

Evaluación de Recuperación de Energía en Equipos de una Planta de Servicios Auxiliares

Pedro Quinto Diez, Juan Gabriel Barbosa Saldaña,
Claudia del Carmen Gutiérrez Torres y José Alfredo Jiménez Bernal

Instituto Politécnico Nacional, Sección de Estudios de
Posgrado e Investigación
ESIME-Zacatenco, LABINTHAP

Resumen

En este artículo se presenta la evaluación del uso de la energía en una Planta de Servicios Auxiliares, aplicando el método exergético y se demuestra que se hace mal uso de la misma. Se calculó que la eficiencia exergética de la planta es del 44.27 % y que el 97.65% de la destrucción de exergía se concentra en siete equipos, que son: tres generadores de vapor, dos turbogeneradores, un deaerador y una bomba hidráulica.

Abstrac

An evaluation of energy use in an Auxiliary Service Plant is presented in this work. The exergy method was used to show there is an inadequate use of energy in the Plant's devices. It was computed that the exergetic efficiency of the plant is 44.27 %, and it was found that 97.65% of exergy destruction is concentrated in seven equipments (three steam generators, two turbogenerators, a dearator and a hydraulic pump).

Palabras clave:

Energía, exergía, evaluación del uso de la energía, planta de servicios auxiliares

Introducción

La mayoría de las plantas petroquímicas mexicanas que se encuentran actualmente en operación fueron diseñadas y construidas en los años 1970s, cuando no existía la preocupación por el buen uso de la energía. Esta situación hace que en la actualidad casi todas estas plantas se consideren tecnológicamente obsoletas, sean grandes consumidoras de energía y contribuyan de manera importante al deterioro del medio ambiente, por lo que es necesario evaluar el uso que hacen de la energía y el potencial que tienen de recuperación de la misma.

En este trabajo, se hace la evaluación del potencial de recuperación de energía, en los diferentes equipos de una Planta de Servicios Auxiliares de una planta petroquímica, que tiene como función, suministrar agua desmineralizada, vapor de agua, agua de enfriamiento, aire para servicio e instrumentos y energía eléctrica, que son insumos necesarios para la operación de los diferentes procesos que se realizan en dicha planta.

Las operaciones unitarias que se desarrollan en las plantas de servicios auxiliares utilizan grandes cantidades de energía en forma de calor y/o trabajo, por lo que resulta de interés evaluar el consumo de energía y el aprovechamiento de la misma, para tener elementos técnicos que permitan hacer propuestas encaminadas a optimizar el consumo de energía en estos servicios. Esta evaluación se puede hacer mediante el análisis exergético que se basa en la aplicación simultánea

Keywords:

Energy, exergy, evaluation of energy use, auxiliary service plant

de la Primera y la Segunda Ley de la Termodinámica. Aunque desde 1889, G. Gouy (Borel, 1991) propuso la idea de que el potencial de un sistema de producir trabajo mecánico podía ser expresado a través de una función, que además de contener la energía interna del sistema involucrara la temperatura y la presión del medio exterior, el análisis exergético tomó importancia en los años 1970s, después de la primer crisis energética, y se aceptó como un método adecuado para proponer políticas energéticas internacionales y posteriormente se amplió a aplicaciones industriales (Wall, 1986).

Por medio del método exergético se evalúan los suministros y recuperaciones de exergías en los procesos energéticos, las eficiencias exergéticas (también conocidas como de segunda ley), así como las destrucciones de exergía que ocurren por las irreversibilidades que se presentan durante los diferentes procesos, identificando así el buen o mal uso que se hace de la energía.

El método exergético tiene la característica de usar el mismo parámetro para evaluar la energía, a partir de la definición de exergía dada por Bejan (Bejan, 1997): "la exergía es el trabajo máximo que un sistema puede desarrollar cuando se encuentra en desequilibrio térmico, cinético, potencial y químico con respecto a las condiciones de un estado de referencia".

Por otra parte, Gaglioli (Gaglioli, 1977) considera que las eficiencias exergéticas son eficiencias "reales" o "verdaderas", mientras que las eficiencias energéticas son "aproxima-

ciones a las reales". De forma análoga, Rosen (Rosen, 2002) dice que las eficiencias exergéticas proporcionan mediciones de aproximación al ideal, y las pérdidas exergéticas proporcionan mediciones de la desviación del ideal.

Ante esta situación, el análisis moderno del uso de la energía se debe basar en el análisis exergético, y en este trabajo se ha aplicado a una Planta de Servicios Auxiliares con el propósito de evaluar el potencial de recuperación de energía en la misma, y así disponer de la información necesaria que permita posteriormente proponer acciones para el uso eficiente de la energía.

Este artículo se divide en: descripción de la Planta de Servicios Auxiliares y equipos que la componen; descripción del método de evaluación basado en el análisis exergético; aplicación del método exergético a los equipos de la planta estudiada; presentación de los resultados obtenidos y conclusiones correspondientes.

Nomenclatura

e	Exergía específica de flujo, kJ/kg
E	Exergía total, kJ
e	Exergía específica, kJ/kg
C	Velocidad, m/s
g	Aceleración de la gravedad, m/s ²
h	Entalpía específica, kJ/kg, kJ
I	Flujo de Irreversibilidad, kJ/s
m	Flujo másico, kg/s
p	Presión, kPa
Q	Flujo de calor, kW
s	Entropía específica, kJ/(kg-K)
T	Temperatura, °C o °K
W	Potencia, kW
z	Altura, m

Letras Griegas

η_{II}	Eficiencia exergética
s	Flujo de entropía generada, kJ/(kg-k-s)
Σ	Sumatoria

Subíndices

atm	atmosférica
des	Destruido
e	Estado de la sustancia a la entrada del volumen de control
rec	Recuperado
s	Estado de la sustancia a la salida del volumen de control
q	Químico
vc	Volumen de control
0	Propiedades del estado muerto, propiedad del entorno
$1,2,3,4$	Diferentes estados termodinámicos en los equipos

Descripción de la Planta de Servicios Auxiliares

En esta sección se describe la Planta de Servicios Auxiliares (Cardenas, 2005) a partir de las áreas que la componen y las secciones que integran cada área; también se describen

los procesos que se desarrollan en cada área y se indican los equipos considerados.

En la figura 1 se presenta el diagrama de las áreas y las secciones que componen la Planta de Servicios Auxiliares. Las áreas son dos: la de fuerza y la de generación eléctrica. El área de fuerza está compuesta por las secciones de generación de vapor, de desmineralización de agua, de enfriamiento de agua y de aire de servicio e instrumentos. El área de generación eléctrica está compuesta por la sección de turbogeneradores. La descripción de cada una de estas áreas se presenta a continuación.

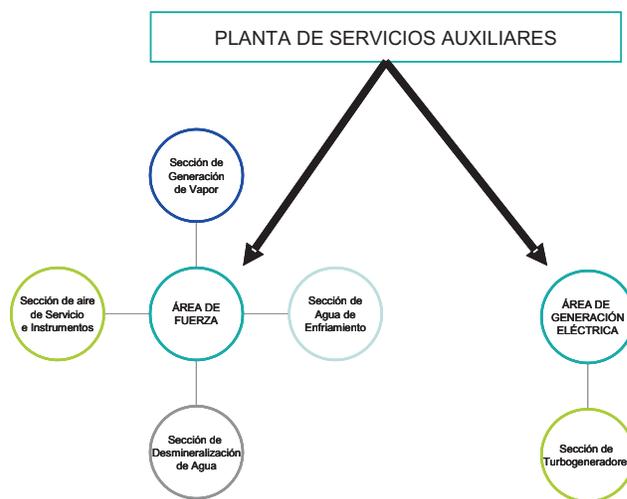


Figura 1 Áreas y secciones que componen la Planta de Servicios Auxiliares

Área de Fuerza

Esta área comprende cuatro secciones: 1. Sección de desmineralización de agua, 2. Sección de generación de vapor, 3. Sección de agua de enfriamiento y 4. Sección de aire de servicio e instrumentos. Las descripciones de estas secciones se hacen a continuación.

Sección de Desmineralización de Agua.

La sección de Desmineralización de Agua se muestra en la figura 2, y está compuesta por tres trenes de desmineralización con capacidad de tratamiento de agua de 31.5 l/s cada uno, a través de 3 aniones (WIA-1,2 y 3) y 3 cationes (WIC-1,2 y 3), para dar una capacidad total de desmineralización de agua de 94.5 l/s.

Tanto los cationes (WIC-1,2 y 3) como los aniones (WIA-1,2 y 3) contienen resina selectiva en su interior. En estos equipos, el flujo de agua circula en serie, primero por el catión y después por el anión. En el catión, la resina adsorbe los elementos metálicos de las moléculas de agua y los cambia por iones de hidrógeno formando ácidos, de donde pasa a la desgasificadora, para eliminar gases como bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, amoníaco, metano, etc., y así evitar la corrosión y el desarrollo de bacterias en los equipos. Al salir de la desgasificadora, el agua pasa por el anión, donde las resinas

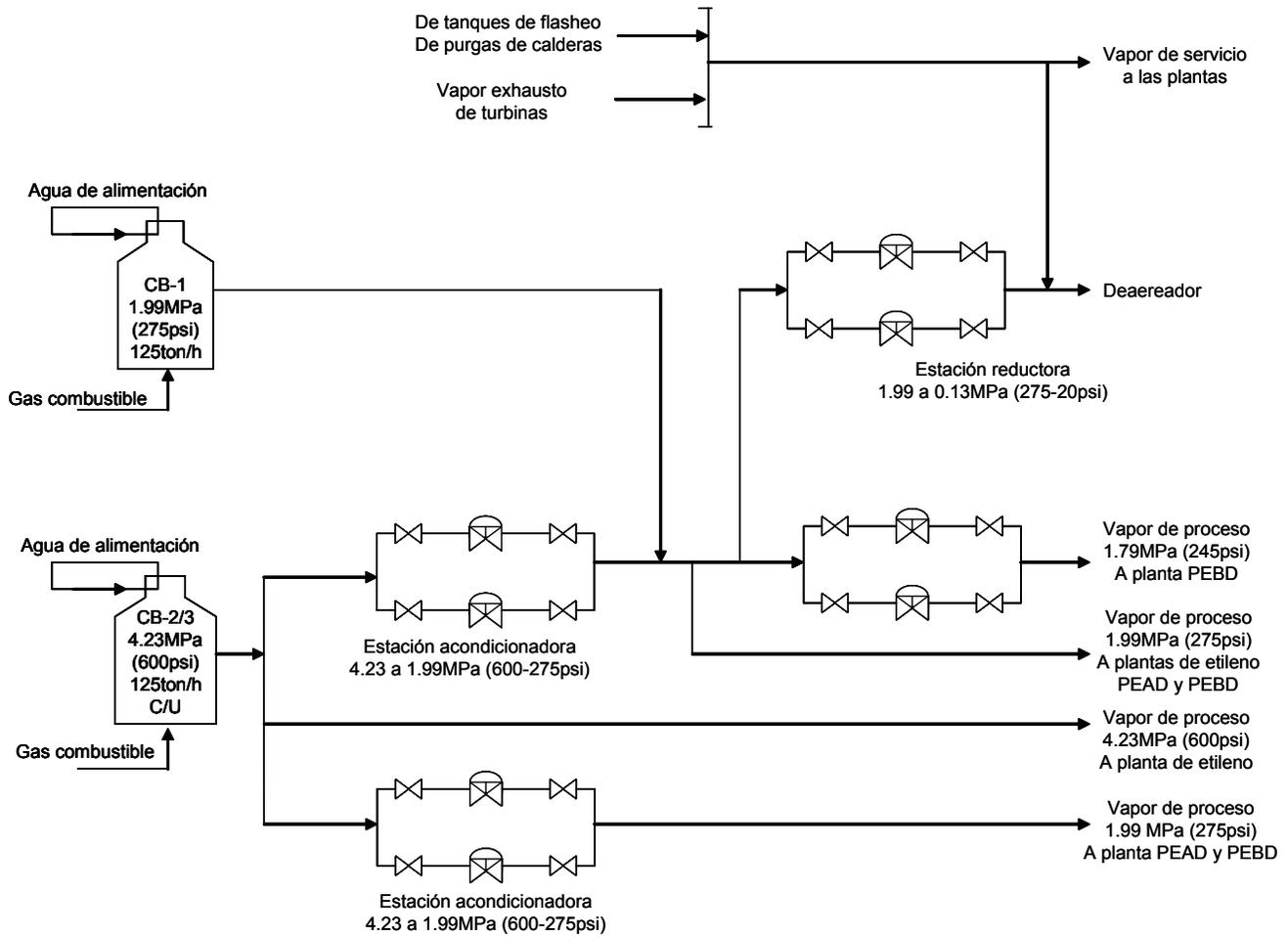


Figura 3 Diagrama esquemático de la Sección de Generación de Vapor

cambian los iones negativos (aniones) por hidróxidos, obteniéndose así agua químicamente pura e ideal para usarse en los equipos de generación de vapor.

El agua desmineralizada es depositada en dos tanques de almacenamiento (TV-101 y TV-103) con capacidad de 1589.8 m³ cada uno. El condensado que retorna de las plantas se almacena en el tanque TV-102 y se mezcla con el agua desmineralizada para alimentar al deaerador ED-100 y suministrarse a los generadores de vapor, CB-1, CB-2, CB-3 y a las calderetas de la Planta de Etileno.

Sección de Generación de Vapor.

El vapor requerido por la planta petroquímica se genera en tres generadores de vapor; dos de alta presión a 4.23 MPa con capacidad de generación de 125 ton/h cada uno y uno de media presión a 1.99 MPa, con capacidad de generación de 125 ton/h. El esquema de la sección de generación de vapor se presenta en la figura 3.

El vapor sobrecalentado de alta presión a 4.23 MPa y 400°C se produce en los generadores de vapor CB-2 ó CB-3 y se suministra en forma directa a la planta de etileno para su utilización en las turbinas.

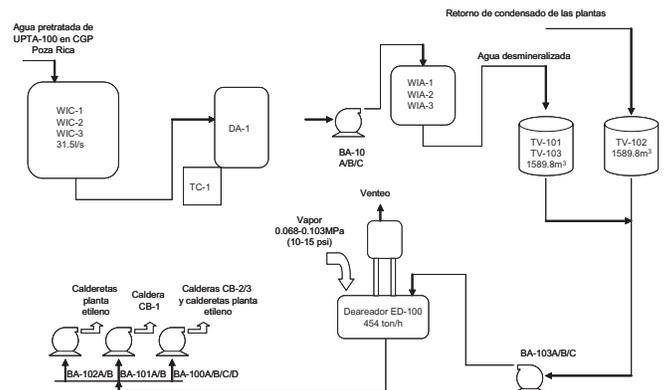


Figura 2 Diagrama esquemático de la Sección de Desmineralización de Agua

La planta de polietileno de alta densidad (PEAD) y la planta de polietileno de baja densidad (PEBD) requieren vapor para calentamiento, por lo que el vapor sobrecalentado producido en el generador de vapor CB-2 ó CB-3 se trata en la estación acondicionadora de vapor, en donde, manteniendo constante la presión, se disminuye su temperatura de 400°C a 253°C, para suministrarlo en forma de vapor saturado. El vapor de 1.99 MPa requerido en las tres plantas de proceso PEAD, PEBD y de etileno es generado por el generador

de vapor CB-1. En el caso de que la demanda de vapor rebasa la capacidad de producción de este equipo, se cubre reduciendo la presión de 4.23 a 1.99 MPa del vapor que proviene de los generadores de vapor CB-2 ó CB-3.

En la planta de PEBD también se requiere vapor de 1.79 MPa, por lo que parte del vapor producido en el generador de vapor CB-1 es tratado para reducir su presión en la estación acondicionadora de 1.99 a 1.79 MPa. Cuando la producción de vapor del generador de vapor CB-1 no es suficiente para cubrir esta demanda, se toma parte del vapor generado en CB-2 ó CB-3 y se reduce su presión en dos etapas, la primera de 4.23 a 1.99 MPa y la segunda de 1.99 a 1.79 MPa.

El deaerador ED-100 requiere vapor de 0.13 MPa, que es suministrado por el generador de vapor CB-1, previa reducción de presión de 1.99 a 0.13 MPa.

Sección de Agua de Enfriamiento.

La sección de agua de enfriamiento está compuesta por dos torres de enfriamiento (DE-1 y CT-8). La torre de enfriamiento DE-1 con capacidad de 757 l/s, suministra agua de enfriamiento a la Planta de PEBD y la torre de enfriamiento CT-8, con capacidad de 5047 l/s, proporciona agua de enfriamiento a las Plantas de Etileno, a la PEAD y a la Planta de Servicios Auxiliares. La figura 4 sirve para presentar el diagrama esquemático de esta sección.

Área de Generación Eléctrica

El área de generación eléctrica de la planta de servicios auxiliares se muestra en la figura 5. El gas combustible se recibe en la estación medidora de gas EMG-2, de la planta Criogénica del Complejo Procesador de Gas, a la presión de 4.31 MPa. En esta estación se reduce su presión a 2.25 MPa y a continuación se pasa a través de dos separadores de gas para eliminar los condensados. Al salir del separador, el gas pasa por una válvula controladora de presión para reducir su presión hasta 1.66 MPa, que es a la presión a la que se suministra a los dos Turbo-Generadores.

El consumo de gas combustible es de 2.20 m³/s y se generan 19.0 MW de potencia eléctrica por cada grupo de turbo-generador, a 13.80 kV y 60 Hz, para posteriormente elevar su potencial eléctrico hasta 23.0 kV y en estas condiciones distribuirse a las plantas de proceso.

Equipos Analizados

Los equipos analizados en este trabajo son los que integran la planta de servicios auxiliares y se enlistan en las tablas 1 a 4.

Método de Evaluación

En esta sección se presenta el modelo matemático empleado para realizar la evaluación exergética de los equipos de la Planta de Servicios Auxiliares, de acuerdo a como los proponen Moran (Moran, 2004) y Bejan (Bejan, 1997). Los equipos se análisis con el modelo de sistemas abiertos (volúmenes de control), operando en estado permanente, y se usa la nomen-

clatura propuesta por Tsatsaronis (Tsatsaronis, 2007).

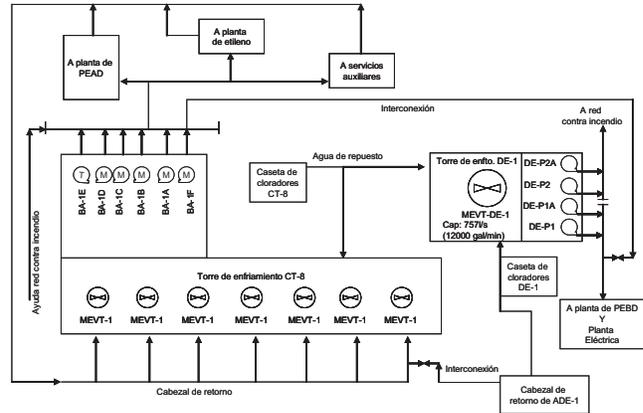


Figura 4 Diagrama esquemático de la sección de Agua de Enfriamiento

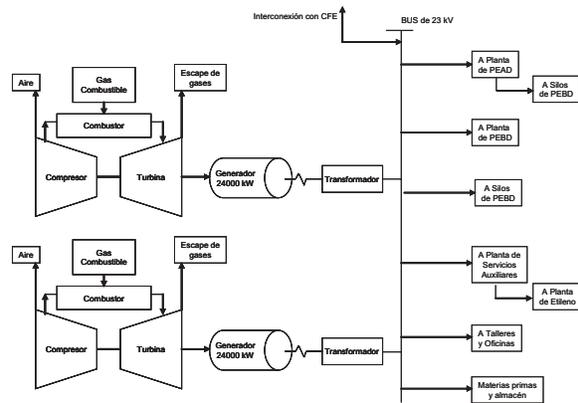


Figura 5 Diagrama esquemático del área de Generación Eléctrica

Modelo Matemático

El modelo matemático está compuesto por las ecuaciones de la primera y la segunda ley de la termodinámica, la ecuación de balance de la exergía y la ecuación de eficiencia exergética (Lior y Zhang, 2007), indicadas como ecuaciones (1) a (4).

Ecuación de la primera ley de la termodinámica

$$\dot{Q}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{C_e^2}{2} + gz_e \right) = \dot{W}_{vc} + \sum_s \dot{m}_s \left(h_s + \frac{C_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (1)$$

Ecuación de la segunda ley de la termodinámica (balance de entropía)

$$\sum_s \dot{m}_s s_s - \sum_e \dot{m}_e s_e = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sigma_{vc} \quad (2)$$

Ecuación de balance de la exergía

$$0 = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) \dot{Q}_j - \dot{W}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e e_e - \sum_s \dot{m}_s e_s - \dot{I}_{vc} \quad (3)$$

Ecuación de eficiencia exergética (eficiencia de segunda ley)

$$\eta_{II} = \frac{E_{rec}}{E_{sum}} = 1 - \frac{E_{des}}{E_{sum}} \quad (4)$$

Tabla 1. Equipos componentes de la Planta de Servicios Auxiliares

Servicio	Nomenclatura	Proceso
Unidad de Desmineralización de Agua	Moto Bombas	
	BA-10_A	Agua de transferencia de cisterna a aniones
	BA-10_B	Agua de transferencia de cisterna a aniones
	BA-10_C	Agua de transferencia en UDA 100
	BA-100_A	Agua de alimentación a calderas CB-2 y CB-3
	BA-100_B	Agua de alimentación a calderas CB-2 y CB-3
	BA-101_A	Agua de alimentación a caldera CB-1
	BA-102_A	Agua deaerada a planta de etileno
	BA-102_B	Agua deaerada a planta de etileno
	BA-103_A	Agua al deaerador ED-100
	BA-103_C	Agua al deaerador ED-100
	BA-106_A	Agua desmineralizada o pretratada a planta de PEAD
	BA-106_B	Agua de servicio a plantas de PEAD y PEBD
	BA-107_A	Condensado a sección 07 planta de PEAD
	BA-107_B	Agua pretratada a planta de PEAD
	Turbo Bombas	
	BA-100_C	Agua de alimentación a calderas CB-2 y CB-3
	BA-100_D	Agua de alimentación a calderas CB-2 y CB-3
	BA-101_A	Agua de alimentación a caldera CB-1
Cambiadores de Calor		
ED-100	Deaerador	
Moto Compresores		
BC-100-A	Aire de instrumentos	
BC-100-B	Aire de plantas	
BC-100-C	Aire de servicios	

Tabla 2. Equipos componentes de la Planta de Servicios Auxiliares

Servicio	Nomenclatura	Proceso
Unidad de Generación de Vapor	Generadores de vapor de la Unidad de Generación de Vapor	
	CB-1	Generación de vapor
	CB-2	Generación de vapor
	CB-3	Generación de vapor
	Estaciones Acondicionadoras de Vapor de la Sección de Generación de Vapor	
	EAVapor(AP)	Atemperación de vapor o acondicionamiento 4.23 a 4.23 MPa sat (600 a 600 psi)
	EAVapor(AMP)	Reducción de presión y/o acondicionamiento 4.23 a 1.99 MPa (600 a 275 psi)
	EAV(MBP)	Reducción de presión y/o acondicionamiento 1.99 a 1.79 MPa (275 a 245 psi)
	EAV(MBP)	Reducción de presión y/o acondicionamiento 1.99 a 0.13 MPa (275 a 20 psi)

Tabla 4. Equipos componentes de la Planta de Servicios Auxiliares

Servicio	Nomenclatura	Proceso
Sección de Turbogeneradores	Turbo Generadores	
	TG-1	Generación de energía eléctrica (19MW)
	TG-2	Generación de energía eléctrica (19MW)

Tabla 3. Equipos componentes de la Planta de Servicios Auxiliares

Servicio	Nomenclatura	Proceso
Sección de Agua de enfriamiento	Moto Bombas	
	DE-P1	Agua de enfriamiento de la DE-1
	DE-P1-A	Agua de enfriamiento de la DE-1
	DE-P2	Agua de enfriamiento de la DE-1
	DE-P2-A	Agua de enfriamiento de la DE-1 (comb. int.)
	BA-1-A	Agua de enfriamiento de la CT-8
	BA-1-B	Agua de enfriamiento de la CT-8
	BA-1-C	Agua de enfriamiento de la CT-8
	BA-1-D	Agua de recirculación de agua de enfriamiento de la CT-8
	BA-1-F	Agua de recirculación de agua de enfriamiento de la CT-8
	Turbo Bombas	
	BA-1-E	Agua de enfriamiento de la CT-8

Aplicación

El análisis exergético se aplicó a cada uno de los equipos considerados en la Planta de Servicios Auxiliares, simplificando para cada caso las ecuaciones del modelo matemático de acuerdo a la situación analizada. En las figuras 6 a 12, se presentan los esquemas de los equipos analizados, y en la tabla 5, se presentan las ecuaciones aplicables a cada uno de estos equipos.

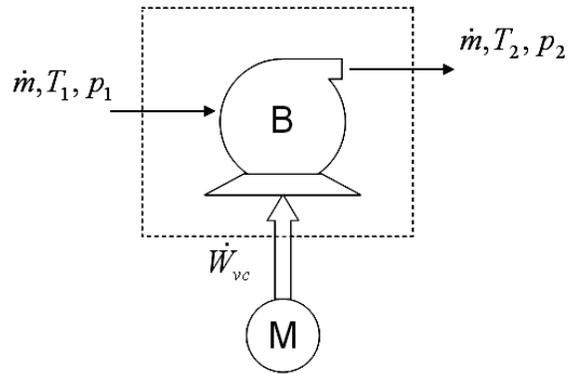


Figura 6 Diagrama de una Moto Bomba

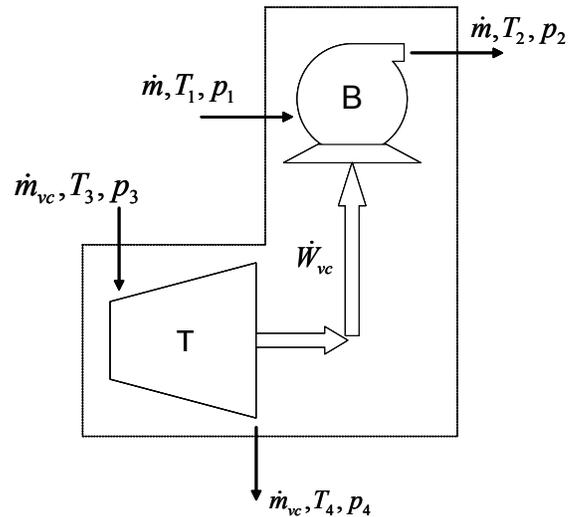


Figura 7 Diagrama de una Turbo Bomba

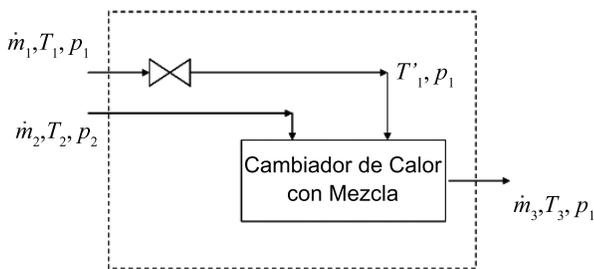


Figura 8 Diagrama de una Estación Acondicionadora de Vapor

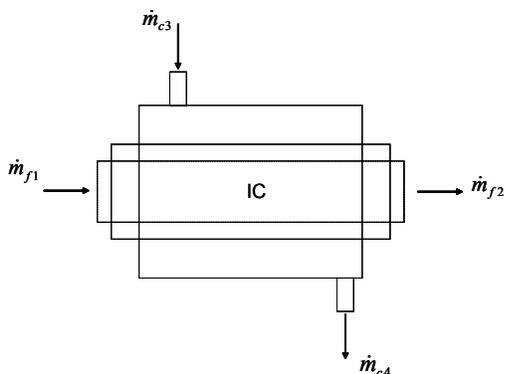


Figura 9 Diagrama de un Cambiador de Calor de Flujos Separados

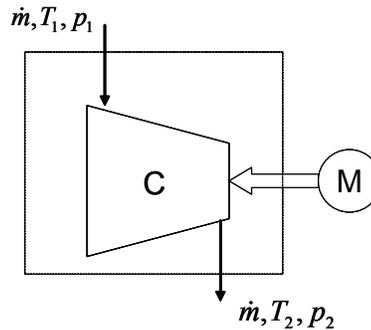


Figura 10 Diagrama de un Moto Compressor

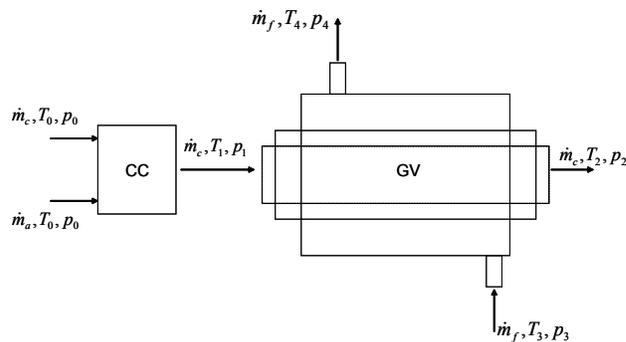


Figura 12 Diagrama de un Generador de Vapor

Resultados

A partir de las ecuaciones de la tabla 5 para cada uno de los equipos analizados, se planteó el balance de exergía y se calcularon la exergía suministrada, la exergía recuperada, y la eficiencia exergética. Los resultados se muestran en las tablas 6a y 6b, en donde se incluye la exergía destruida.

De los resultados mostrados en las tablas 6a y 6b, las sumas de cada una de las columnas indican lo siguiente:

- Exergía total suministrada: 496 750 kW
- Exergía total recuperada: 219 934 kW
- Exergía total destruida: 276 816 kW

En consecuencia, la eficiencia exergética total es de 44.27 %. Para completar el análisis exergético, las exergías destruidas se han clasificado en cuatro categorías, de acuerdo a sus magnitudes, como se muestra en la tabla 7.

Equipo	Balace de exergía	Exergía suministrada	Exergía recuperada	Eficiencia exergética
Bombas y compresores	$-\dot{W}_{cv} = \dot{m}(e_2 - e_1) + \dot{I}_{cv}$	\dot{W}_{cv}	$(e_2 - e_1)\dot{m} = \dot{m}[(h_2 - h_1) - T_0(s_2 - s_1)]$	$\frac{(e_2 - e_1)}{\left(\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}\right)}$
Turbinas	$\dot{m}(e_3 - e_4) = \dot{W}_{cv} + \dot{I}_{cv}$	$(e_3 - e_4)\dot{m} = \dot{m}[(h_3 - h_4) - T_0(s_3 - s_4)]$	\dot{W}_{cv}	$\frac{\left(\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}\right)}{(e_2 - e_1)}$
Válvulas	$\dot{I}_{cv} = \dot{m}(e_1 - e_r)$	$\dot{m}e_1$	$\dot{m}e_r$	$\frac{e_r}{e_1}$
Intercambiadores de calor de mezcla	$\dot{m}_1(e_1 - e_3) = \dot{m}_2(e_3 - e_2) + \dot{I}_{cv}$ $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$	$\dot{m}_1e_r + \dot{m}_2e_2$	\dot{m}_3e_3	$\frac{\dot{m}_3e_3}{\dot{m}_1e_r + \dot{m}_2e_2}$
Intercambiadores de calor de flujos separados	$\dot{m}_h(e_3 - e_4) = \dot{m}_c(e_2 - e_1) + \dot{I}_{cv}$	$\dot{m}_h(e_3 - e_4) = \dot{m}_h[(h_3 - h_4) - T_0(s_3 - s_4)]$	$\dot{m}_c(e_2 - e_1) = \dot{m}_c[(h_2 - h_1) - T_0(s_2 - s_1)]$	$\dot{m}_c(e_2 - e_1) / \dot{m}_h(e_3 - e_4)$
Generadores de vapor	$\dot{m}_f(e_1 - e_2) = \dot{m}(e_4 - e_3) + \dot{I}_{cv}$	$\dot{m}_f[(h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) + e_{ch}]$	$\dot{m}(e_4 - e_3) = \dot{m}[(h_4 - h_3) - T_0(s_3 - s_4)]$	$\dot{m}(e_4 - e_3) / \dot{m}_f(e_1 - e_2)$

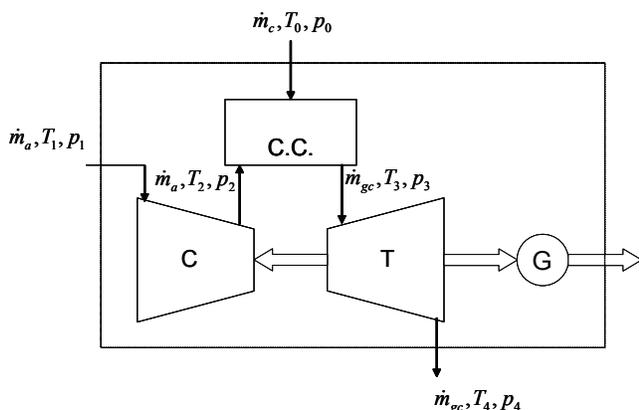


Figura 13 Diagrama de un Turbo Generador

Los equipos clasificados en la categoría de destrucción de exergía alta ($>1,000$ kW), son siete y corresponden a los generadores de vapor, a los turbogeneradores, al deaerador y a una bomba hidráulica. En conjunto, estos equipos producen el 97.65% de la destrucción de exergía. Quitando de este grupo al deaerador y a la bomba hidráulica, los generadores de vapor y los turbogeneradores producen el 96.88% de las destrucciones de exergía generadas en la planta de servicios auxiliares.

Equipo	Exergía suministrada [kW]	Exergía recuperada [kW]	Exergía destruida [kW]	Eficiencia exergética [%]
BA-10-A	30	10	20	33.33
BA-10-B	30	10	20	33.33
BA-10-C	30	10	20	33.33
BA-100-A	447	174	273	38.92
BA-100-B	447	174	273	38.92
BA-101-A	261	158	103	60.53
BA-102-A	112	53	59	47.32
BA-102-B	112	53	59	47.32
BA-103-A	56	27	29	48.21
BA-103-C	56	27	29	48.21
BA-106-A	30	15	15	50.00
BA-106-B	30	15	15	50.00
BA-107-A	19	15	4	78.95
BA-107-B	19	13	6	68.42
BA-1A	746	511	235	68.50
BA-1B	746	511	235	68.50
BA-1C	746	511	235	68.50
BA-1D	746	511	235	68.50
BA-1F	746	511	235	68.50
DE-P1A	447	296	151	66.21
DE-P1	447	296	151	66.21
DE-P2	186	97	89	52.15
BA-1-E	1,714	521	1,193	30.39
BA-100-C	625	296	329	47.36
BA-100-D	625	296	329	47.36
BA-101-B	625	158	467	25.28
BA-103-B	174	25	149	14.37

Los equipos clasificados en la categoría de destrucción de exergía regular, producen el 1.3% de las mismas; el grupo de equipos considerados como de destrucción de exergía media-baja, contribuyen con el 0.44% y el último grupo, que corresponden a los equipos de destrucción de exergía baja, contribuyen apenas con el 0.12% del total.

Equipo	Exergía suministrada [kW]	Exergía recuperada [kW]	Exergía destruida [kW]	Eficiencia exergética [%]
EAC-1	2,954	2,826	128	95.66
EAC-2	8,914	8,729	185	97.92
ED-100	4,203	2,084	2,119	48.58
BC-100-A	597	250	347	41.88
BC-100-B	447	201	246	44.97
BC-100-C	447	201	246	44.97
C-752	521	128	393	24.57
CB-1	100,899	36917	63982	36.59
CB-2	109,011	62652	46359	57.47
CB-3	109,011	62652	46359	57.47
TG-1	74,747	19000	55747	25.42
TG-2	74,747	19000	55747	25.42

Conclusiones

En este trabajo se plantearon los fundamentos del análisis exergético y se aplicó a una Planta de Servicios Auxiliares de una Planta Petroquímica. De esta forma fue posible evaluar las exergías suministradas, recuperadas y destruidas en cada uno de los equipos que componen la planta, así como sus correspondientes eficiencias exergéticas. Con esta información se observa que el uso de la energía en esta planta es deficiente, porque en forma global, su eficiencia exergética es de 44.27%, lo que indica que solo esta fracción de la energía disponible se está aprovechando y el resto se destruye.

Un aspecto importante del análisis exergético es que permite identificar los equipos que presentan los mayores valores de destrucción de exergía, que en este caso fueron los generadores de vapor, los turbogeneradores, el deaerador y una bomba hidráulica (97.65%). Esta información es indispensable para hacer propuestas técnicas encaminadas a mejorar el uso de la energía, poniendo atención especial a estos equipos y así optimizar de manera importante el uso de la energía en la planta completa.

Una propuesta para optimizar la operación de esta planta es utilizar el flujo de exergía contenido en los gases de combustión de los Turbo-Generadores para alimentar una Caldera de Recuperación de Calor. De esta manera se disminuiría el combustible que consume uno de los generadores de vapor, ahorrando así combustible y disminuyendo emisiones contaminantes a la atmósfera, con lo que se contribuiría a la protección del medio ambiente. Propuestas como ésta resaltan la

importancia de la evaluación de las pérdidas energéticas a través de la aplicación del método exergético.

Tabla 7. Clasificación de exergías destruidas

Tabla 7. Clasificación de exergías destruidas											
ALTA			REGULAR			MEDIA-BAJA			BAJA		
>1000			200<I<1000			100<I<200			I<100		
Equipo	kW	%	Equipo	kW	%	Equipo	kW	%	Equipo	kW	%
CB-1	63,982	23.45	BA-101-B	467	0.17	E-AC-2	185	0.07	DE-P2	89	0.032
TG-1	55,747	19.77	C-752	393	0.14	BC-100-B	246	0.09	BA-102-B	59	0.021
TG-2	55,747	19.77	BC-100-A	347	0.13	BC-100-C	246	0.09	BA-102-A	59	0.021
CB-2	46,359	16.75	BA-100-C	329	0.12	DE-PIA	151	0.05	BA-10-C	20	0.007
CB-3	46,359	16.75	BA-100-D	329	0.12	DE-PI	151	0.05	BA-10-B	20	0.007
ED-100	2,119	00.75	BA-100-A	273	0.10	E-AC-1	128	0.05	BA-10-A	20	0.007
			BA-100-B	273	0.10	BA-101-A	103	0.04	BA-106-B	15	0.005
			BA-1A	235	0.08				BA-106-A	15	0.005
			BA-1B	235	0.08				BA-107-B	6	0.002
			BA-1C	235	0.08				BA-103-C	4	0.001
			BA-1D	235	0.08				BA-103-A	4	0.001
			BA-1F	235	0.08				BA-107-A	4	0.001
									BA-1-E	4	0.001
									BA-103-B	4	0.001

La aplicación continua del análisis exergético a la Planta de Servicios Auxiliares permitirá identificar los equipos o procesos en los cuales se presenta una mayor destrucción de la exergía y al mismo tiempo proponer acciones y programas para lograr un uso más eficiente de la energía en dicha planta.

Referencias

Bejan, A., "Advanced Engineering Thermodynamics", 2nd edition, John Wiley and Sons, 1997.

Borel, L., "Thermodynamique et Energétique", Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse, 1991.

Elías Cárdenas, L., "Propuesta de recuperación de energía en una planta de servicios auxiliares aplicando el análisis exergético", Tesis de Maestría en Ciencias, ESIME, IPN, México, D.F., 2005.

Gaggioli, R., and Petit, P.J., "Use the Second Law First", CHEMTECH, 7, pp. 496-506, 1977.

Lior, N., and Zhang, N., "Energy, Exergy, and Second Law Performance Criteria", Energy, 32, pp. 281-296, 2007.

Moran, M.J., and Shapiro, H.N., "Fundamentals of Engineering Thermodynamics", 5a. edición, John Wiley and Sons, 2004.

Rosen, M.A., "Clarifying Thermodynamic Efficiencies and Losses Via Exergy", Exergy, 2, pp. 3-5, 2002.

Tsatsaronis, G., "Definitions and Nomenclature in Exergy Analysis and Exergoeconomics", Energy, 32, pp. 249-253, 2007.

Wall, G., Exergy - A Useful Concept, Ph. D. Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 1986.