

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO DE VAPOR PARTICULAR

Siguiendo la metodología presentada en el capítulo anterior, en este capítulo se lleva a cabo un análisis exergético de una central termoeléctrica particular. Primeramente, se da una descripción de la central estudiada y de su ciclo de vapor; a continuación, se describen los métodos de obtención de datos tanto de diseño como de operación; posteriormente, se delimitan los componentes a estudiarse, se define el ambiente y se especifican las idealizaciones; a continuación, se llevan a cabo los cálculos relevantes al análisis haciendo uso de la base de datos y de las ecuaciones desarrolladas en el capítulo anterior; finalmente, se resumen los resultados convenientemente en tablas y diagramas. El análisis se realiza tanto con los datos de diseño como con los de operación.

4.1 Descripción de la central y de su ciclo de vapor

La fuente de energía para la central termoeléctrica estudiada es Combustóleo PEMEX con la siguiente composición (en peso): Carbón (84.14%), Hidrógeno (11.45%), Oxígeno (0.38%), Nitrógeno (0.26%), Azufre (3.6%), ceniza (0.07%), humedad(0.1%). La Unidad genera 33013kW de potencia.

Los principales componentes de la central estudiada se muestran esquemáticamente en la figura 4.1, mientras que un esquema del generador de vapor se muestra en la figura 4.2.

En estos esquemas aparece la numeración de las corrientes de acuerdo a los datos de diseño y de operación que se muestran en las tablas A2.1 y A2.2.

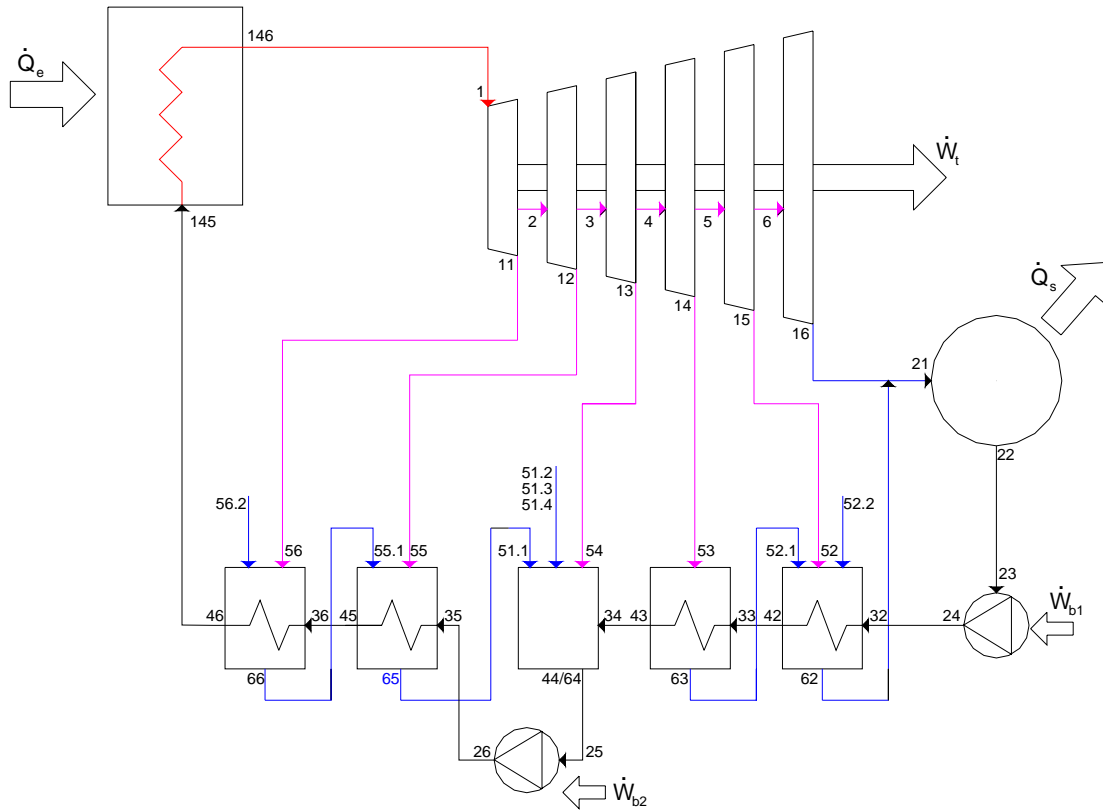


Figura 4.1. Diagrama esquemático del ciclo de vapor de la central termoeléctrica estudiada.

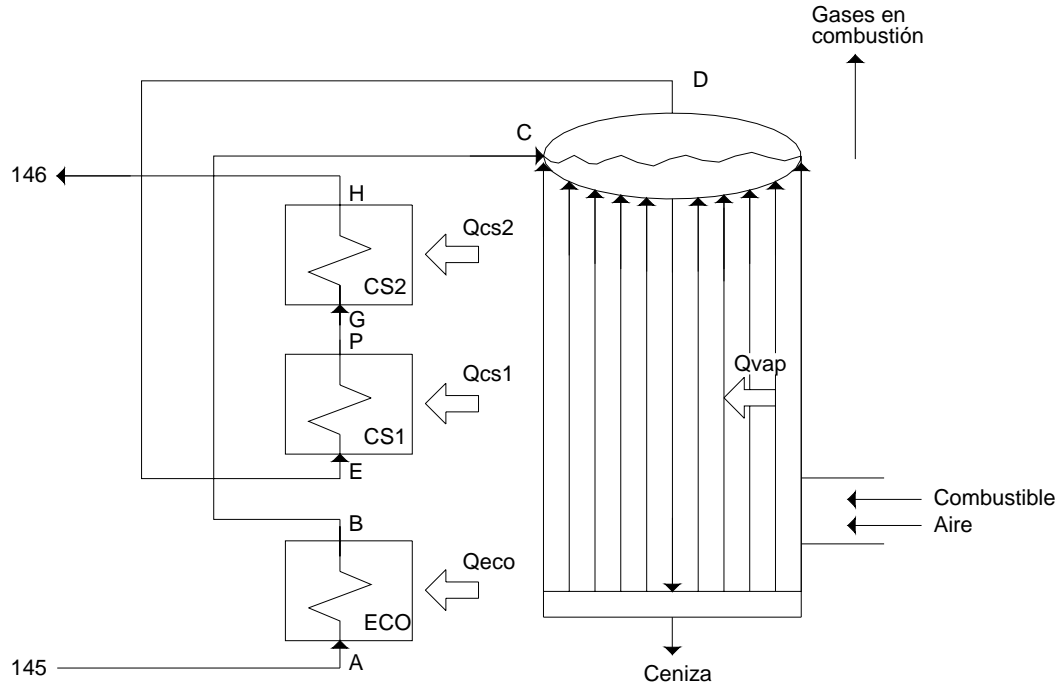


Figura 4.2. Diagrama esquemático del generador de vapor de la central termoeléctrica estudiada.

4.2 Obtención de datos

Los datos de diseño fueron recopilados en la central estudiada por personal del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Los valores recopilados fueron la presión y la temperatura en puntos relevantes del ciclo. Posteriormente, utilizando un programa computacional, el personal obtuvo los valores de la entalpía correspondientes. Adicionalmente, a partir de estos datos y los balances de masa y energía calcularon los valores del flujo másico en dichos puntos. Los valores de diseño tanto de presión y temperatura como de entalpía y flujo másico proporcionados por el personal del IIE se muestran en la tabla A2.1.

Por otro lado, con el fin de contar con datos de operación, el día 26 de marzo del 2004 personal del Instituto de Investigaciones Eléctricas realizó las mediciones de presión y temperatura en todos los equipos principales de la central termoeléctrica estudiada. Para esto se instalaron aproximadamente 120 sensores en puntos relevantes del ciclo. Con el objeto de obtener datos confiables, durante la instalación de dichos sensores se hizo una comparación entre las lecturas tomadas con la instrumentación de la Central y con la instrumentación del IIE con reciente calibración.

A partir de las mediciones de presión y temperatura tomadas, se obtuvieron los valores de entalpía correspondientes y se calcularon los flujos másicos. Los valores de operación tanto de presión y temperatura como de entalpía y flujo másico se muestran en la tabla A2.2.

En las tablas A2.1 y A2.2 se muestran así mismo los valores de entropía obtenidos como parte del presente trabajo a partir de los valores de presión y temperatura usando las funciones de vapor de excel. Adicionalmente, en dicha tabla se muestran los valores de la exergía de flujo específica calculados haciendo uso de la ecuación 2.34.

4.3 Especificación de los volúmenes de control

Los componentes de la central que se analizan como volúmenes de control en este trabajo son las seis expansiones de la turbina, el condensador, los intercambiadores de calor números dos al seis del tren de calentadores, las dos bombas que operan dentro del ciclo de vapor y los intercambiadores de calor de la caldera. Además, se analiza el ciclo de vapor en su conjunto.

Por otro lado, quedan fuera de este análisis la bomba del agua de enfriamiento que no forma parte del ciclo de vapor, el intercambiador de calor número uno del tren de calentadores el cual no se encuentra en funcionamiento y las tuberías.

Las fronteras de los volúmenes de control corresponden a las fronteras físicas de cada componente. La temperatura en la parte de la frontera del condensador en la que intercambia calor con el ambiente es la correspondiente a la temperatura de salida del agua de enfriamiento.

4.4 Definición del ambiente del sistema

Para especificar el ambiente, en este trabajo se toman los valores estándar de temperatura y presión ambientales de $T=25\text{ C}$ y $p=1\text{ bar}$, respectivamente. Estos valores

son muy cercanos a los de la temperatura promedio anual y presión atmosférica en la ciudad donde se localiza la central estudiada, los cuales son de 26°C y 1 atm, respectivamente.

4.5 Idealizaciones

Los supuestos sobre los que se basa el análisis son los enumerados en la sección 3.6 del capítulo anterior.

4.6 Análisis con los datos de diseño

Tanto el análisis con Primera Ley como el análisis exergético, el cálculo de las eficiencias exergéticas y el cálculo de los radios de destrucción de exergía se desarrollan en esta sección utilizando los datos de diseño de la central, mostrados en el apéndice 2.

El calor transferido a la caldera, el trabajo generado por la turbina, el calor cedido al ambiente por el condensador y el trabajo utilizado por las bombas, así como la magnitud de la destrucción de la exergía en cada componente se calculan usando los balances de materia, energía y exergía resumidos en la tabla 3.1. Usando la nomenclatura de la tabla A2.1, las ecuaciones resumidas en la tabla 3.1 toman la forma siguiente.

Trabajo generado por cada expansión de la turbina:

$$\dot{W}_{TAP1} = \dot{m}_{11}(h_1 - h_{11}) + \dot{m}_{11.1}(h_1 - h_{11.1}) + \dot{m}_2(h_1 - h_2) \quad (4.1)$$

$$\dot{W}_{TAP2} = \dot{m}_{12}(h_2 - h_{12}) + \dot{m}_3(h_2 - h_3) \quad (4.2)$$

$$\dot{W}_{TAP3} = \dot{m}_{13}(h_3 - h_{13}) + \dot{m}_4(h_3 - h_4) \quad (4.3)$$

$$\dot{W}_{TAP4} = \dot{m}_{14}(h_4 - h_{14}) + \dot{m}_5(h_4 - h_5) \quad (4.4)$$

$$\dot{W}_{TAP5} = \dot{m}_{15}(h_5 - h_{15}) + \dot{m}_6(h_5 - h_6) \quad (4.5)$$

$$\dot{W}_{TBP} = \dot{m}_{16}(h_6 - h_{16}) \quad (4.6)$$

Exergía destruida en cada expansión de la turbina:

$$\dot{E}_{d_{TAP1}} = \dot{E}_1 - \dot{E}_{11} - \dot{E}_{11.1} - \dot{E}_2 - \dot{W}_{TAP1} \quad (4.7)$$

$$\dot{E}_{d_{TAP2}} = \dot{E}_2 - \dot{E}_{12} - \dot{E}_3 - \dot{W}_{TAP2} \quad (4.8)$$

$$\dot{E}_{d_{TAP3}} = \dot{E}_3 - \dot{E}_{13} - \dot{E}_4 - \dot{W}_{TAP3} \quad (4.9)$$

$$\dot{E}_{d_{TAP4}} = \dot{E}_4 - \dot{E}_{14} - \dot{E}_5 - \dot{W}_{TAP4} \quad (4.10)$$

$$\dot{E}_{d_{TAP5}} = \dot{E}_5 - \dot{E}_{15} - \dot{E}_6 - \dot{W}_{TAP5} \quad (4.11)$$

$$\dot{E}_{d_{TBP}} = \dot{E}_6 - \dot{E}_{16} - \dot{W}_{TBP} \quad (4.12)$$

Calor transferido al ambiente por el condensador:

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_{22}(h_{21} - h_{22}) \quad (4.13)$$

Exergía destruida en el condensador:

$$\dot{E}_{d_{cond}} = \dot{E}_{21} - \dot{E}_{22} - \left(1 - \frac{T_o}{T_{cond}}\right) \dot{Q}_s \quad (4.14)$$

Exergía destruida en cada intercambiador de calor del tren de calentadores:

$$\dot{E}_{d_{ic6}} = \dot{m}_{56}(e_{56} - e_{66}) + \dot{m}_{56.2}(e_{56.2} - e_{66}) - \dot{m}_{46}(e_{46} - e_{36}) \quad (4.15)$$

$$\dot{E}_{d_{ic5}} = \dot{m}_{55}(e_{55} - e_{65}) + \dot{m}_{55.1}(e_{55.1} - e_{65}) - \dot{m}_{45}(e_{45} - e_{35}) \quad (4.16)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{d_{ic4}} = & \dot{m}_{54}(e_{54} - e_{64}) + \dot{m}_{54.1}(e_{54.1} - e_{64}) + \dot{m}_{54.2}(e_{54.2} - e_{64}) \\ & + \dot{m}_{54.3}(e_{54.3} - e_{64}) + \dot{m}_{54.4}(e_{54.4} - e_{64}) - \dot{m}_{34}(e_{44} - e_{34}) \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\dot{E}_{d_{ic3}} = \dot{m}_{53}(e_{53} - e_{63}) - \dot{m}_{43}(e_{43} - e_{33}) \quad (4.18)$$

$$\dot{E}_{d_{ic2}} = \dot{m}_{52}(e_{52} - e_{62}) + \dot{m}_{52.1}(e_{52.1} - e_{62}) + \dot{m}_{52.2}(e_{52.2} - e_{62}) - \dot{m}_{42}(e_{42} - e_{32}) \quad (4.19)$$

Trabajo utilizado por cada bomba:

$$\dot{W}_{b1} = \dot{m}_{23}(h_{24} - h_{23}) \quad (4.20)$$

$$\dot{W}_{b2} = \dot{m}_{25}(h_{26} - h_{25}) \quad (4.21)$$

Exergía destruida en cada bomba:

$$\dot{E}_{d_{b1}} = \dot{E}_{23} - \dot{E}_{24} + \dot{W}_{b1} \quad (4.22)$$

$$\dot{E}_{d_{b2}} = \dot{E}_{25} - \dot{E}_{26} + \dot{W}_{b2} \quad (4.23)$$

Calor trasferido al fluido de trabajo en la caldera:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_{145}(h_{146} - h_{145}) \quad (4.24)$$

Calor transferido al fluido de trabajo en el economizador:

$$\dot{Q}_{eco} = \dot{m}_B(h_B - h_A) \quad (4.25)$$

Calor transferido al fluido de trabajo en la vaporización:

$$\dot{Q}_{\text{vap}} = \dot{m}_D (h_D - h_C) \quad (4.26)$$

Calor transferido al fluido de trabajo en el SC1:

$$\dot{Q}_{\text{SC1}} = \dot{m}_F (h_F - h_E) \quad (4.27)$$

Calor transferido al fluido de trabajo en el SC2:

$$\dot{Q}_{\text{SC2}} = \dot{m}_H (h_H - h_G) \quad (4.28)$$

Exergía destruida en la caldera:

$$\dot{E}_{d_{cal}} = \dot{m}_{145} e_{145} - \dot{m}_{146} e_{146} + \sum_j \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) \dot{Q}_j \quad (4.29)$$

Exergía destruida en el economizador:

$$\dot{E}_{d_{eco}} = \dot{E}_A - \dot{E}_B + \left(1 - \frac{T_o}{T_{eco}} \right) \dot{Q}_{eco} \quad (4.30)$$

Exergía destruida en la vaporización:

$$\dot{E}_{d_{vap}} = \dot{E}_C - \dot{E}_D + \left(1 - \frac{T_o}{T_{vap}} \right) \dot{Q}_{vap} \quad (4.31)$$

Exergía destruida en el SC1:

$$\dot{E}_{d_{SC1}} = \dot{E}_E - \dot{E}_F + \left(1 - \frac{T_o}{T_{SC1}}\right) \dot{Q}_{SC1} \quad (4.32)$$

Exergía destruida en el SC2:

$$\dot{E}_{d_{SC2}} = \dot{E}_G - \dot{E}_H + \left(1 - \frac{T_o}{T_{SC2}}\right) \dot{Q}_{SC2} \quad (4.33)$$

Exergía transferida al fluido de trabajo en la caldera:

$$\dot{E}_{e_{fl.tr.}} = \dot{E}_{146} - \dot{E}_{145} \quad (4.34)$$

Exergía que entra al ciclo procedente de la combustión:

$$\dot{E}_{Q_{coomb}} = \dot{E}_{e_{fl.tr.}} + \dot{E}_{eco} + \dot{E}_{vap} + \dot{E}_{cs1} + \dot{E}_{cs2} \quad (4.35)$$

Exergía perdida con los gases que se ventilan a la atmósfera por la chimenea:

$$\dot{E}_{p_{gases}} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{gases}}\right) \dot{Q}_{gases} \quad (4.36)$$

Exergía que entra con el combustible y el aire precalentado:

$$\dot{E}_e = \dot{E}_{comb} + \left(1 - \frac{T_o}{T_{aire}}\right) \dot{Q}_{aire} \quad (4.37)$$

Exergía destruida en la combustión:

$$\dot{E}_{d_{comb}} = \dot{E}_e - \dot{E}_{pgases} - \dot{E}_{Q_{comb}} \quad (4.38)$$

Sustituyendo los valores numéricos de la tabla A2.1 en las ecuaciones anteriores, se obtienen los valores mostrados en la tabla 4.1.

Usando la nomenclatura de las figuras 4.1 y 4.2, las ecuaciones resumidas en la tabla 3.1 para las eficiencias exergéticas de cada componente resultan las siguientes.

Eficiencia exergética de la turbina:

$$\varepsilon_T = \frac{\dot{W}_T}{\dot{E}_1 - \dot{E}_{11} - \dot{E}_{11.1} - \dot{E}_{12} - \dot{E}_{13} - \dot{E}_{14} - \dot{E}_{15} - \dot{E}_{16}} \quad (4.39)$$

Eficiencia exergética de la cada expansión de la turbina:

$$\varepsilon_{TAP1} = \frac{\dot{W}_{TAP1}}{\dot{E}_1 - \dot{E}_{11} - \dot{E}_{11.1} - \dot{E}_2} \quad (4.40)$$

$$\varepsilon_{TAP2} = \frac{\dot{W}_{TAP2}}{\dot{E}_2 - \dot{E}_{12} - \dot{E}_3} \quad (4.41)$$

$$\varepsilon_{TAP3} = \frac{\dot{W}_{TAP3}}{\dot{E}_3 - \dot{E}_{13} - \dot{E}_4} \quad (4.42)$$

$$\varepsilon_{TAP4} = \frac{\dot{W}_{TAP4}}{\dot{E}_4 - \dot{E}_{14} - \dot{E}_5} \quad (4.43)$$

$$\varepsilon_{TAP5} = \frac{\dot{W}_{TAP5}}{\dot{E}_5 - \dot{E}_{15} - \dot{E}_6} \quad (4.44)$$

$$\varepsilon_{TBP} = \frac{\dot{W}_{TBP}}{\dot{E}_6 - \dot{E}_{16}} \quad (4.45)$$

Eficiencia exergética de la cada bomba:

$$\varepsilon_{b1} = \frac{\dot{E}_{24} - \dot{E}_{23}}{\dot{W}_{b1}} \quad (4.46)$$

$$\varepsilon_{b2} = \frac{\dot{E}_{26} - \dot{E}_{25}}{\dot{W}_{b2}} \quad (4.47)$$

Eficiencia exergética de los intercambiadores de calor:

$$\varepsilon_6 = \frac{\dot{E}_{46} - \dot{E}_{36}}{\dot{E}_{56} + \dot{E}_{56.2} - \dot{E}_{66}} \quad (4.48)$$

$$\varepsilon_5 = \frac{\dot{E}_{45} - \dot{E}_{35}}{\dot{E}_{55} + \dot{E}_{5.1} - \dot{E}_{65}} \quad (4.49)$$

$$\varepsilon_4 = \frac{\dot{m}_{34}(e_{44} - e_{34})}{\dot{m}_{55}(e_{55} - e_{64}) + \dot{m}_{55.1}(e_{55.1} - e_{64}) + \dot{m}_{55.2}(e_{55.2} - e_{64}) + \dot{m}_{55.3}(e_{55.3} - e_{64}) + \dot{m}_{55.4}(e_{55.4} - e_{64})} \quad (4.50)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\dot{E}_{44} - \dot{E}_{43}}{\dot{E}_{53} - \dot{E}_{63}} \quad (4.51)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\dot{E}_{42} - \dot{E}_{32}}{\dot{E}_{52} + \dot{E}_{52.1} + \dot{E}_{52.2} - \dot{E}_{62}} \quad (4.52)$$

Eficiencia exergética de la caldera:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{146} - \dot{E}_{145}}{\dot{E}_Q} \quad (4.53)$$

Eficiencia exergética del economizador:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_B - \dot{E}_A}{\left(1 - \frac{T_o}{T_{eco}}\right) \dot{Q}_{eco}} \quad (4.54)$$

Eficiencia exergética de la vaporización:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_D - \dot{E}_C}{\left(1 - \frac{T_o}{T_{vap}}\right) \dot{Q}_{vap}} \quad (4.55)$$

Eficiencia exergética del SC1:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_F - \dot{E}_E}{\left(1 - \frac{T_o}{T_{SC1}}\right) \dot{Q}_{SC1}} \quad (4.56)$$

Eficiencia exergética del SC2:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_H - \dot{E}_G}{\left(1 - \frac{T_o}{T_{SC2}}\right) \dot{Q}_{SC2}} \quad (4.57)$$

Eficiencia exergética de la combustión:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{Q_{comb}}}{\dot{E}_e} \quad (4.58)$$

Eficiencia exergética del ciclo de vapor:

$$\varepsilon = \frac{\dot{W}_s}{\dot{E}_{Q_{comb}} + \dot{W}_{b1} + \dot{W}_{b2}} \quad (4.59)$$

Eficiencia exergética del ciclo completo:

$$\varepsilon = \frac{\dot{W}_s}{\dot{E}_e} \quad (4.60)$$

Sustituyendo los valores numéricos de la tabla A2.1 en las ecuaciones anteriores, se obtienen los valores mostrados en la tabla 4.1.

Componente	Exergía del recurso (MW)	Exergía del producto (MW)	Pérdida de exergía (MW)	Destrucción de exergía (MW)	Eficiencia exergética (%)
Turbina	45.60	38.97	0	5.45	87.73
HPT1	12.09	9.60	0	1.31	87.95
HPT2	6.48	5.91	0	0.57	91.14
HPT3	5.91	5.34	0	0.57	90.32
HPT4	5.89	5.19	0	0.70	88.14
HPT5	6.48	5.65	0	0.83	87.23
LPT	8.74	7.28	0	1.46	83.26
Condensador	4.40	0	3.07	1.32	0

IC6	2.74	2.49	0	0.25	91.00
IC5	1.78	1.64	0	0.14	92.06
IC4	2.02	1.56	0	0.46	77.14
IC3	1.43	1.21	0	0.22	84.86
IC2	1.08	0.78	0	0.38	67.46
Bomba 1	0.06	0.035	0	0.025	58.62
Bomba 2	0.51	0.49	0	0.02	96.11
Economizador	2.94	2.03	0	0.90	69.24
Vaporización	53.42	30.15	0	23.27	56.44
CS1	14.99	11.33	0	3.66	75.60
CS2	11.94	8.76	0	3.18	73.38
Combustión	119.47	8.17	6.12	31.62	68.41
Ciclo de vapor	82.30	38.97	3.07	39.27	47.35
Ciclo completo	120.04	38.97	6.22	70.89	32.46

Tabla 4.1. Valores calculados para la exergía del recurso, la exergía del producto, la pérdida de exergía, la destrucción de exergía y la eficiencia exergética para cada componente a partir de los datos de diseño.

4.7 Análisis con los datos de operación

Tanto el análisis con Primera Ley, el análisis exergético, el cálculo de las eficiencias exergéticas y el cálculo de los radios de destrucción de exergía, como el diagrama de Grassmann que muestra esquemáticamente los flujos de exergía, se desarrollan en esta

sección utilizando los valores de las propiedades resumidos en la tabla A2.2 del apéndice, los cuales corresponden a los datos de operación del día 26 de marzo del 2004.

El calor transferido a la caldera, el trabajo generado por la turbina, el calor cedido al ambiente por el condensador y el trabajo utilizado por las bombas, así como la magnitud de la destrucción de la exergía en cada componente se calculan usando las ecuaciones resumidas en la tabla 3.1. Usando la nomenclatura de la tabla A2.2, las ecuaciones resumidas en la tabla 3.1 toman la misma forma que en el análisis de la sección anterior, a excepción de las siguientes.

Exergía destruida en los intercambiadores de calor números 4 y 2 del tren de calentadores, respectivamente:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{d_{ic4}} = & \dot{m}_{54}(e_{54} - e_{64}) + \dot{m}_{54.1}(e_{54.1} - e_{64}) + \dot{m}_{54.2}(e_{54.2} - e_{64}) \\ & + \dot{m}_{54.4}(e_{54.4} - e_{64}) - \dot{m}_{34}(e_{44} - e_{34}) \end{aligned} \quad (4.61)$$

$$\dot{E}_{d_{ic2}} = \dot{m}_{52}(e_{52} - e_{62}) + \dot{m}_{52.1}(e_{52.1} - e_{62}) - \dot{m}_{42}(e_{42} - e_{32}) \quad (4.62)$$

Sustituyendo los valores numéricos de la tabla A2.2 en las ecuaciones anteriores y en las ecuaciones de la sección 4.3 correspondientes, se obtienen los valores mostrados en la tabla 4.2.

Usando la nomenclatura de la tabla A2.2 del apéndice, las ecuaciones resumidas en la tabla 3.1 para las eficiencias exergéticas de cada componente resultan en las mismas de la sección 4.3, a excepción de las siguientes.

Eficiencia exergética de los intercambiadores de calor numero 4 y 2 respectivamente:

$$\varepsilon_4 = \frac{\dot{m}_{34}(e_{44} - e_{34})}{\dot{m}_{55}(e_{55} - e_{64}) + \dot{m}_{55.1}(e_{55.1} - e_{64}) + \dot{m}_{55.2}(e_{55.2} - e_{64}) + \dot{m}_{55.4}(e_{55.4} - e_{64})} \quad (4.65)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\dot{E}_{42} - \dot{E}_{32}}{\dot{E}_{52} + \dot{E}_{52.1} - \dot{E}_{62}} \quad (4.66)$$

Sustituyendo los valores numéricos de la tabla A2.2 (del apéndice) en las ecuaciones anteriores, así como en las ecuaciones de la sección anterior correspondientes, se obtienen los valores mostrados en la tabla 4.2.

Componente	Exergía del recurso (MW)	Exergía del producto (MW)	Pérdida de exergía (MW)	Destrucción de exergía (MW)	Eficiencia exergética (%)
Turbina	42.56	35.77	0	6.78	84.06
HPT1	10.57	8.57	0	1.20	81.12
HPT2	6.10	4.68	0	1.42	76.75
HPT3	6.34	5.75	0	0.59	90.67

HPT4	6.19	5.20	0	0.99	83.95
HPT5	6.60	5.82	0	0.78	88.17
LPT	6.76	5.76	0	1.00	85.15
Condensador	7.34	0	2.93	4.42	0
IC6	2.87	2.62	0	0.245	91.32
IC5	2.41	2.20	0	0.21	91.38
IC4	2.24	1.75	0	0.49	78.19
IC3	1.91	1.57	0	0.33	82.58
IC2	0.78	0.57	0	0.21	72.60
Bomba 1	0.06	0.04	0	0.021	53.09
Bomba 2	0.53	0.52	0	0.013	97.62
Economizador	2.69	1.85	0	0.84	68.79
Vaporización	6.29	35.22	0	27.185	56.44
CS1	11.30	8.52	0	2.78	75.39
CS2	9.56	7.47	0	2.10	78.08
Combustión	127.57	84.86	8.36	34.35	65.88
Ciclo de vapor	85.46	35.77	2.93	45.62	41.86
Ciclo completo	128.16	35.77	11.28	79.98	27.65

Tabla 4.2. Valores calculados para la exergía del recurso, la exergía del producto, la pérdida de exergía, la destrucción de exergía y la eficiencia exergética para cada componente a partir de los datos de operación.