

La Trigeneración de energía en las industrias lácteas de Panamá.

Por: Ing. Julio Rodríguez, Profesor de la facultad de Ing. Mecánica en el Centro Regional de Colón

Extracto General

En el año 2000 se concluyó una investigación, de carácter descriptiva y experimental, que probó la importancia que para las industrias tendría, en el ámbito técnico y económico, un proyecto de refrigeración por absorción que utilice recuperadores de calor. El campo de aplicación se limitó a las industrias lácteas. El estudio presentó una recopilación de los principios teóricos, las normas y costos que conlleva este sistema, y la propuesta de un método guía que facilite la evaluación en cualquier industria. Basados en este método guía, se realizó el estudio teórico de una posible aplicación de la trigeneración en la industria Nestlé S.A., ubicada en el distrito de Natá, Provincia de Coclé, y en el mismo se espera conseguir la reducción de un 50% de la cantidad de calor que actualmente es liberado a la atmósfera. Los resultados obtenidos en esta industria son resumidos en la presente exposición.

Marco teórico

En promedio, el 60% de la energía primaria, la del combustible, empleada en una empresa se pierde, liberándose como contaminante térmico al ambiente. Este calor es inaprovechable porque no existe posible uso del mismo en las cercanías de las grandes centrales productoras de electricidad, que suelen estar alejadas de los centros de consumo.

La trigeneración consiste en utilizar la cogeneración, obtenida a partir de los humos calientes de las chimeneas en una industria, como elemento recuperador de calor que, liberado al generador de un ciclo de refrigeración por absorción, logre producir frío, aumentando la eficiencia global del ciclo y por consiguiente, reduciendo los efectos nocivos que tiene la combustión sobre el ambiente.

Fuentes de cogeneración: el creciente poder calorífico de las turbinas de gas, según el estudio realizado, las sitúan en una posición preponderante para cogenerar y producir centenares de toneladas de refrigeración en las industrias alimenticias, en comparación con otras fuentes energéticas primarias. Todas las industrias lácteas de Panamá utilizan refrigeración por compresión de vapor y calderas de vapor en sus procesos, y aún cuando el poder calorífico de los humos de las chimeneas de las calderas no es mayor que la de una turbina de gas, los resultados demuestran que es rentable la conversión de sus sistemas de compresión de vapor, al de absorción.

Comercialmente hay dos sistemas de absorción primarios:

1. la mezcla bromuro de litio (LiBr) y agua,
2. la mezcla amoníaco-agua.

La mezcla de amoníaco y agua se utiliza cuando es requerida baja temperatura de refrigeración o helada, ya que el amoníaco, que es el refrigerante en este sistema, tiene un punto de congelación de -60°F . En tanto, en la mezcla de bromuro de litio acuoso, el LiBr es el absorbente y el agua es el refrigerante lo que limita producir frío a temperaturas menores de 40°F , porque se correría el riesgo de que el agua se congelara y obstruyera las tuberías; por esto, su uso principal es para acondicionamiento de aire.

La tabla N°1 muestra los fluidos comunes utilizados para transmitir calor a los ciclos de absorción, las presiones necesarias según la tabla termodinámica y el frío que se puede obtener.

Tabla N°1	
Requisitos para el calor de entrada	
de máquinas de absorción	
Máquinas de absorción	Máquinas de absorción
Entrada de calor libr-agua (un solo efecto) amoníaco-agua	
Vapor 5 – 15 psig.	0 – 200 psig.
225 – 250 °F	210 – 385 °F
Agua caliente o fluidos	
de procesos 240 – 300 °F 210 – 385 °F	
Salida de enfriamiento 40 - 100 °F -60 - 40 °F	
COP 0.6 – 0.7 0.1 - 0.8	
(NOTA: Los datos fueron obtenidos de ASHRAE 1994)	

Estudio técnico del sistema de refrigeración por absorción en una Industria Láctea de Panamá

La industria Nestlé de Natá utiliza dos calderas de vapor acuatubulares en su proceso, y para producir el frío, dos compresores de vapor que generan, en total, 82 toneladas de refrigeración.

La gráfica obtenida de los catálogos de la ASHRAE para el diseño de sistemas de refrigeración por absorción, permite obtener la temperatura en el generador y el COP de la máquina de absorción.

Inicialmente se midió la temperatura de las chimeneas de ambas calderas y los porcentajes de los gases de combustión. Para esto, se utilizó el analizador de gases de la Facultad de Ingeniería Mecánica, sensores para determinar los parámetros de concentración y algunos

datos registrados por la empresa. Adicional, en colaboración con trabajadores de la empresa, se extendieron las mediciones por cuatro semanas, hasta obtener un valor promedio

Los gases de combustión en las chimeneas de estas calderas tienen una temperatura promedio de 385°F. Los datos iniciales son la temperatura del agua de condensación $T_S = 85^\circ\text{F}$, y la del frío requerido, que para la seguridad del diseño se estimó en $T_e = 24^\circ\text{F}$, ya que la empresa necesita valores de temperatura entre 30°F y 34°F. Con estos datos se obtiene:

$$T_g = 168^\circ\text{F}$$

$$\text{COP}_{\text{máx.}} = 0.3$$

T_g = temperatura de la solución fuerte, rica en amoníaco, a la salida del generador hacia el rectificador. La temperatura mínima del vapor de entrada al generador, que viene de la cogeneración, se estima 25°F arriba de T_g .

$$168^\circ\text{F} + 25^\circ\text{F} = 193^\circ\text{F}$$

Combustible usado en las calderas: bunker C

Poder calorífico del combustible = 152 000 Btu/galón

Consumo promedio del combustible = 36.94 galones/hora = $q_{\text{recuperación}} / (152\,000 \text{ Btu/galón})$

$q_{\text{recuperación}} = 5\,614\,880 \text{ Btu/hora} = \text{Calor de recuperación desde los gases de la chimenea}$

$$q_{\text{recuperación}} = n_{\text{eff}} C_{p,\text{gas}} m_{\text{gas}} (T_{\text{en,gas}} - T_{\text{media,vapor}})$$

$$5\,614\,880 \text{ Btu/h} = 0.93 (0.25 \text{ Btu/lbm } ^\circ\text{F}) m_{\text{gas}} (385^\circ\text{F} - 193^\circ\text{F})$$

$$m_{\text{gas}} = 125\,781.4 \text{ lbm/h}$$

$$T_{\text{salida,gas}} = T_{\text{en,gas}} - (q_{\text{recuperación}} / (C_{p,\text{gas}} m_{\text{gas}})) = 206.44^\circ\text{F}$$

Para evitar la condensación en los gases obtenidos de la combustión de las chimeneas de las calderas, en el diseño se considera que $T_{\text{salida,gas}}$ deberá ser mayor o igual a 300°F. Como el resultado es menor de 300°F, se debe recalcular $q_{\text{recuperación}}$

$$q_{\text{recuperación}} = C_{p,\text{gas}} m_{\text{gas}} (T_{\text{en,gas}} - T_{\text{media,vapor}})$$

$$= 0.25 \text{ Btu/lbm } ^\circ\text{F} (125\,781.4 \text{ lbm/h}) (385^\circ\text{F} - 300^\circ\text{F})$$

$$= 2\,672\,855 \text{ Btu/h}$$

Este es el calor que puede ser recuperado de la chimenea. Como observan $n_{\text{eff}} = 1$ para que los otros valores en la ecuación no se alteren. La temperatura de 300°F es mayor que la del vapor que entrará al ciclo de absorción, de 193°F, estimada anteriormente, por tanto, existe una diferencia de temperatura para liberar calor al generador del ciclo de absorción. Estas variables son controladas en el intercambiador de calor del sistema de cogeneración.

Cantidad de salida de refrigeración

$$Q_{\text{refrigeración}} = q_{\text{recuperación}} (\text{COP}_{\text{máx.}}) / (12\,000 \text{ Btu/h/ton } \times \text{K}); \text{K} = 1.03$$

El factor K considera los efectos por cambios de temperatura (obtenido de ASHRAE 1999)

$Q_{\text{refrigeración}} = 64.87$ toneladas de refrigeración de 24 °F

Reducción del impacto ambiental

La reducción del calor al ambiente es:

$5\,614\,880 \text{ Btu/h} - 2\,672\,855 \text{ Btu/h} = 2\,942\,025 \text{ Btu/h}$

El calor a absorber con la torre de enfriamiento depende de $Q_{\text{refrigeración}}$, aproximadamente deberá ser 1 958 400 Btu/h.

CONCLUSIONES

- El proceso que permite obtener frío a partir de un sistema de cogeneración de energía, se define como trigeneración.
- La industria Nestlé S.A. de Natá, requiere actualmente 82 toneladas de refrigeración para abastecer su producción; por medio de la trigeneración obtendría el 79% de este frío (64 toneladas), lo que supondría el uso de solamente uno de los dos compresores, que reduciría un 50% de la facturación actual en el consumo de energía eléctrica.
- La temperatura de los gases que se descarga a la atmósfera disminuiría en un 22%,

de 385 a 300 °F, y el calor liberado por la chimenea de la caldera, de 5 614 000 a 2 942 025 Btu/h, lo cual representaría avances significativos en contra de los efectos negativos del proceso industrial sobre el ambiente. La empresa se prepararía para enfrentar las regulaciones ambientales y contribuir con la disminución del efecto invernadero, entre otros.

En la próxima edición de esta revista le presentaremos el estudio de viabilidad económica del sistema de absorción, en esta industria.

Referencias

1. Vicatos, G., and J. Grizagoridis. 1994. Unpublished research, Department of Mechanical Engineering. Cape Town: University of Cape Town, South Africa.
2. Ammonia Absorption Refrigeration in industrial Processes, by Marcel Bogart. Copyright 1981 by Gulf Publishing Company, Houston, TX
3. 1992. ASHRAE. HANDBOOK HVAC. Systems and equipment. Cap. 7, "Cogeneration Systems". P. 7.10 Atlanta, Georgia.
4. Orlando, Joseph A. Cogeneration design guide. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). Printed USA.