

Reducción del impacto ambiental de calderas bagaceras mediante el empleo del secado de bagazo

Dora Paz*, Mario A. Octaviano** y Gerónimo J. Cárdenas*

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos al evaluar técnica y económicamente el secado de bagazo como alternativa de reducción del material particulado en las emisiones gaseosas de calderas. Esta opción contempla emplear todos los gases efluentes de la chimenea de la caldera para reducir la humedad del bagazo a efectos de mejorar la combustión y generación de vapor, con la consiguiente disminución del uso de combustibles adicionales. La mejora ambiental lograda es importante ya que permite reducir sustancialmente el material particulado de las emisiones gaseosas de calderas bagaceras desde alrededor de 4500 mg/m³ a menos de 300 mg/m³ a la salida de los multiciclones del secadero. Un análisis técnico-económico muestra que esta alternativa, además de los ya conocidos beneficios energéticos, permite reducciones del material particulado emitido del 96% con respecto al de la caldera bagacera original, con una TIR del 111,5% y un período de repago de sólo 3,3 meses, resultando por lo tanto, un mecanismo apropiado de limpieza de gases.

Palabras clave: limpieza, energía, material particulado.

ABSTRACT

Reduction of environmental impact of bagasse boilers by means of bagasse drying

Results obtained when evaluating technical and economically, bagasse drying as an alternative of particulate reduction of gaseous emissions of boilers, are shown. This option contemplates using all stack gases of the boiler to reduce bagasse moisture in order to improve combustion and steam production, with the consequent diminution of additional fuel. The obtained environmental improvement is important since substantial particulate reduction from about 4500 mg/m³ in gas emissions of original bagasse boilers to less than 300 mg/m³ at the outlet of multicyclones of dryer, is achieved. A technical-economic analysis shows that this alternative, in addition to already known energetic benefits, allows reductions of 96% in the emitted particulate respect to the original bagasse boiler, with a TIR of 111,5% and a revenue period of only 3,3 months, being therefore an appropriate mechanism of gas cleaning.

Key words: cleaning, energy, particulate.

* Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC.

** S.A. SER. Ingenio Ñuñorco, Tucumán, Argentina.

INTRODUCCIÓN

En general, los generadores de vapor que utilizan como combustible productos o residuos vegetales, tienen tendencia a arrojar junto a los gases de combustión partículas sólidas sin quemar o parcialmente quemadas, producto del diferente tamaño de las mismas y de los elevados niveles de humedad que suelen presentar dichos combustibles (Agrest, 1973). Si bien una buena regulación del proceso de combustión puede amortiguar este tipo de problema, la única garantía que las emisiones gaseosas tendrán un adecuado nivel de partículas en suspensión es el agregado de dispositivos apropiados a la salida de los gases para que retengan elevados porcentajes de dichas partículas.

Las calderas bagaceras que operan en las fábricas azucareras de Tucumán, no escapan a este tipo de problema, agravado por que en su gran mayoría son de diseños antiguos y carecen de sistemas de limpieza de los gases de chimenea.

En diversos países azucareros del mundo existen normas que regulan la cantidad de partículas que se permite puedan arrastrar los gases de combustión de calderas que queman bagazo.

En Argentina solamente existen pautas de carácter muy general sobre este tema referidas a calderas que se usan en usinas eléctricas de escasa difusión, producto de normas elaboradas por el ente regulador de la energía eléctrica (SEM, 2001). Con referencia a industrias que queman biomasa para producir energía de proceso no se conocen reglamentaciones referidas al particulado permitido en sus gases de combustión.

No obstante este vacío normativo, existe preocupación por las fábricas azucareras tucumanas por abordar este tema y buscar soluciones que permitan disminuir la expulsión de material particulado a la atmósfera que pueden ocasionar diversas molestias a otras actividades desarrolladas en el entorno fabril.

En vista a esta situación y en función de pedidos efectuados por algunas fábricas azucareras de la Provincia, la EEAOC comenzó en 1999 con la búsqueda de alternativas que permitan avanzar en la solución de este problema, sin generar gastos importantes.

El objeto del presente trabajo es presentar algunos resultados obtenidos al respecto aprovechando una tecnología, ampliamente estudiada en los últimos 12 años por el Área Industrial de la Institución, como es el secado de bagazo, para reducir el impacto ambiental de las emisiones gaseosas de calderas.

La alternativa planteada contempla emplear todos los gases efluentes de la chimenea de la caldera para reducir la humedad del bagazo a efectos de mejorar la combustión y generación de vapor, con la conocida disminución del uso de combustibles adicionales. Esta tecnología es particularmente útil para incrementar la eficiencia de generadores de vapor antiguos, como son en general las calderas de la industria local, con inversiones que se pagan en menos de una zafra con el ahorro en gas producido. El importante efecto adicional que se logra con esta tecnología es que al pasar todos los gases de chimenea por ciclones antes

de su expulsión a la atmósfera, se reduce sustancialmente el material particulado de las emisiones gaseosas de calderas bagaceras desde alrededor de 4500 mg/m³ a menos de 300 mg/m³ (Silva Lora *et al.*, 2000). Se determinó, mediante un análisis técnico-económico, los beneficios de esta tecnología frente a los tradicionales lavadores de gases, tipo scrubbers, analizando diferentes configuraciones, y sus implicancias energéticas, económicas y ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuó el análisis sobre una caldera bagacera acuatubular que produce 80 t/h de vapor a 21 ata y 320°C, equipada con un calentador de aire con un área total de intercambio de 2715 m², del tipo de las que se encuentran en la industria azucarera local. La caldera opera actualmente con un factor de dilución del aire (λ) de 1,8 y una temperatura de gases de chimenea de 180°C. El aire ingresa al calentador a 30°C y sale entre 190 y 200°C, los gases de chimenea a su vez, se enfrían desde 290°C hasta 180°C.

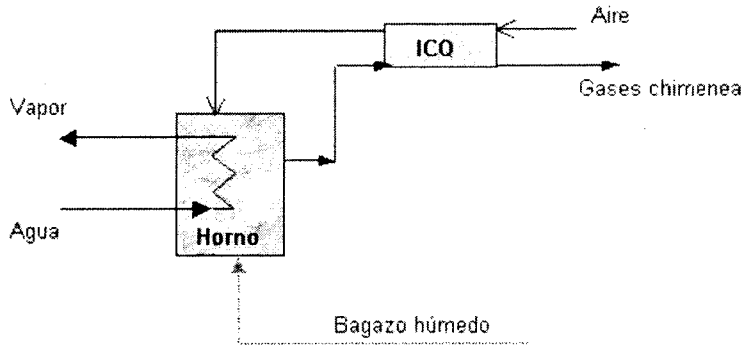
Se evaluó el secado de bagazo empleando todos los gases de chimenea de una caldera bagacera como alternativa de limpieza de los mismos. Se analizaron, técnica y económicamente, diferentes opciones, comparando esta nueva aplicación del secado de bagazo frente a los lavadores de gases tradicionales:

- **Opción 0:** Caldera bagacera original, de construcción antigua, con calentador de aire (ICQ), como son la mayoría de las existentes en la industria azucarera local (Fig.1 a).
- **Opción 1:** Caldera bagacera original, con lavador de gases de chimenea (tipo scrubber) y pileta para tratamiento del efluente líquido (Fig.1 b).
- **Opción 2:** Caldera bagacera con secador de bagazo operando con gases del horno, en paralelo al calentador de aire (Aralde *et al.* 1992). Lavador tradicional para los gases efluentes del calentador (Fig.1 c).
- **Opción 3:** Caldera bagacera con secador de bagazo con la totalidad de los gases efluentes de la chimenea (Temp.aprox 180°C) (Fig.1 d).

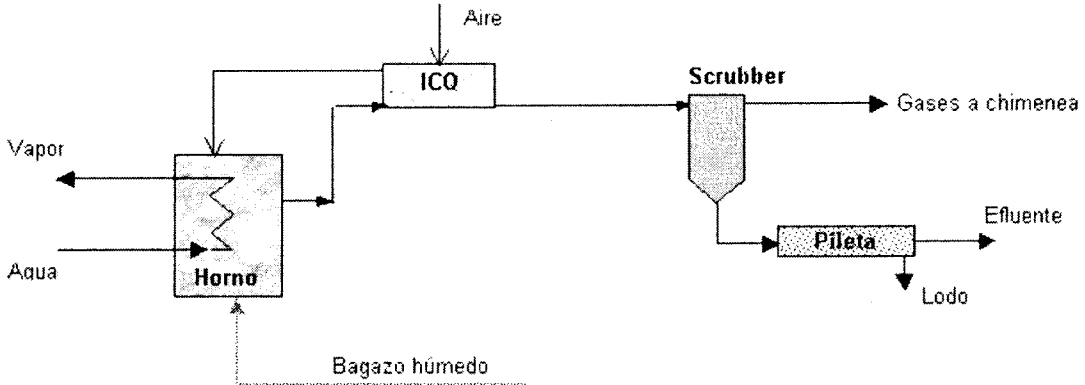
Se efectuaron los balances de masa y energía en cada opción planteada, empleando la hoja de cálculo Microsoft EXCEL 2000 que permite dibujar el esquema y resolver los balances en el mismo, siguiendo una metodología análoga a la propuesta por Paz y Cárdenas (1999). El comando usado, SOLVER, es una macro automática que permite analizar 3 tipos de problemas de optimización: lineal, no lineal y de entero (Watson y Fylstra, 1994). Esta herramienta permite optimizar (minimizar, maximizar, o igualar a un valor fijado por el usuario) una función objetivo, sujeta a múltiples restricciones, mediante el ajuste de las celdas cambiantes o variables de decisión hasta lograr una solución satisfactoria.

Para el diseño de los sistemas de secado en transporte neumático, determinación de pérdidas de carga en sistemas con transporte de sólidos, dimensionado de ventiladores y multiciclones, se em

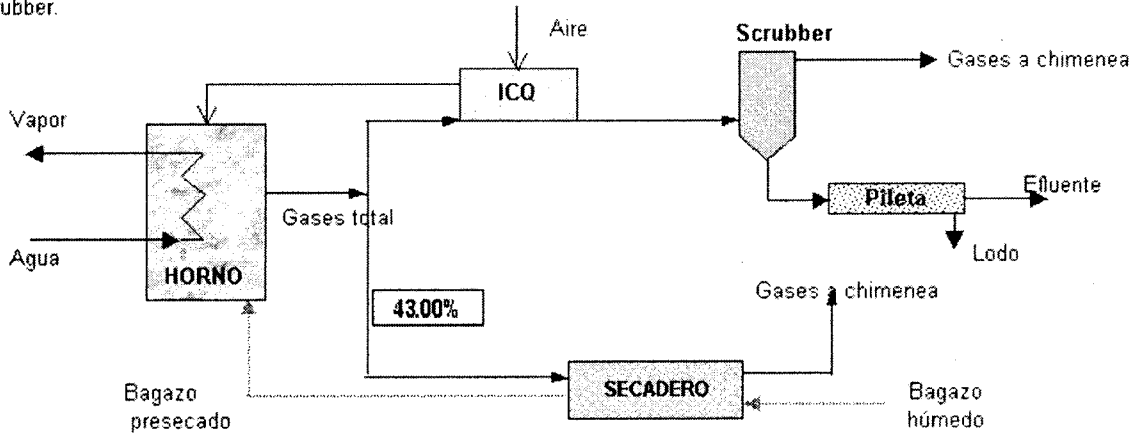
a) Opción 0: Esquema de la Caldera analizada.



b) Opción 1: Esquema de la Caldera + lavadores de gases de caldera (scrubber).



c) Opción 2: Esquema de la Caldera + secadero operando con parte de los gases de salida del horno de la caldera + scrubber.



d) Opción 3: Esquema de la Caldera + secadero operando con la totalidad de gases de chimenea.

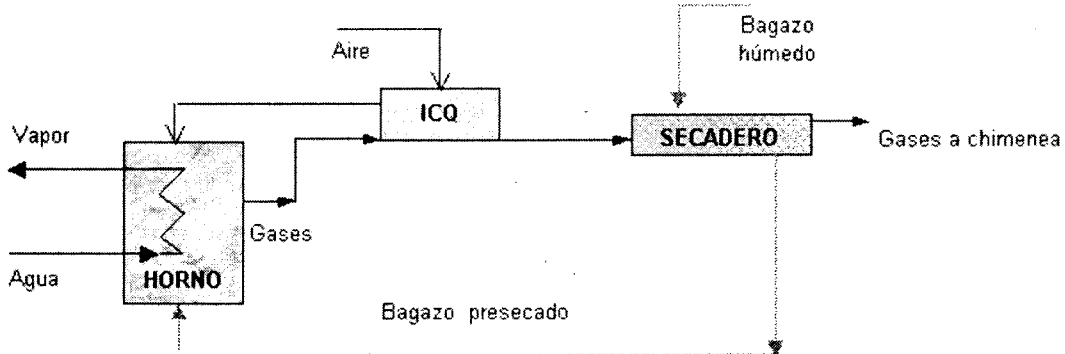


FIGURA 1. Esquemas de opciones analizadas.

pleó la metodología desarrollada por Paz de Vázquez *et al.* (1989) y Aralde *et al.* (1992, 1993).

En el caso de los lavadores de gases, se adoptaron diseños y cotizaciones locales, con valores correspondientes a Noviembre del 2001.

Se estimó el balance de material particulado emitido a la atmósfera en cada una de las opciones analizadas. Al no disponerse de suficientes datos experimentales locales, se adoptaron los valores aportados por la bibliografía para la concentración de material particulado en los gases efluentes de chimeneas de calderas bagaceras, de multiciclones y de lavadores de gases. (Silva Lora *et al.* 2000), los que no difieren de los pocos determinados experimentalmente.

Finalmente se determinó la inversión necesaria para cada una de las opciones estudiadas y el beneficio neto esperado. Se calcularon los valores actuales netos para cada año de la vida útil del equipo, y se determinó la tasa interna de retorno (TIR) de las diferentes alternativas de inversión en cada una de las opciones analizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 2 se muestran los resultados de los balances de masa y energía en la caldera original analizada (Opción 0), sistema que se tomará como base en las posteriores comparaciones. Se han asumido como datos de entrada para esta opción:

- Cantidad de vapor a producir de temperatura y presión conocidas: 80 t/h a 320°C y 21 ata.
- Temperatura del agua de ingreso a la caldera: 90°C.
- Temperatura promedio de los gases de chimenea: 180°C.
- Área de calefacción del calentador de aire que posee la caldera: 2715 m².
- Temperatura de los gases a la salida del horno: 290 °C.
- Humedad del bagazo de ingreso: 53%.
- Factor de dilución del aire: 1,8.

Se plantearon los balances de masa y energía, tanto en el horno de la caldera como en el ICQ, sumadas a las relaciones correspondientes a la combustión del bagazo y aire, en base a su composición estequiométrica (Baloh y Wittwer, 1995), generándose un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas: Bagazo ingresado al Horno, Aire de combustión empleado, Gases de chimenea, Temperatura del aire caliente. Es posible determinar además el Coeficiente de transferencia de calor del ICQ y el Rendimiento energético de la caldera, valor este último que alcanza los 73,7%.

Los valores calculados están dentro del rango de mediciones en fábrica de esa caldera, por lo que se considera a estos resultados satisfactorios.

En el caso de la Opción 1, que incluye un lavador final para los gases de chimenea, los resultados del balance de masa y energía tanto en el horno como en el ICQ no se modifican, por lo que resultan idénticos a los mostrados en la Fig.2.

En la Fig. 3 se exponen los resultados de los balances de masa y energía en el sistema Horno-ICQ-Secadero para la Opción 2. La incorporación de un secadero en paralelo con el calentador de aire, ofrece como ventaja que la temperatura final de los gases a la salida del secadero pueda llegar hasta 70°C comparada con los 150-200°C a la salida de calentadores de aire. Para el calculo se decidió asumir la temperatura de salida de los gases del secadero en 100°C y el factor de dilución del aire en la caldera en 1,7. Estos valores han sido determinados experimentalmente como normales para un secadero de igual tipo que funciona satisfactoriamente desde el año 1987 en un ingenio tucumano, secando bagazo entre 10 y 12 puntos de humedad (Aralde *et al.* 1993).

Los balances de masa y energía planteados en el sistema de la Opción 2, más la ecuación de transferencia de calor a través del área de intercambio del ICQ (dato), conforman un sistema de siete ecuaciones con siete incógnitas: la temperatura del aire caliente, la temperatura de los gases a la salida del ICQ, la

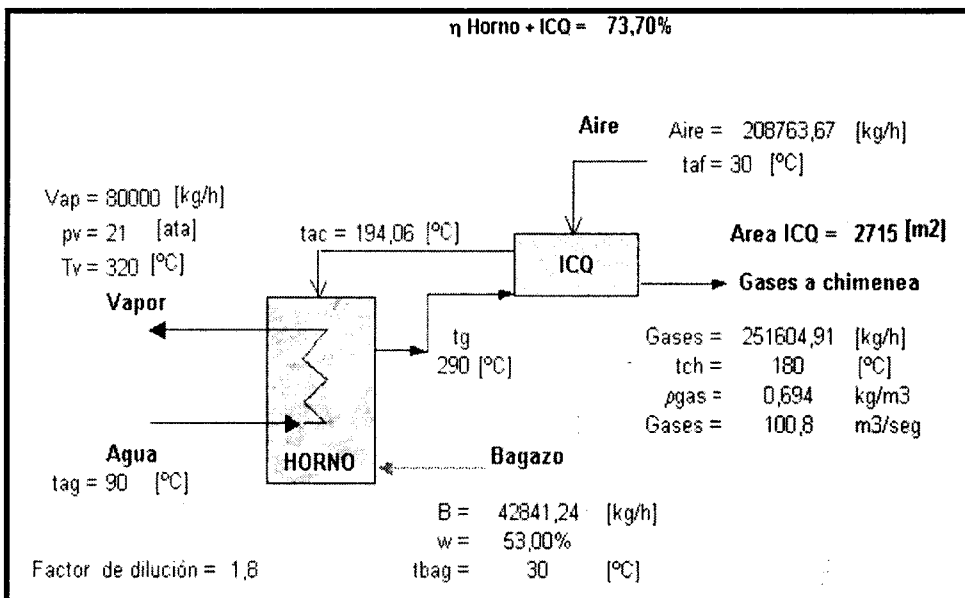


FIGURA 2. Balances de masa y energía en el sistema Horno + ICQ aire-gas (Opciones 0 y 1).

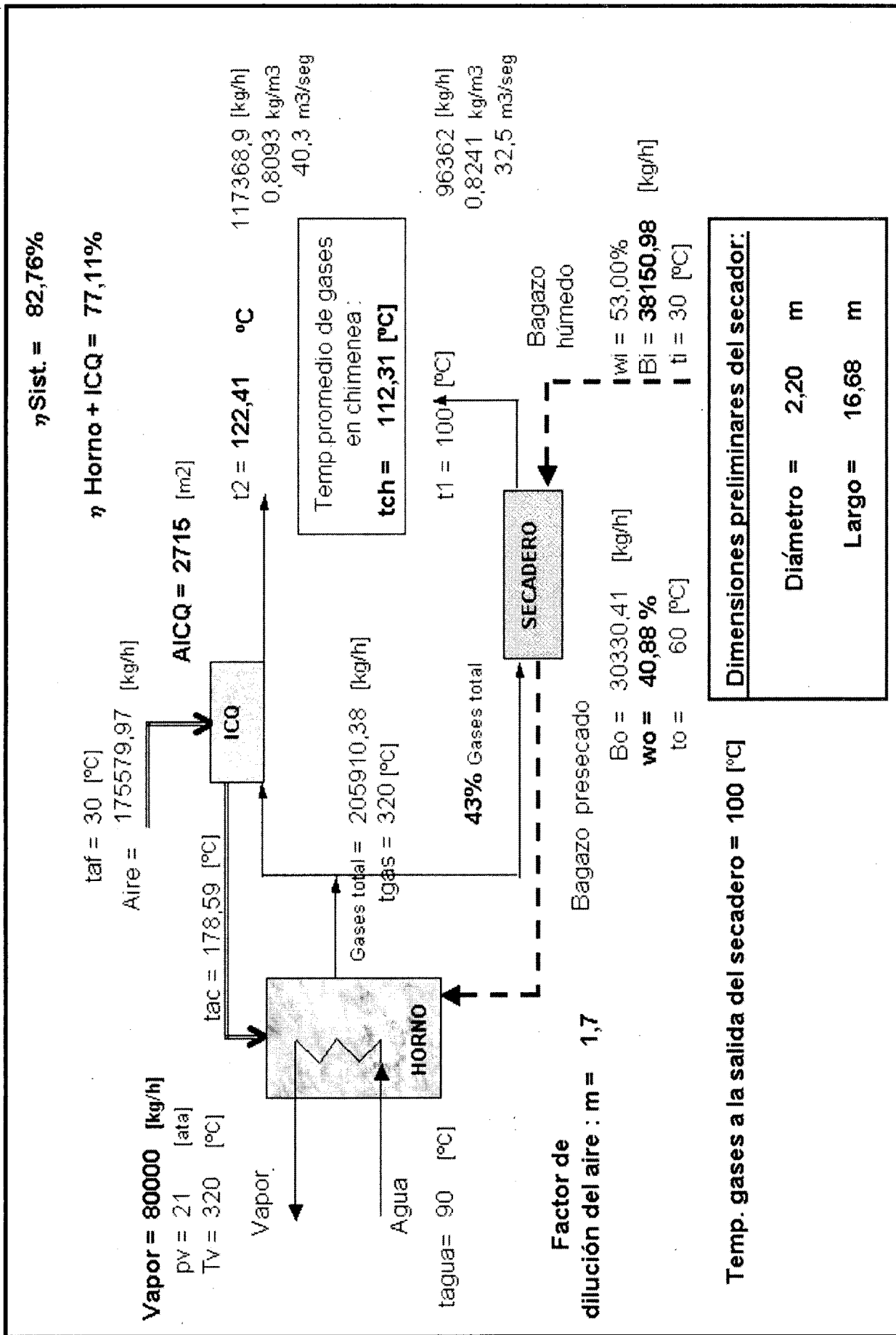


FIGURA 3. Resultados del balance de masa y energía en la Opción 2 (Horno + ICQ + Scrubber + Secadero en paralelo).

cantidad de gases derivados al secadero, el caudal de bagazo y aire ingresado al sistema, caudal total de gases producidos y la humedad de bagazo presecado. Como función objetivo del SOLVER se consideró que el área necesaria para la transferencia de calor sea igual al área del ICQ disponible (2715 m²). Derivando al secadero un 43% de los gases totales del horno a una temperatura de 320°C, se consigue presecar el bagazo inicial desde 53% de humedad hasta 40,88%, y obtener una relación Gases/Bagazo a secar de 2,32.

Se observa que el bagazo que ingresa al sistema en la Opción 2 es menor que en el sistema de la Opción 1 en un 10,95%, como así también el aire disminuye en un 15,90%. La temperatura de los gases finales de chimenea resultantes de la mezcla de los gases provenientes del secadero y del ICQ es de 112,31°C menor en un 37,61 % con respecto a la misma en la Opción 1.

Empleando programas de simulación y diseño de secaderos de bagazo en transporte neumático desarrollados por Aralde *et al.* (1992), se determinaron las dimensiones y características del sistema de secado:

Diámetro del Secadero: 2,20 m
Longitud del secadero: 16,68 m
Diámetro del ciclón (3 ciclones en paralelo): 1,86 m
Pérdida de carga en el ciclón: 100 mm.c.a.
Pérdida de carga en sistema de secado: 373 mm.c.a.
Potencia Ventilador de Tiro Inducido (VTI): 175 HP
Potencia del VTI adicional (VTI_{secadero}): 206 HP

Se han calculado 3 ciclones en paralelo para respetar el flujo volumétrico máximo recomendado en los mismos por Cooper y Alley. (1994), y verificado experimentalmente por Aralde *et al.* (1992).

Considerando los diferentes consumos de energía, el rendimiento del horno en la Opción 2 resulta ser de 77,11% y para el sistema global 82,76%, es decir un 4,63 y un 12,29%, superiores respectivamente a los rendimientos de la Opción 1.

En el caso de la Opción 3, todos los gases de chimenea, a una temperatura de 180 °C, pasan por un secadero de bagazo. Los resultados de los balances de masa y energía planteados se muestran en la Fig.4. El sistema de ecuaciones formado permite determinar: Temp.de gases a la salida del horno, Temp.del aire caliente de ingreso al horno, Humedad de secado del bagazo, Caudales de Bagazo y aire necesarios y de gases de chimenea producidos, siempre partiendo de la premisa de producir 80 t/h de vapor de 21 ata y 320°C, y de utilizar un calentador de aire de 2715 m². La Temp. del aire caliente resultó ser 28,43% superior a la misma en las Opciones 0 y 1, y la Temp. de los gases del horno se incrementó en un 17,62 %, lográndose un rendimiento del horno de 79,5%, es decir, 7,9% superior al de la caldera original. El caudal de bagazo se reduce en un 11,96%, el de aire en un 26,63%, el de los gases de chimenea en un 24,13% y la Temp.de gases de chimenea en un 44,44%, respecto de los mismos en la caldera original.

En este caso, pasando todos los gases de salida del calentador de aire a una Temp. de 180°C por el secadero, se consigue presecar el bagazo inicial desde 53% de humedad hasta 44,78%, siendo la relación Gases/Bagazo a secar de 4,91.

Siguiendo la metodología ya mencionada (Aralde *et al.*, 1992), se determinaron las dimensiones y características para este nuevo sistema de secado:

Diámetro del Secadero: 2,79 m
Longitud del secadero: 14,27 m
Diámetro del ciclón (5 ciclones en paralelo): 2,02 m
Pérdida de carga en el ciclón: 100 mm.c.a.
Pérdida de carga en el calentador: 200 mm.c.a.
Pérdida de carga en todo el sistema: 525 mm.c.a.
Potencia del VTI : 576 HP

Considerando los diferentes consumos de energía, el rendimiento del horno en la Opción 3 resulta ser de 79,5% y para el sistema global 83,70%, es decir un 7,85 y un 13,58%, superiores respectivamente a los rendimientos en la Opción 1.

En la Tabla 1 se presentan los principales resultados comparativos de los balances de masa y energía para las diferentes opciones analizadas.

La Fig. 5 muestra los resultados del balance estimado de material particulado emitido en los gases efluentes de cada una de las opciones analizadas. Para la concentración de material particulado se han asumido los siguientes valores (Silva Lora *et al.* 2000):

- gases de chimenea en calderas bagaceras: 4500 mg/m³
- gases a la salida de mult ciclones: 300 mg/m³
- gases a la salida de lavadores de gases: 100 mg/m³

El material particulado emitido con los gases de chimenea en la caldera original alcanza valores superiores a las 39 t/día. Con las opciones de limpieza de gases analizadas, se observa que es posible lograr fuertes reducciones de material particulado emitido con valores menores a 2 t/día en el peor de los casos. Hasta aquí en este análisis se ha considerado la contaminación ambiental solamente desde el punto de vista del aire; pero en los casos de la Opciones 1 y 2, que cuentan con lavadores de gases, es necesario implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales de los mismos, para no contaminar los cursos de agua.

En base a cotizaciones de firmas locales, se han calculado las inversiones requeridas para cada una de las opciones analizadas. Estos costos están basados en estimaciones de requerimientos de materiales, mano de obra y compra de equipamientos a Noviembre del 2001.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los bienes a adquirir.

Para cada una de las opciones analizadas, se ha determinado el ahorro de bagazo respecto de la Opción 0, y su equivalente en Gas Natural. Asumiendo un precio de Gas Natural de 0,07 \$/Nm³, se ha calculado el ahorro monetario a obtener en una zafra de 120 días, mostrándose los resultados en la Tabla 3.

Se observa que la Opción 1 presenta un valor nulo de ahorro en gas natural, mientras que en la Opción 3, este es ligeramente superior al de la Opción 2. En el caso de la inversión de capital requerida, la Op

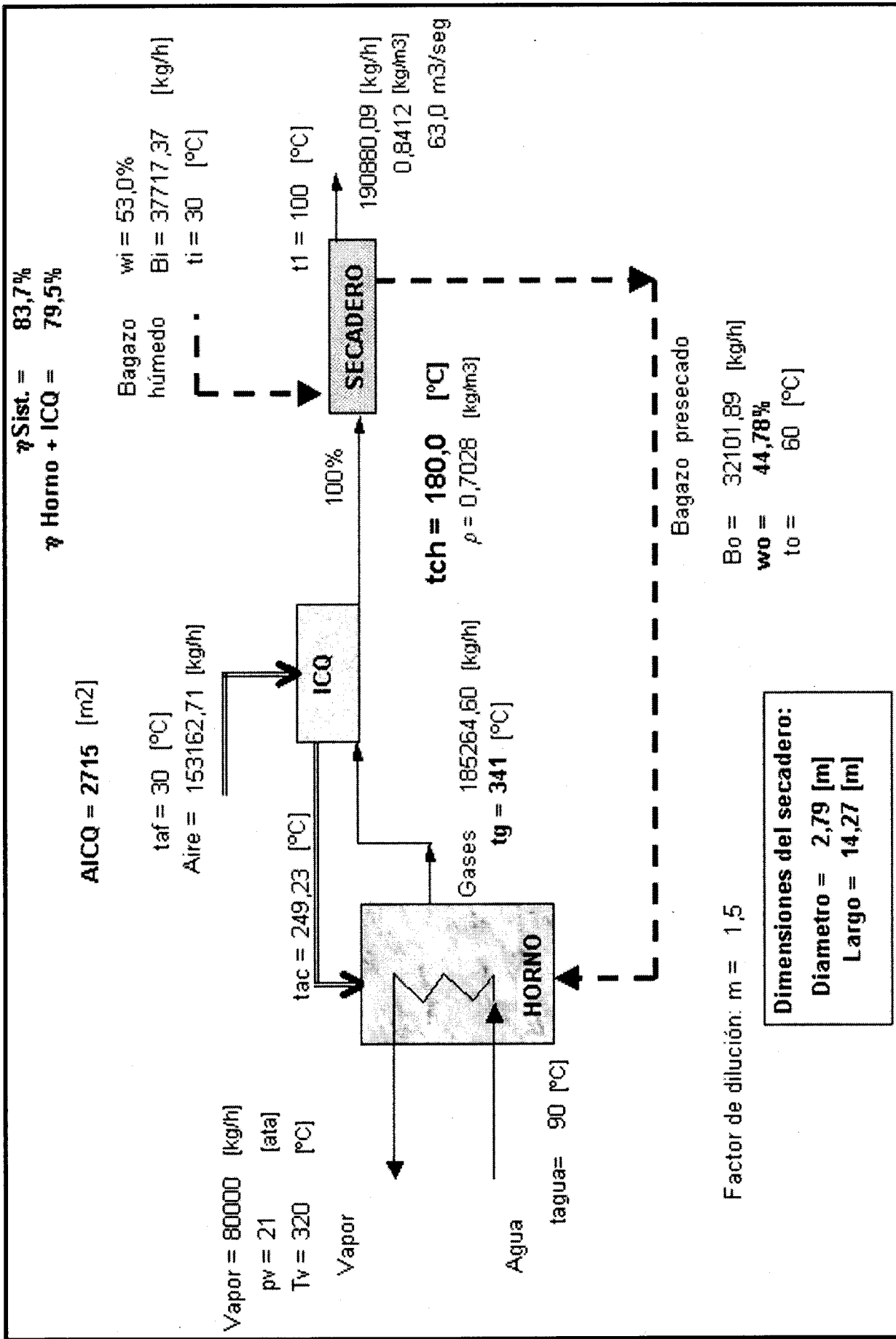


FIGURA 4. Resultados del balance de masa y energía en la Opción 3 (Horno - ICQ - Secadero con total de gases).

TABLA 1. Resumen de resultados más importantes del balance de masa y energía.

	Rend. Caldera %	Rend. Sistema %	Consumo Bag. húmedo [kg/h]	Humedad Bag. al horno [%]	Aire necesario [kg/h]	Temp. Aire caliente [°C]	Gases Finales [kg/h]	Temp. Gases Finales [°C]
Opción 0	73,7	73,7	42841	53,00	208764	194	251605	180,0
Opción 1	73,7	73,7	42841	53,00	208764	194	251605	180,0
Opción 2	77,1	82,8	38151	40,88	175580	179	213731	112,3
Opción 3	79,5	83,7	37717	44,78	153163	249	190880	100,0

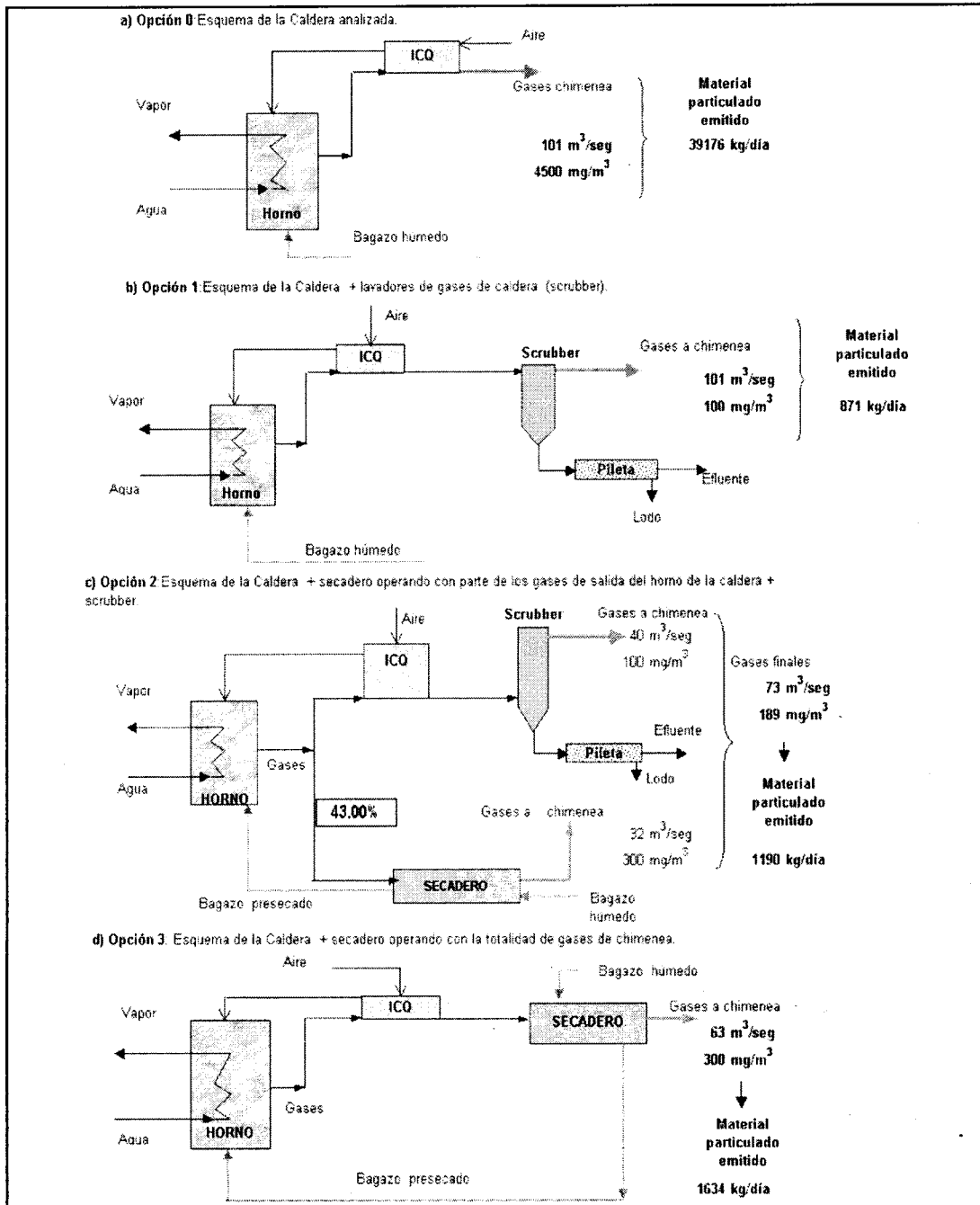


FIGURA 5. Resultados del balance de material particulado emitido en las diferentes opciones.

TABLA 2. Resumen de bienes a adquirir en cada opción analizada.

OPCION 1:

CALDERA ORIGINAL CON LAVADOR DE GASES DE CHIMENEA + PILETA PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTE LIQUIDO.

BIENES A ADQUIRIR	CANTIDAD	COSTO UNIT. \$	COSTO TOTAL \$
Secador de bagazo	0	83458	0
Repotenciado de ventiladores	2	18125	36250
Lavador de gases	2	65190	130380
Piletas para trat. efluentes liquidos	2	11450	22900
Inversión total			189530

OPCION 2:

DERIVAR GASES A 320°C A SECADOR Y EL RESTO DESPUES DEL ICQ, ENVIAR A LAVADOR PARA RETENER PARTICULAS CONTAMINANTES.

BIENES A ADQUIRIR	CANTIDAD	COSTO UNIT. \$	COSTO TOTAL \$
Secador de bagazo (3 ciclones)	1	83458	83458
Repotenciado de ventiladores	1	18125	18125
Lavador de gases	1	65190	65190
Piletas para trat. efluentes liquidos	1	11450	11450
Inversión total			178223

OPCION 3:

USAR TODOS LOS GASES A 180°C PARA SECAR Y RETENER LAS PARTICULAS CONTAMINANTES CON CICLONES DEL MISMO SECADOR

BIENES A ADQUIRIR	CANTIDAD	COSTO UNIT. \$	COSTO TOTAL \$
Secador de bagazo (5 ciclones)	1	99501	99501
Repotenciado de ventiladores	2	18125	36250
Lavador de gases	0	65190	0
Piletas para trat. efluentes liquidos	0	11450	0
Inversión total			135751

ción 2 presenta el mayor valor, seguida por la Opción 1, y finalmente la Opción 3 con una inversión significativamente menor.

Con esta información, y asumiendo los costos de mantenimiento para el secadero en 1000\$ por año, y para el lavador de gases + pileta de tratamiento en 5000\$ año, se ha procedido a determinar la Tasa Interna de Retorno (TIR) para las diferentes opciones. En la Tabla 4 se muestran comparativamente los valores de: material particulado emitido, reducción % respecto a la Opción 0, TIR % y periodo de repago de cada una de las opciones analizadas.

Se observa que a pesar de ser la Opción 1 la que presenta mayor reducción del material particulado emitido (98% con respecto a la Opción 0), al no presentar ahorro de gas natural, la TIR

resulta ser indeterminada, lo mismo que el periodo de repago.

De las opciones analizadas, la Opción 3 presenta la mayor TIR (111,5%), el menor periodo de repago (0,8 zafras = 3,3 meses) y una reducción muy satisfactoria del material particulado emitido (96% respecto de la Opción 0), debido al presecado del bagazo que disminuye significativamente las partículas no quemadas. Con esta propuesta tecnológica se resuelven 2 problemas que generalmente aparecen asociados: el energético y el ambiental. Desde este último punto de vista, esto es muy importante pues resuelve un problema que preocupa tanto a la industria como a la comunidad y a los organismos de Salud Pública, al evitar la presencia de partículas en suspensión en la atmósfera.

TABLA 3. Ahorro de gas natural equivalente para las diferentes opciones.

Ítem	Unidades	Opción 0	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Bagazo necesario	kg/h	42841	42841	38151	37717
Ahorro Bagazo	kg/h	0	0	4690	5124
Gas Nat. equivalente	Nm3/h	0	0	754	823
Precio Gas Natural	\$/Nm3	0,07	0,07	0,07	0,07
Ahorro \$ / zafra	\$/zafra	0	0	151964	166013
Inversión necesaria	\$		189530	178223	135751

TABLA 4. Características de las diferentes opciones (material particulado emitido, reducción %, TIR, período de repago).

	Material particulado emitido kg/día	Reducción %	TIR %	Período de repago zafras
Opción 0	39176	---		
Opción 1	873	97,8	indeterminada	indeterminado
Opción 2	1190	97,0	71,6	1,2
Opción 3	1634	95,8	111,5	0,8

CONCLUSIONES

Como conclusiones podemos mencionar:

- La alternativa propuesta (Opción 3): secado de bagazo empleando todos los gases de chimenea de una caldera bagacera, seguida de multiciclones separadores, resulta ser muy conveniente tanto como técnica de ahorro energético como de dispositivo de limpieza de gases, lográndose reducciones del material particulado emitido del 96% con respecto al de la caldera bagacera original. El presecado de bagazo disminuye significativamente las partículas no quemadas, y los multiciclones producen una reducción aún mayor del material particulado emitido.
- La mayor TIR (111,5%) se obtiene también con la Opción 3, alcanzando el período de repago a sólo 3,3 meses, es decir menos de una zafra.
- La opción 1: caldera + lavadores de gases convencionales + pileta de tratamiento de aguas residuales, si bien es muy apropiada desde el punto de vista ambiental, resulta ser la menos conveniente en cuanto al retorno de la inversión ya que no genera ventaja energética alguna.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Agrest, J. 1973. Seminario sobre "Combustible de bagazo y Saneamiento ambiental". IV Congreso Argentino de Saneamiento. Tucumán. Agosto. Pp: 1-31.

Aralde, L. E., D. Paz de Vázquez y G. J. Cárdenas. 1992. Metodología de cálculo de un secadero de bagazo en transporte neumático. Rev. Ind. y Agrícola de

Tucumán, Argentina 69(1-2): 71-79.

Aralde, L. E., D. Paz de Vázquez y G. J. Cárdenas. 1993. Análisis del funcionamiento de un prototipo para secado de bagazo. Rev. Ind. y Agrícola de Tucumán, Argentina 70(1-2): 7-14.

Baloh, T. y E. Wittwer. 1995. Manual de Energía para Fábricas de Azúcar. Ed. Bartens. 2da edición.

Cooper, D. y F. Alley. 1994. Air Pollution Control: A Design Approach. 2nd Edition. Waveland Press, Prospect Heights.

Paz, D. y G. J. Cárdenas. 1999. Secadero de bagazo o economizador: análisis comparativo de su influencia en el rendimiento energético neto de una caldera bagacera. Rev. Ind. y Agrícola de Tucumán, Argentina 76: 17-26.

Paz de Vázquez, D., E. D. Feilbogen, G. J. Cárdenas y L. E. Aradle. 1989. Secadero de bagazo: funcionamiento de un prototipo a escala industrial. Avance Agroindustrial, Argentina. 10(39):15-17.

SEM. Secretaría de Energía y Minería. 2001. Energía Eléctrica. Resolución 108/2001. Argentina.

Silva Lora, E., F. Ponce Arrieta, R. Carrasco Carpio y L. A. Horta Nogueira. 2000. Clean Production: Efficiency and Environment. Seminario: "The sugarcane: a multidimensional agenda for 21st century". Organizado por FAO y GEPLACEA. República Dominicana.

Watson, J. y D. Fylstra. 1994. Uso de Solver para analizar problemas de variables múltiples. En: Especificaciones de Microsoft Excel 5.0. Manual del Usuario. Frontline Systems, Inc. United States. Cap.29: 599-602.