminó la cuarta laguna.

Actualmente se encuentran funcionando solo tres lagunas. La tercera laguna esta retenida y no vierte al exterior La Eficiencia del sistema de tratamiento del residuo líquido se determina por la ecuación 16.

$$E_f = ((DBO_{Laguna1} - DBO_{Laguna3}) / DBO_{Laguna1}) * 100 \dots (16)$$

donde:

DBOLaguna1: Valor de la demanda bioquímica de oxígeno en la laguna 1.  
DBOLaguna2: Valor de la demanda bioquímica de oxígeno en la laguna 3.

La ecuación puede expresarse en función de otros términos que permiten evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de residuales líquidos tales como: DQO, grasas, sólidos, nitrógeno, en mg/L, g/L, kg/m<sup>3</sup>.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se utilizaron los datos correspondientes a la zafra 2013, tomados del informe final de zafra (ver tabla 1 y tabla 2).

**Tabla 1**  
Datos a utilizar en la estimación de los flujos de condensados

| Parámetros                                      | Datos      |
|---|------------|
| Caña molida                                     | 60455 kg/h |
| Temperatura inicial del jugo                    | 31.33 °C   |
| Temperatura final del jugo                      | 101.08 °C  |
| Extracción diluida                              | 90 %       |
| Temperatura del jugo clarificado                | 98 °C      |
| Brix del jugo mezclado                          | 14.53      |
| Brix del jugo clarificado                       | 14.91      |
| Brix de la meladura cuarto vaso                 | 61.24      |
| Brix MCA  | 92.49      |
| Brix MCB  | 94.29      |
| Brix MCC  | 95.68      |
| Brix grano fino                                 | 88.64      |
| Brix Miel A                                     | 75.91      |
| Brix Miel B                                     | 75.43      |
| Brix Miel C                                     | 90.58      |
| Brix grano mejorado                             | 90.15      |
| Presión de vapor en el calentador               | 0.4303     |
| Presión de vapor en la calandria del primer pre | 1.07       |
| Presión de vapor en el cuerpo del primer pre    | 0.445      |

|                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| Tiempo de cocción de la MCA          | 3 h                  |
| Tiempo de cocción de la MCB          | 4.5 h                |
| Tiempo de cocción de la MCC          | 5 h                  |
| Volumen inicial de las (MCA MCB MCC) | 14.16 m <sup>3</sup> |
| Volumen final MCA                    | 33.98 m <sup>3</sup> |
| Volumen final MCB                    | 28.32 m <sup>3</sup> |
| Volumen final MCC                    | 31.55 m <sup>3</sup> |
| Días de zafras                       | 118                  |
| Brix grano mejorado                  | 90.15                |

**Tabla 2**

Relación de flujos de condensados obtenidos de los balances de masa y energía

| Equipos tecnológicos                             | Generación de condensado (kg/h) | Calidad del condensado       |                                 |
|--|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|  |                                 | Contiene trazas de sacarosas | No contiene trazas de sacarosas |
| Calentadores                                     | 6618.54                         | x                            |                                 |
| 1er Pre-evaporador                               | 6217.21                         |                              | x                               |
| 2do Pre-evaporador                               | 4973.45                         |                              | x                               |
| Vaso No:1 (calandria)                            | 7000.00                         |                              | x                               |
| Vaso No:2 (calandria)                            | 7408.75                         |                              | x                               |
| Vaso No:3 (calandria)                            | 7833.90                         | x                            |                                 |
| Vaso No:4 (calandria)                            | 8622.68                         | x                            |                                 |
| Evaporación del Vaso No:4 (vapor al condensador) | 9162.86                         | x                            |                                 |
| Gasto de vapor en tachos                         | 3480.09                         |                              | x                               |
| Evaporación en tachos (Vapor al condensador)     | 2999.89                         | x                            |                                 |

A partir de las ecuaciones relacionadas en el fundamento teórico y de los datos tomados se obtienen los resultados mostrados anteriormente en la tabla 2.

El muestreo de los condensados se realiza a los dos pre-evaporadores, los vasos No: 1 y 2 del cuádruple efecto. Los vasos 3 y 4 no tienen tomas para el muestreo, se les realizan análisis de forma eventual, siempre se asumen como contaminados.

No existe toma para el muestreo de los calentadores y se envían hacia el tanque de agua contaminada.

Existe una sola tubería de condensados para los 6 tachos, cuando se detecta contaminación se desvía ese flujo total de condensado al tanque de agua contaminada procediéndose entonces a tomar muestras puntuales de la columna barométrica de cada tacho, para determinar cual contamina.

Una vez que se calculan los flujos de condensados, aquellos que cumplen los requisitos según las instrucciones técnicas, sin trazas o trazas ligeras de sacarosa son enviados a la caldera, mientras que los poseedores de traza fuerte y media son enviados a las aguas contaminadas para uso en el proceso tecnológico.

**F<sub>Caldera</sub>** = Primer y Segundo pre + Primer y Segundo vaso + Tachos = 721.72 m<sup>3</sup>/día

**F<sub>Contaminado</sub>** = Calentadores + Tercer y Cuarto vaso del cuadruple efecto + Salida del vapor cuarto vaso + Salida del vapor de los tachos = 874.55 m<sup>3</sup>/día

El vapor que se genera en el cuarto vaso del cuádruple efecto y los tachos va al condensador y luego al enfriadero, en este caso es 301,86 m<sup>3</sup>/día de agua alimentada al enfriadero.

Al tanque de agua contaminada llegan 874,55 m<sup>3</sup>/día y se consumen en las necesidades tecnológicas 327,41 m<sup>3</sup>/día, según [3] .La diferencia 547,14 m<sup>3</sup>/día (547 140 L/día) se envía por gravedad al enfriadero.

Según [4] la capacidad del enfriadero es igual al agua de rechazo, en este caso el enfriadero tiene capacidad para almacenar 301 860 L, el 5 % del agua debe reponerse, según [2] ya que ocurren procesos de evaporación y arrastre por los vientos que ocasionan pérdidas de 15 093 L. Esta reposición se toma de los 547 140 L/día quedando todavía en exceso 532 047 L/día que se envía al enfriadero y por el rebozo va a una zanja que llega a la primera laguna.

Según [6], la industria utiliza una caldera marca RETAL de 60 toneladas/h que trabaja con una eficiencia del 55 %, entonces producirá 33 toneladas de vapor /h que requieren 819 027 Litros de agua. Se generan 721 720 L/día por lo que existe un déficit de 97 307 litros de agua que se suplen con agua de río que se somete a un proceso de tratamiento químico.

Del 100 % del condensado generado por la industria (1596,08 m<sup>3</sup>/día) se envía a la caldera el 45,20 %, al tanque de agua contaminada el 35,88 % y al enfriadero va el 18,92 %; esto implica la necesidad de utilizar agua externa para suplir el faltante en el agua de alimentación a caldera, la cual debe tratarse en la planta.

### **Determinación de la eficiencia del sistema de tratamiento de residuales líquidos**

Para evaluar el tratamiento del sistema de residuales es necesario la determinación de los parámetros que son de vital importancia para la determinación de la eficiencia.

En la tabla 3 se muestran los valores de los parámetros de pH, DBO, DQO, Cl - y NH 4 , de los análisis realizados a las lagunas estabilizadoras 1 y 3 durante los años 2011, 2012 y 2013, y en la tabla 4 se exponen los valores de los parámetros determinados a las aguas residuales.

Según [7], el tratamiento realizado a líquidos residuales usando las lagunas estabilizadoras alcanza una eficiencia del 80-95 % de remoción de la materia orgánica biodegradable, en este caso los valores de eficiencia calculados son bajos, ocasionados por la situación actual que se presenta:

- La primera laguna tiene cubierto su interior con el 95 % de sólidos y la segunda con el 70 %.
- No se puede regular el flujo entre las lagunas, ya que se han eliminado las válvulas de regulación y se han hecho canales entre las lagunas con una amplitud de 4 m, no existiendo tiempo de residencia en cada una de ellas, el líquido pasa de la primera laguna a la última libremente y el comportamiento del sistema de tratamiento de residuales es como una gran laguna.
- Funcionamiento inadecuado de la trampa que existe a la salida del taller ferroviario, lo cual favorece la presencia de hidrocarburo en la primera laguna. No se mide el flujo de residual líquido que recibe la primera laguna.
- Taludes poco definidos y cubiertos de cultivo desde las márgenes de la superficie líquida.

En la tabla 3 se muestran los valores de los parámetros determinados a las aguas residuales y en la tabla 4 los valores de eficiencia calculados para el sistema de tratamiento.

**Tabla 3**  
Valores de los parámetros determinados a las aguas residuales

| Parámetros                                     | Año 2011<br>(Enero) |             | Año 2012 (Marzo) |             | Año 2013 (Febrero) |             |
|--|---------------------|-------------|------------------|-------------|--------------------|-------------|
|  | Laguna No.1         | Laguna No.3 | Laguna No.1      | Laguna No.3 | Laguna No.1        | Laguna No.3 |
| DBO (mg/L)                                     | 3706                | 2976        | 2006             | 1766        | 3406               | 2964        |
| DQO (mg/L)                                     | 12000               | 9200        | 3500             | 2900        | 4510               | 3820        |
| pH   | 4.05                | 4.33        | 6.40             | 7.12        | 4.79               | 7.86        |
| Turbidez (NTU)                                 | 240                 | 140         | 250              | 100         | 273                | 262         |
| NH <sub>4</sub> (mg/L)                         | 9.84                | 11.86       | 7.44             | 8.06        | 10.85              | 9.16        |
| N (mg/L)                                       | 110.0               | 90.0        | 130.0            | 98.0        | 160.0              | 106.0       |
| PO <sub>4</sub> (mg/L)                         | 24.0                | 25.0        | 117.0            | 120.0       | 12.42              | 11.56       |
| Conductividad eléctrica (mS.cm <sup>-1</sup> ) | 7020.0              | 6930.0      | 6090.0           | 5330.0      | 5390.0             | 4930.0      |

**Tabla 4**  
Valores de eficiencia calculados para el sistema de tratamiento

| Parámetro    | Año 2011 | Año 2012 | Año 2013 |
|--------------|----------|----------|----------|
| Eficiencia % | 20       | 12       | 13       |

## CONCLUSIONES

1. Se estimó, a través de balances de masas y energía, el flujo de condensado generado en: los calentadores, pre-evaporadores, cuádruple efecto, tachos.
2. Se identificó que existe un inadecuado sistema de muestreo de los condensados, algunas corrientes no se muestrean y en otras existen varios equipos acoplados a una tubería esto conlleva al poco control y desaprovechamiento de los condensados que se generan provocando que solo el 45,20 % del condensado generado se puede utilizar en la caldera, hay que suplir el déficit con agua tratada de río.
3. Se determinó la eficiencia del sistema de tratamiento de residual líquido para varios años, quedando demostrado el mal funcionamiento del del mismo con un 20 % de eficiencia como valor máximo alcanzado.

## **NOMENCLATURA**

a, b, c y d: Flujos de condensado producido en cada vaso evaporador (kg/h).

$B_{rixf}$ : Concentración de la masa cocida al final.

$B_{rix0}$ : Concentración del material inicial alimentado que puede ser meladura o miel.

Brix: Concentración del material alimentado (jugo alcalizado).

$C_p$ : Calor específico del jugo (kcal/kg C).

K: Flujo de condensado (kg/h).

M: Flujo de jugo que se alimenta a los calentadores (kg/h).

P: Flujo de condensado (kg/h).

$P_0$ : Peso del material inicial (kg).

Q: Cantidad de calor necesario para calentar el jugo que entra a calentadores (kcal/h).

$S_0$ : Flujo de jugo clarificado alimentado al preevaporador (kg/h).

S: Flujo de jugo concentrado a la salida del equipo (kg/h).

$S_1, S_2, S_3, S_4$ : Flujos de material azucarado a la entrada y salida de cada vaso (kg/h).

$S_5$ : Flujo de Meladura, producto final obtenido en el cuádruple (kg/h).

$T_f$  y  $T_0$ : Temperatura inicial y final del jugo alcalizado (C).

$V_0$ : Volumen inicial del material (pie de templa,  $m^3$ ).

$V_f$ : Volumen final del producto que se descarga del tacho,  $m^3$ ).

W: Cantidad de vapor (kg/h).

$W_0$ : Flujo de vapor generado en el primer preevaporador que se alimenta a la calandria del segundo pre-evaporador y se condensa. (kg/h).

$W_1, W_2, W_3, W_4$  : Flujos de vapores que se generan en cada vaso evaporador. (kg/h).

$W_5$ : Flujo de vapor alimentado al primer preevaporador. (kg/h).

$x$ : Coeficiente de pérdida de calor al medio ambiente (1.02- 1.08).

$\Delta$  : Peso específico del material alimentado (kg/m<sup>3</sup>).

$\Delta_f$ : Peso específico del material al final (kg/m<sup>3</sup>).

$\lambda$  : Calor latente de vaporización correspondiente al vapor de calentamiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Castellanos, J. A.; González, F; Puerta, J. F. La Problemática del consumo de agua en la industria azucarera. [Documento en línea].
2. HUGOT E. Manual para Ingenieros azucareros. Compañía editorial Continental SA. México DF, 1987.
3. Revé R,O Estudio de la influencia de los condensados industriales en la UEB Central Azucarero Paquito Rosales. Trabajo de diploma, 2013.
4. Manual Analítico de Control Unificado para la Producción de Azúcar Crudo .Tomo I, Junio 1982.
5. Deloya A Manual de Técnicas Analíticas de aguas en la industria azucarera. Dirección de maquinaria industrial. Departamento de Generación de vapor. 2006.
6. López Soto Yanet .Estudio energético en la UEB Central Azucarero Paquito Rosales. Trabajo de Diploma. 2013.
7. Terry Berro C.Carmen Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental. Marzo 2010.

Recibido: Mayo 2014

Aprobado: Septiembre 2014

*José Alberto Motito-Legrá.* Delegación del CITMA, Santiago de Cuba, Cuba.  
jmotito@citmasc.ciges.inf.cu