



Cálculo de los índices de consumo energéticos en la Panificadora Toyo

Marta Domingo
Waldo Ortiz
Ernesto Medina

Noviembre del 2001

Resumen / Abstract

En medio de la política nacional de ahorro y conservación de portadores energéticos se ubica este trabajo, realizado en la Panificadora Toyo de la Ciudad de La Habana. Entre los objetivos de este se encuentran: determinar los consumos de vapor y combustible, así como sus índices de consumo. El análisis y discusión de los resultados se entregó a la entidad con sus recomendaciones, siendo considerados de gran importancia.

Palabras clave: índices energéticos, combustible

Amid the national politics of saving and energy payees' conservation is located this work, done in the bakery Toyo of the city of Havana. Is for it that the objectives of the same one are: to determine the consumptions of vapor and fuel, as well as their consumption indexes. The analysis and discussion of the results were surrender to the entity with recommendations, being considered of great importance.

Key words: energy indexes, fuel

INTRODUCCIÓN

Esta panificadora es una de las más grandes y antiguas del país. El centro se ha dado a la tarea de detectar los principales consumidores que posee e ir disminuyendo paulatinamente las pérdidas de energía mediante el uso correcto de la tecnología y los portadores energéticos. El objetivo fundamental es sacar el mayor rendimiento posible a las cantidades de energía que se necesitan.

El estudio que se presenta a continuación tiene como objetivo la determinación de los consumos tanto de vapor, como de combustible, en todos los equipos, las pérdidas por tuberías, la eficiencia del generador de vapor y los índices de consumo energéticos de los tres talleres correspondientes y de la fábrica.

METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Aplicación del método de cálculo en Excel para las pérdidas de calor por tuberías. El método utiliza las ecuaciones convencionales de convección - radiación por pérdida de calor al medio ambiente, se empleó para el cálculo de las pérdidas de tuberías y su consumo de vapor correspondiente teniendo en cuenta los datos y especificaciones que se muestran a continuación.

Para su realización fue necesario determinar los siguientes parámetros:

- Longitud y diámetro de tuberías, especificando en cada caso las que están y no están aisladas.
- Emisividad de la superficie de las tuberías, papel de aluminio para las aisladas y acero para las que no lo están.

- Temperaturas de la superficie y del medio ambiente.
- Valor calórico inferior (diesel regular), calculado por los grados API, dado en la refinería "Nico López", así como su costo actual por tonelada y haciendo uso de la formula.¹

$$VCI = [9\,626,8 + 22,22 (^\circ\text{API} - 10)] 4,18 \text{ [kJ/kg]} \dots(1)$$

con estos datos se obtuvieron los resultados finales.

CÁLCULO DE CONSUMO EN LAS ESTUFAS

Estos equipos son los únicos consumidores de vapor en la fábrica. Por las características de los mismos se consideró que cada orificio de los flautines de las estufas por donde tiene que salir el vapor como una pitera, y se determinó el consumo de cada cámara por la expresión:²

$$Wv = 0,4 Dp^2 [P (P + 1)]^{0,5} \dots(2)$$

donde:

$$P \text{ [Atm]}, Dp \text{ [mm] y } Wv \text{ [kg/h]}$$

Luego se multiplica por el número de orificios que existen en cada cámara y por el tiempo diario que están consumiendo vapor cada una, ya por último se suman los consumos de las tres cámaras para obtener el consumo total de vapor diario para la humidificación y fermentación del pan.

Aplicación del balance de energía en los hornos

$$Q_{comb} = Q_{prod} + Q_{equip} + Q_{acces} + Q_{per} + Q_g + Q_{puertas} \dots(3)$$

El calor cedido por el combustible

donde:

$$Q_{comb} = M_{comb} VCI \dots(4)$$

El calor absorbido por el producto.³

$$Q_{prod} = W_c(H_{vr} - H_a) + g_c C_c(T_c - T_m) + (W_a C_a + g_p C_p)(T_p - T_m) \dots(5)$$

El calor absorbido por el equipo y los accesorios.⁴

$$Q_{equip} = M_{equip} C_{pequip} \Delta T \dots(6)$$

$$Q_{acces} = M_{acces} C_{pacces} \Delta T \dots(7)$$

El calor cedido al medio ambiente por radiación-convección.⁵

$$Q_{per} = h_a A \Delta T \dots(8)$$

$$h_a = [8,4 + 0,06 (T_p - T_{amb})] 1,163 \dots(9)$$

donde:

$$T_p \text{ y } T_{amb} \text{ [}^\circ\text{C] y } h_a \text{ [w/m}^2\text{ }^\circ\text{C]}$$

La cual tiene como restricción que T_p debe ser menor de 150 °C, por lo que se puede emplear en este caso.

El calor perdido por los gases de combustión:⁶

$$Q_g = M_{comb}(V_{ao} + (n - 1)VI)C_{pg}(T_g - T_a) \dots(10)$$

Para el cumplimiento de este objetivo se determinaron los valores de los parámetros V_{ao} , V_{lo} y n por la expresión tomada de (6), o sea:

$$V_{lo} = (a VCI / 4\,190) + b \text{ (11)}$$

$$V_{ao} = (c VCI / 4\,190) + d \text{ (12)}$$

donde:

$$VCI \text{ [kJ / kg]}, V_{lo} \text{ [m}^3\text{ aire/ m}^3\text{ combustible]}$$

$$V_{ao} \text{ [m}^3\text{ gas residual / m}^3\text{ comb.]}$$

Para combustibles líquidos $a = 0,85$; $b = 2$; $c = 1,11$ y $d = 0$

El valor del coeficiente de exceso de aire se determina por la expresión tomada de (6).

METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA LA EFICIENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR

Para el cálculo de la eficiencia del generador de vapor se toma el método indirecto por la ventaja que presenta el desglose de los cálculos, donde se pueden analizar la influencia de cada pérdida en el balance.

Pérdidas de calor sensible de los gases de combustión (porcentaje P_{cs})

Pérdidas al medio ambiente (porcentaje Pa)

Pérdidas por incombustión mecánica (Porcentaje Pim)

En este caso estas son las que influyen en este proceso.

Con estas pérdidas se pudo calcular la eficiencia del generador de vapor dando como resultado un valor de 79,77 %.

CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONSUMO

Índices de consumo de vapor y combustible equivalente por tonelada de pan (en estufas y tuberías)

- Por estufa
Kilogramos de vapor / día
Kilogramos de vapor / toneladas de pan
Litros de combustible / toneladas de pan

- Por pérdidas en tuberías
Kilogramos de vapor / día
Kilogramos de vapor / tonelada de pan
Litros de combustible / toneladas de pan

- Por talleres
Kilogramos de vapor / día
Kilogramos de vapor / toneladas de pan
Litros de combustible / toneladas de pan

Índice de consumo total de vapor teniendo en cuenta tanto las tuberías como las estufas por talleres

kilogramos de vapor / toneladas de pan
Litros de combustible / toneladas de pan
Pesos / toneladas de pan

Índice de consumo de combustible

- Por hornos
Litros de combustible / toneladas de pan (real)
Pesos / toneladas de pan (real)
Litros de combustible / toneladas de pan (necesario)
Pesos / toneladas de pan (necesario)

- General por talleres
Litros de combustible / toneladas de pan (real)
Pesos / toneladas de pan (real)
Litros de combustible / toneladas de pan (necesario)
Pesos / toneladas de pan (necesario)

Estos resultados se pueden observar en las tablas 1,2,3 y 4.

Tabla 1 Índice de consumo en las estufas de vapor y combustible por toneladas de pan			
Índice	Estufas		
	1	3	4
vapor / día (kg)	653,00	1 734,00	102,00
vapor / pan (kg/t)	742,04	1 806,36	165,06
Comb. / pan (L/t)	66,72	162,43	15,10

Tabla 2 Índice de consumo de vapor y combustible por taller			
Índice	Taller 1	Taller 3	Taller 4
Vapor / día (kg)	80,9	40,45	60,6
Vapor / pan (kg/t)	91,9	42,13	99,8
Comb / pan (L/t)	8,3	3,79	11,8

Tabla 3 Índice de consumo de combustible por horno				
Índice	Criollo (cada uno)	Estrella	Giratorio	Planta
Comb./pan (real) (L/t)	219,36	254,36	226,7	239,45
Pesos/pan (real)	44,4	51,48	45,88	48,44
Comb./pan (nec.)(L/t)	203,35	192	196,5	218
Pesos pan (nec.) (\$/t)	41,16	38,36	39,77	44,12

Tabla 4 Índice de consumo de combustible por taller			
Índice	Taller 1	Taller 3	Taller 4
Comb./ pan (real)	509,71	420,58	310
Pesos/ pan (real) (\$/t)	103,17	85,13	62,72
Comb./pan (nec.) (L/t)	477,69	358,22	248
Pesos/pan (nec.) (\$/t)	96,7	72,51	50,2

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de los consumos de vapor

En la fábrica los únicos equipos consumidores de vapor son las estufas o cámaras de fermentación, como en ellas se consideró que el vapor pasa a través de piteras, los flujos de vapor teóricos que se determinaron fueron de 783,81 kg / h para la estufa del taller 1 438,2 kg/h para la del 3 y 51 kg/ h para el taller 4, dando como resultado una masa de vapor consumida de 653 kg, 1 734,11 kg y 102 kg respectivamente. Se pudo observar que la estufa del taller 3 consume un 60 % del vapor total, esto se debe fundamentalmente a las condiciones de trabajo y estado de esta estufa, que en la panificadora es la que mayor preocupación ofrece.

Análisis de las pérdidas por tuberías

Se ha de destacar que el consumo de vapor por pérdidas en tuberías es de 404,52 kg diariamente, el cual es un número a considerar ya que representa un 14 % del consumo de vapor total. Esta cifra tan elevada se debe a que todo el tiempo de trabajo está circulando vapor por las tuberías, las cuales carecen de válvulas para independizar el paso a través de ellas, además de presentar tramos de tuberías sin aislamientos.

Análisis de los hornos como equipos consumidores de combustibles

Este análisis se realiza en los equipos por separado.

- Análisis en los hornos criollos

En estos hornos a pesar de ser bastante anticuados se pudo observar que la diferencia de consumo real con el teóricamente calculado es aproximadamente de 10 L, lo cual se debe al tiempo de uso de los quemadores así como a la forma de operar en ellos, que es diferente para cuando trabaja cada uno de los horneros debido a la experiencia que pueden haber acumulado cada uno de ellos en los años de trabajo.

- Análisis en el horno estrella

De todos los existentes este horno es el que más diferencia de consumo presenta con un valor aproximado de 60 L, esto se debe fundamentalmente al tiempo de vida útil del equipo; es uno de los más antiguos en la fábrica, además de la estructura que presenta y la forma de operación o de trabajo en cada turno. Es decir, que influye notablemente cómo trabaja cada operador, pues, encienden y apagan el quemador, cuando entienden que se enfrió o calentó el horno; muchas veces por experiencia, o como lo crean, pues el termómetro que tiene no siempre trabaja bien. Además en este horno se han visto trabajar diferentes operarios en el período.

- Análisis en el horno de carro giratorio

La diferencia de consumo de combustible en este equipo fue de 16 L respectivamente, lo cual está justificado por el gran tiempo de trabajo en este horno y la forma operacional del mismo. Ocurre que a veces queda abierto un tiempo apreciable cuando se traslada el carro a llevar la carga al otro lado del salón. Se debe destacar que a pesar de ser un horno pequeño procesa una gran masa de pan, lo cual efectivamente se puede observar en el análisis de las pérdidas por el calor absorbido por el producto que representa un 34 % de las pérdidas totales.

- Análisis en el horno de planta

El horno de planta durante las corridas que se realizaron se pudo observar que la diferencia de consumo entre

el real y el teórico fue de 21 L aproximadamente, lo cual se debe fundamentalmente a que este equipo no trabaja a su capacidad máxima y a que presenta períodos largos de receso entre turno y turno, lo que trae consigo que este horno se enfríe y se tenga que consumir una mayor cantidad de petróleo para elevar su temperatura, que es significativamente alta.

De forma general, se puede sintetizar que el horno estrella es el que presenta un mayor consumo de combustible en relación con el teóricamente requerido o el necesario, seguido por el de planta, el de carro giratorio y los dos criollos respectivamente, que el porcentaje de pérdidas más elevado fue el de los gases, seguido en algunos casos por las pérdidas del equipo y en otros por la del producto.

- Análisis de la eficiencia del generador de vapor
En esta caldera la eficiencia da un valor de 79,77 % donde solamente aportan pérdidas, los gases de combustión, las pérdidas al medio ambiente por radiación-convección y por incombustión mecánica, dando un mayor peso las pérdidas por calor sensible de los gases de combustión. Este resultado es muy satisfactorio teniendo en cuenta que no tiene otros aditamentos adicionales.

Las pérdidas al medio ambiente son elevadas si se tiene en cuenta el pequeño tamaño de la caldera y se debe a deficiencias en el aislamiento.

- Análisis de los índices de consumo

Se calcularon índices de consumo de vapor y de consumo de combustible tanto separado por cada consumidor como por talleres, así como el índice total por talleres todos llevados a combustible. En todos los casos los índices se calcularon con el objetivo de conocer la cantidad de vapor y de combustible consumida para producir determinada cantidad de productos. Además, se calcularon los índices de costos correspondientes.

Correspondiendo al consumo de vapor mayor, de las estufas, la 3 es la que mayores índices también presenta, tanto de vapor como de combustible, debido a lo expuesto anteriormente y a que trabaja mucho tiempo.

A consecuencia de las pérdidas de calor en tuberías, el índice de consumo de vapor y combustible 165,3 y 14,85 respectivamente, diarios son apreciables y es importante trabajar por disminuir los mismos. Por taller, el de mayores índices es también el 3, en cuanto a vapor y combustible por uso de vapor y en cuanto a

combustible en general, es el 1, y por lo tanto, de costo por este concepto.

Los índices de consumo de los elementos que tienen que ver con la producción de pan son mayores a los que no tienen que ver con dicha producción, lo que refleja un resultado coherente.

CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se logró calcular, en los equipos el consumo ya sea de vapor o de combustible tanto práctico como teórico en lo que fue posible, en los tres talleres respectivamente. Dando como resultado por separado a la estufa del taller 3 como la de mayor consumo de vapor con un valor de 1 734,11 kg de vapor diariamente y el horno estrella como el equipo de mayor consumo de combustible.

Se calcularon los consumos de las pérdidas de calor por tuberías, las cuales representan un porcentaje considerable con respecto al consumo total de vapor, su magnitud depende fundamentalmente del tiempo que se mantiene con vapor, su amplia trayectoria y la carencia en algunos casos de aislantes térmicos. Este valor de consumo fue de 404,52 kg de vapor diariamente representando un valor de 14 % del consumo total de vapor en la fábrica.

Los índices de vapor, combustible y costo por este concepto, son mayores en el taller 3. Los índices de combustible y costo correspondiente son mayores en el taller 1.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los índices de consumo calculados para comprobar el eficiente funcionamiento de los talleres estudiados, además de conocer el consumo de vapor y combustible tanto por equipo como por taller.
- Que se continúen los esfuerzos para lograr una verdadera disciplina tecnológica que impida el surgimiento de problemas operacionales que atenten contra la eficiencia energética.
- Analizar la posibilidad de colocación de válvulas en las tuberías de vapor para independizar sus recorridos.
- Realizar un estudio económico del horno estrella, por la alta ineficiencia energética que presenta en su operación.
- Tener en cuenta la posibilidad de reparación de la estufa del taller 3, así como realizar cambios estructurales de la misma.

- Analizar la posibilidad de un mayor trabajo en el horno de planta, así como un mayor uso de su capacidad para aliviar el trabajo del horno de carro giratorio y aumentar la rentabilidad del horno a analizar.

- Analizar la posibilidad de aislar térmicamente, las tuberías que lo requieran así como el generador de vapor.

REFERENCIAS

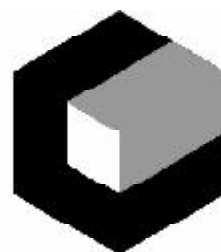
1. Díaz, J. L.: "Metodología de cálculo de caldera", ISPJAE, Ciudad de La Habana, 2000.
2. Crane Co: "Flow of Fluids Through Fittings and Pipes," Chicago, ILL, EUA, 1957.
3. Suárez, J. y D. Rudenko: *Procesos y equipos de la Industria Alimentaria* II, FT-1392, 1984.
4. Mijeeva, I. M.: "Fundamentos de termotransferencia", Ed. EMPES, Ciudad de La Habana, 1988.
5. Domínguez, A.: "Cálculo de las pérdidas de energía", Trabajo de Diploma, ISPJAE, Ciudad de La Habana, 1995.
6. "Combustión, análisis de gases, analizador orsat, *Revista de Energía*, Cuba, 1988.

AUTORES

Marta Domingo Montané
Ingeniera Química, Máster en Ciencias Técnicas,
Asistente, Facultad de Ingeniería Química, Instituto
Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE)
e-mail: martad@quimica.ispjae.edu.cu

Waldo Ortiz Vázquez
Ingeniero Químico, Centro de Ingeniería Genética y
Biotecnología (CIGB)

Ernesto Medina Garcés,
Ingeniero Químico, CIGB, Ciudad de La Habana



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae