

Consumo de agua en una entidad procesadora de pescado. Requerimientos energéticos asociados

Water consumption in a fish processing entity. Associated energy requirements

Teresita de Jesús Romero López y Eddimara Montano Rivero

Centro de Investigaciones Hidráulicas. Universidad Tecnológica de La Habana
José Antonio Echevarría (CUJAE), Calle 114 No. 11901 entre Ciclovía y Rotonda,
Municipio Marianao, CP 19390, La Habana, Cuba, E-mail: teresitaromerolope@gmail.com,
teresita@cih.cujae.edu.cu

RESUMEN

En la industria pesquera (INDUPIR) se realizó un estudio referido al consumo de agua que se estaba generando en la línea de acabado, el que se cuantificó en estudios precedentes en 69 m³/d. Se detectó que las pérdidas fueron motivadas fundamentalmente por: 1. Problemas técnicos en las redes hidráulicas, que arrojó ser de 467 m³/mes y que no se corresponden con lo real reportado por la entidad y, 2. Problemas de operación en el proceso, que resultó de 621 m³/mes. Ambas pérdidas alcanzaron un total de 1 088 m³/mes. Los consumos energéticos asociados con estas pérdidas, que contemplaron solamente la energía eléctrica consumida en la propia planta de proceso se elevaron a 138,5 kW-h, pérdida innecesaria que afecta económicamente la organización y al Sistema Electroenergético Nacional.

Palabras clave: consumo de energía, consumo de agua, industria, redes hidráulicas.

ABSTRACT

In the fishing industry (INDUPIR), a study was carried out regarding water consumption that was being generated in the finishing line, which was quantified in previous studies at 69 m³/d. It was detected that the losses were mainly caused by: 1. Technical problems in the hydraulic networks, which resulted in 467 m³/month and that they do not correspond to the real reported by the entity and, 2. Operational problems in the process, which reached 621 m³/month. Both losses reached a total of 1 088 m³/month. The energy consumption associated with these losses, which only included the electricity consumed in the process plant itself, amounted to 138,5 kW-h, an unnecessary loss that economically affects the organization and the National Electric System.

Keywords: energy consumption, water consumption, industry, hydraulic networks.

Recibido: 14/2/19

Revisado: 17/9/19

Aceptado: 20/9/19

INTRODUCCIÓN

Hasta hace algunos años, la humanidad no tenía una visión global del recurso agua, y, debido a la ignorancia de su valor económico, se comenzó a derrochar y a utilizar la misma con efectos perjudiciales para el ambiente (CIAMA, 2015); sin embargo, últimamente se ha venido creando la conciencia que, frente al desarrollo vertiginoso de la población, se crea una situación crítica con respecto al aprovechamiento del agua (Sotto & March, 1985). Su rápido crecimiento, combinado con

la industrialización, la urbanización, la intensificación de los cultivos agrícolas y los estilos de vida que provocan un alto consumo de agua, están dando como resultado una crisis mundial de abastecimiento.

Cuba no escapa a esta situación, viéndose severamente afectada por la falta de fuentes de agua alternativas con la cantidad y la calidad adecuadas para satisfacer la demanda creciente para el consumo humano y las actividades productivas, el estado ineficaz y obsoleto de las redes de suministro de agua, así como la falta de sistemas de tratamiento apropiados para las aguas residuales que limitan cualquier posible reúso.

Todo esto probablemente se verá agravado con el cambio climático. De ahí que las acciones que se tomen con el objetivo de mitigar sus efectos estarán dirigidas hacia tres grupos o sectores: el sector urbano, el turismo y el tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales (ONEI, 2014).

La presión que existe sobre el uso de diversos recursos, en especial los hídricos, obliga a utilizarlos cada vez de manera más racional y eficiente (Borroto, 2002).

La energía consumida por la utilización del agua en una industria, está ligada directamente al tipo de abasto que se tenga en la misma. En la mayoría de estas instalaciones, la energía se utiliza en los sistemas de bombeo ya sea para elevar y almacenar agua, así como para suministros de agua a presión.

Es el caso de las empresas industriales y de servicio de la provincia de Sancti Spíritus en Cuba, donde el agua tiene uno y hasta dos sistemas de bombeo antes de ser recibida por los clientes, los consumos energéticos se pueden duplicar y hasta triplicar en cada uno de estos sistemas, incluyendo los residuales.

De este análisis se comprende la importancia de una administración eficiente del recurso agua desde su uso hasta el punto de vista energético; de ahí que el estudio realizado en la Industria Pesquera de Sancti Spíritus (INDUPIR), tuvo como objetivo hacer referencia a las pérdidas de agua por problemas en las redes hidráulicas, en el beneficio del pescado y el consumo energético asociado a estas pérdidas, partiendo de un diagnóstico inicial que diera una idea del suministro, de las condiciones operacionales de las redes, las líneas de producción e, inclusive, hasta el tratamiento de residuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó a partir de la información arrojada en los estudios precedentes en INDUPIR (Rodríguez, 2011; Montano, 2013; Romero & Montano, 2015), donde se concluyó que en la industria existen tres salones fundamentales consumidores de agua: escama (72 m³/d), fondos exportables (36 m³/d) y conformados (7 m³/d) y que, por lo general, la cantidad de agua que se usa en las labores productivas está muy por encima de lo requerido para el beneficio del pescado (Romero & Montano, 2015).

Análisis del consumo de agua en la industria

En INDUPIR se pueden señalar dos tipos de pérdidas de agua como las más importantes: por problemas técnicos en las redes hidráulicas y por problemas de operación en el proceso.

Pérdidas de agua por problemas técnicos en las redes

Según la investigación de Romero & Montano (2015), en INDUPIR se cuenta con tres informaciones de consumo de agua muy importantes que dan una idea del malgasto del recurso que pudiera producirse en una industria de procesamiento de este tipo: consumo total del salón de proceso (en este caso salón de escama), dato que se puede obtener a partir de la aplicación de mediciones en el desagüe del salón por el método volumétrico reportado por Ochoa (2015); consumo total del establecimiento con el auxilio del instrumento de medición de agua instalado o cálculos aproximados según facturación mensual y consumo resultante a partir de la cuantificación realizada por cada trabajador en la línea de mayor consumo (escama).

En la segunda y tercera información se incluyen las pérdidas de agua por salideros en el salón de procesamiento, las cuales se vinculan en lo fundamental a problemas de las redes técnicas de la instalación. Las mismas se pueden calcular mediante la siguiente expresión:

$$PSH = CF - M_c \quad (1)$$

Donde:

PSH: pérdidas del sistema hidráulico;

CF: consumo promedio por facturación;

M_c: consumo promedio obtenido del análisis por trabajador.

Pérdidas de agua por problemas de operación en el procesamiento de la materia prima en el salón de escama

Existen además un grupo de causas que originan pérdidas de agua dentro del propio proceso en el salón de escama, vinculadas a la actividad que se realiza, destreza del personal que labora en la línea de producción, limitación de recursos materiales y estado técnico de las redes hidráulicas (incluida inoperatividad de las mismas) entre otras causas, que hacen que el consumo sea mayor que lo absolutamente necesario.

El cálculo de estas pérdidas se hace un poco complicado toda vez que depende de factores subjetivos, entre otros, lo que provoca la necesidad de recurrir a análisis grupales como es el caso de grupos de expertos que se conforman por sus conocimientos y antigüedad en la instalación. La determinación del número de expertos se realiza a partir de la distribución binomial de probabilidad siguiente:

$$n = \frac{p(1-p)^k}{i^2} \quad (2)$$

Donde:

- n : número de expertos;
- p : proporción estimada de errores de los expertos;
- i : nivel de precisión deseado;
- k : constante cuyo valor está asociado al nivel de confianza elegido.

Una vez conformado el grupo de expertos, se aplicó la técnica de tormenta de ideas expuesta por Vílchez (2010). Su objetivo principal fue determinar las causas del mal uso del agua en esta línea y su posible reducción. Una vez identificado el grupo, se procedió a aplicar la técnica anteriormente señalada.

La tormenta de ideas posibilitó tomar los criterios de los componentes del grupo de expertos sobre el tema en estudio, y la información que ofreció es una lista de alternativas que fueron el punto de partida para continuar el análisis.

Esta técnica, propuesta por primera vez en 1939 por Alex F. Osborne (Vílchez, 2010), no proporciona respuestas a preguntas. Por sus características principales, es una herramienta muy útil para situaciones en las cuales se buscan ideas nuevas y creatividad, además, escenarios en los cuales se precise fomentar la participación activa de todos los componentes de un grupo.

Durante un proceso de solución de problemas hay cuatro puntos en los que la realización de la tormenta de ideas puede ser muy útil: durante la definición de proyectos (para obtener una lista de posibles proyectos de mejora a abordar); durante la fase de diagnóstico del problema (para obtener la relación de causas de dicho problema); durante la fase de solución (para conseguir nuevas ideas sobre posibles salidas al problema) y para identificar posibles fuentes de resistencia a la implantación de las soluciones propuestas (Vílchez, 2010).

Con el uso de esta herramienta se pretendió fundamentalmente enmarcar las pérdidas de agua dentro de valores lógicos tomando en cuenta los problemas enumerados por el grupo, con el fin de cuantificar estos valores de forma que se pudo orientar el trabajo en tres direcciones: determinar las causas de las pérdidas de agua, cuantificar las pérdidas de agua y proponer las soluciones.

Estudio de los consumos energéticos asociados con las pérdidas de agua

El agua utilizada en INDUPIR es captada en el río Yayabo con el auxilio de una estación de bombeo y filtrada en la planta de tratamiento Yayabo. La misma brinda servicio a la Empresa Pesquera y a un amplio sector de la población de Sancti Spíritus, mediante trabajo en red con Acueducto Municipal.

Las aguas que son destinadas al uso de la industria se bombean a una cisterna y de ahí pasan a un tan-

que elevado, del cual se abastece la instalación. Esta operación se realiza por medio de dos bombas del tipo SIEMENS de 5,5 kW de potencia cada una, con un gasto de 12 L/s.

De ello se comprende que asociado al consumo de agua, existe también un consumo de energía eléctrica por concepto de bombeo, que depende del volumen de agua consumido en el proceso y servicio en la industria.

Si se modelan matemáticamente estas pérdidas de energía se llega a la ecuación siguiente:

$$E_p = \frac{PSH}{G} P \quad (3)$$

Donde:

- E_p : pérdida de energía;
- PSH : pérdidas del sistema hidráulico;
- G : gasto de la bomba;
- P : potencia del motor de la bomba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdidas por problemas técnicos en las redes hidráulicas (PSH)

El consumo total de agua en INDUPIR en 2013 resultó como se expone en la tabla 1.

TABLA 1. Consumo mensual de agua reportado por la empresa en 2013. Fuente: Montano (2013)

Meses	Consumo de agua (m ³ /mes)
Enero	1 105
Febrero	1 698
Marzo	2 165
Abril	2 836
Mayo	2 590
Junio	2 530
Julio	2 661
Agosto	2 617
Septiembre	2 536
Octubre	2 283
Noviembre	2 623
Diciembre	1 797
Promedio	2 537
Desviación estándar	201,3
Máximo	2 836
Mínimo	2 165

El consumo reportado por la empresa y tomando como media de los meses comprendidos entre marzo y noviembre (no se consideraron los meses atípicos), así como el promedio generado por los 15 trabajadores activos en la línea de escama, derivado del estudio que se efectuó por Romero & Montano (2015) (TABLA 2), permitieron realizar los cálculos más abajo señalados.

TABLA 2. Valores asociados con la línea de escama, según el trabajador

Trabajador	Consumo reportado por los estudios realizados (L/s)	Consumo total en la línea de escama (m ³ /d)
Promedio de los 15 trabajadores	0,16	69
3*	0,24	104
2*	0,06	26

Nota: * señalan el número que se le asignó a esos trabajadores para la realización del estudio (total 15).
 Fuente: Romero & Montano (2015).

$$CF = 2\,537 \text{ m}^3/\text{mes} \quad (4)$$

$$M_c = 69 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} 30\text{d} = 2\,070 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \quad (5)$$

$$PSH = CF - M_c \quad (6)$$

$$PSH = 2\,537 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} - 2\,070 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} = 467 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \quad (7)$$

Todo este análisis llevó a la reflexión de que el total de agua empleada en el salón de escama no se correspondió con los 2 500 m³/mes aproximadamente reportado por la unidad, de ahí que pudiera existir algún aporte extra que hiciera elevar las cifras por concepto de consumo.

Pérdidas por problemas de operación en el proceso (PO)

Es de esperar que todos los trabajadores no procesen la materia prima con la misma rapidez y calidad, lo que no quiere decir que se descuide el factor “ahorro” tratando de disminuir al máximo posible la cantidad de agua dedicada a las labores productivas, mediante un

programa de medidas técnicas organizativas de control y uso del recurso.

Otro aspecto que recibe la influencia directa del despilfarro del agua y el no cumplimiento de las regulaciones establecidas por el Estado, es la solvencia de la empresa.

A partir de los problemas existentes en el control del recurso agua, se seleccionan las necesidades para lograr un adecuado uso y aprovechamiento del mismo, realizando una tormenta de ideas con siete expertos de la organización. Tomando en consideración el criterio de los mismos se precisan los problemas que originan las pérdidas de agua en el proceso: ejecución de un plan de medidas interno que regule el uso y aprovechamiento del agua en la industria; preparación del personal en cuanto a una política adecuada de ahorro; implementación de medidores de caudal para la lectura del agua que es utilizada en los salones de proceso; creación de mecanismos para motivar al personal que decide la eficiencia energética y la divulgación sobre la necesidad del ahorro de energía en la empresa; utilización de los recursos con que se cuenta en actividades puntuales, que aprovechen y racionalicen el uso del agua; creación de equipos por salones de procesos, que se encarguen de controlar el uso del agua; capacitación de forma especializada a la dirección y personal involucrado en la producción; eliminación de los salideros en la línea de procesamiento de la materia prima; adquisición e instalación de llaves con pedal que cierren automáticamente cuando se culmine el procesamiento de la materia prima; implementación de identificación de índices físicos y su ordenamiento por prioridad. Para determinar si es o no confiable el juicio emitido por los expertos se utiliza el coeficiente de concordancia de Kendall, según lo expone EcuRed (2017).

Inicialmente se realiza una ponderación de las necesidades otorgándole un valor del 1 a 5, asignándole 1 al más importante. Con el resultado se procede a establecer la concordancia utilizando la siguiente expresión:

$$\omega = \frac{12 \sum \Delta^2}{M^2 (K^3 - K)} \quad (8)$$

Donde:

ω : coeficiente de concordancia;

M : número de expertos;

K : número de propiedades o índices a evaluar;

Δ : desviación del valor medio de los juicios emitidos (este valor se calcula mediante la ecuación (9)).

$$\Delta = \sum_{i=1}^m a_{ij} - \tau \quad (9)$$

Donde:

a_{ij} : juicio de importancia del índice i dado por el experto j ;

τ : factor de comparación (valor medio de los rangos).

$$\tau = \frac{M(K+1)}{2} = \frac{7(10+1)}{2} = 38,5 \quad (10)$$

El valor de ω debe estar entre (0 y 1).

En la tabla 3 se exponen las ponderaciones establecidas por el criterio de los expertos, logrando el valor de $\Sigma \Delta^2$ de 3 464,5. Sustituyendo los valores obtenidos, se tiene:

$$\omega = \frac{12(3464,5)}{7^2(10^3 - 10)} = 0,857 \quad (11)$$

Por lo que se puede decir que existió concordancia entre los juicios emitidos por los expertos.

TABLA 3. Ponderaciones establecidas por los expertos

Características	Criterio de los expertos							Σa_{ij}	Δ	Δ^2
	1	2	3	4	5	6	7			
Necesidad de un plan de medidas interno que regule el uso y aprovechamiento del agua en la industria.	4	3	2	1	3	2	2	17	-21,5	462,25
Preparación del personal en cuanto a una política adecuada de ahorro.	3	4	3	5	4	3	4	26	-12,5	156,25
Falta de medidores para la lectura del agua que es utilizada en los salones de proceso.	5	4	2	1	1	2	3	18	-20,5	420,25
Crear mecanismos para motivar al personal que decide la eficiencia energética y la divulgación sobre la necesidad del ahorro de energía en la empresa.	1	1	3	3	2	2	3	15	-23,5	552,25
Se precisa utilizar los recursos con que se cuenta en actividades puntuales, que aprovechen y racionalicen el uso del agua.	4	3	4	3	4	5	4	27	-11,5	132,25
Necesidad de crear equipos por salones por proceso, que se encarguen de controlar el uso del agua.	4	5	3	2	3	3	3	23	-15,5	240,25
Capacitar de forma especializada a la dirección y personal involucrado en la producción.	2	4	3	4	1	2	3	19	-19,5	380,25
Necesidad de eliminar los salideros en la línea de procesamiento de la materia prima.	2	2	3	4	2	3	4	20	-18,5	342,25
Necesidad de comprar e instalar llaves con pedal que cierren automáticamente cuando se culmine el procesamiento de la materia prima.	5	5	2	1	4	3	2	22	-16,5	272,25
Falta de identificación de índices físicos y su ordenamiento por prioridad.	2	2	3	2	2	3	2	16	-22,5	506,25
$\Sigma \Delta^2 = 3\ 464,5$										

Fuente: Montano (2013).

Los participantes, además de determinar los problemas existentes en la industria, llegaron a la conclusión que se puede reducir el consumo de agua tomando medidas que minimizaron los problemas detallados por el grupo.

Del análisis realizado por los expertos se dedujo que el valor de estas pérdidas estuvo en el entorno del 30 % del valor de agua que se maneja por trabajador, obteniéndose de esta manera las pérdidas por problemas de operación en el proceso con la siguiente expresión:

$$PO = M_c \times 0,3 \quad (12)$$

$$PO = 2\,070 \text{ m}^3/\text{mes} \times 0,30 = 621 \text{ m}^3/\text{mes} \quad (13)$$

Pérdidas totales de agua en INDUPIR (PT)

Las pérdidas totales se pudieron obtener por la suma de los dos tipos de pérdidas calculados anteriormente, o sea:

$$PT = PSH + PO \quad (14)$$

Donde:

PT: pérdidas totales;

PSH: pérdidas del sistema hidráulico;

PO: pérdidas por problemas de operación.

$$PT = 467 \text{ m}^3/\text{mes} + 621 \text{ m}^3/\text{mes} = 1\,088 \text{ m}^3/\text{mes} \quad (15)$$

Consumos energéticos asociados con las pérdidas de agua (Ep)

La energía necesaria para obtener los beneficios de un abasto de agua está vinculada al tipo de fuente de suministro, el tratamiento que se le dé al agua y otros factores asociados a condiciones propias y características de la fuente de abasto. Es en los sistemas de bombeo donde se consume el grueso de la energía; esta puede ser de diferentes tipos, siendo la energía eléctrica y el diésel las más utilizadas. En el caso del presente estudio se analizó la energía eléctrica consumida en la propia planta de proceso INDUPIR, debiéndose aclarar que esta agua es bombeada previamente en la fuente de abasto de la ciudad de Sancti Spiritus, energía que no se tuvo en cuenta en el trabajo.

Para el caso de las pérdidas de agua en la industria estudiada como elemento lógico la energía asociada a las mismas se pierde, energía eléctrica que hay que generar y transmitir, causando pérdidas a su vez de energía activa y reactiva, además de afectaciones económicas a la propia organización estudiada.

La magnitud de estas pérdidas de energía en un mes, se pudo calcular tomando en cuenta el volumen de agua perdido en este período, la potencia y el consumo energético de las dos electrobombas que elevan el

agua al reservorio de la planta, de 5,5 kW de potencia cada una con un gasto de 12 L/s, según fabricante.

$$Ep = \frac{PT}{G} P \quad (16)$$

Donde:

Ep: pérdida de energía;

PT: pérdidas totales;

G: gasto de la bomba;

P: potencia del motor de la bomba.

$$Ep = \frac{1088 \text{ m}^3}{24 \text{ L/s}} 11,0 \text{ kW} \quad (17)$$

Luego de hacer las correcciones correspondientes a las unidades utilizadas se tiene:

$$Ep = 138,5 \text{ kW-h} \quad (18)$$

CONCLUSIONES

1. Existe un sobreconsumo de agua en INDUPIR producido por pérdidas denominadas en el trabajo como: pérdidas por problemas técnicos en las redes hidráulicas (PSH), por valor de 467 m³/mes y pérdidas por problemas de operación en el proceso (PO), por valor de 621 m³/mes.
2. El sobreconsumo de agua en la planta genera un consumo de energía eléctrica no necesario por un monto de 138,5 kW-h por mes, que afecta económicamente la organización y al Sistema Electroenergético Nacional.

REFERENCIAS

- Aiteco (2017). Tormenta de ideas: Creatividad para la mejora. Copyright © 1999-2016. Aiteco Consultores. Extraído el 25 de marzo de 2017, de <https://www.aiteco.com/tormenta-de-ideas/>
- Borroto, N. A. (2002). Gestión energética empresarial. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, CITMA, Cienfuegos, Cuba.
- CIAMA (2015). El desarrollo sostenible. Declaración de Dublín sobre el agua. Extraído el 20 de diciembre de 2015, de <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/documents/espanol/icwedecs.html>
- EcuRed (2017). Coeficiente de Kendall. EcuRed. Conocimiento con todos y para todos. Extraído el 25 de marzo de 2017, de https://www.ecured.cu/Coeficiente_de_Kendall&oldid=1524717

- Montano, R. E. (2013). Evaluación del consumo de agua en las instalaciones procesadoras de recursos pesqueros en Sancti Spíritus (INDUPIR). Tesis de maestría para optar por el título de Máster en Ciencias Técnicas. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba.
- Ochoa, A. L. (2015). Métodos y sistemas de medición de gasto. Serie autodidacta de medición del agua. Extraído el 12 de septiembre de 2015, de www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fundamentos.pdf
- ONEI (2014). Anuario estadístico de Cuba 2012. Extraído el 11 de mayo de 2014, de http://www.onei.cu/aec2012/esp/20080618_tabla_cuadro.htm
- Rodríguez, R. C. (2011). Estudio de microlocalización de inversiones. Dirección Provincial de Planificación Física. Informe Técnico. Sancti Spíritus, Cuba.
- Romero, L. T. & Montano, R. E. (2015). Evaluación del consumo de agua en las labores productivas de la industria pesquera. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(1), 31-44.
- Sotto, L. & March, C. (1985). *Temas de ingeniería hidráulica*. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Fac. Hidráulica-Viales, ISPJAE, MES.
- Vílchez, C. (2010). Tormenta de ideas, una técnica para solucionar problemas. MBA & Educación. Extraído el 25 de marzo de 2017, de <http://mba.americaeconomia.com/articulos/reportajes/tormenta-de-idea.htm>