



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

Booklets



RENIECYT

Registro Nacional de Instituciones y
Empresas Científicas y Tecnológicas

1702902

CONACYT

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Análisis Exergético y Termoeconómico de la Central Termoelectrica, Villa de Reyes, Operando a Carga Parcial

Author: Juan Antonio, JIMÉNEZ - GARCÍA.

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 23
Mail: jajimenezg@uaemex.mx
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 | 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	Republic of Congo
Ecuador	Taiwan	
Peru	Paraguay	Nicaragua

I. Introducción

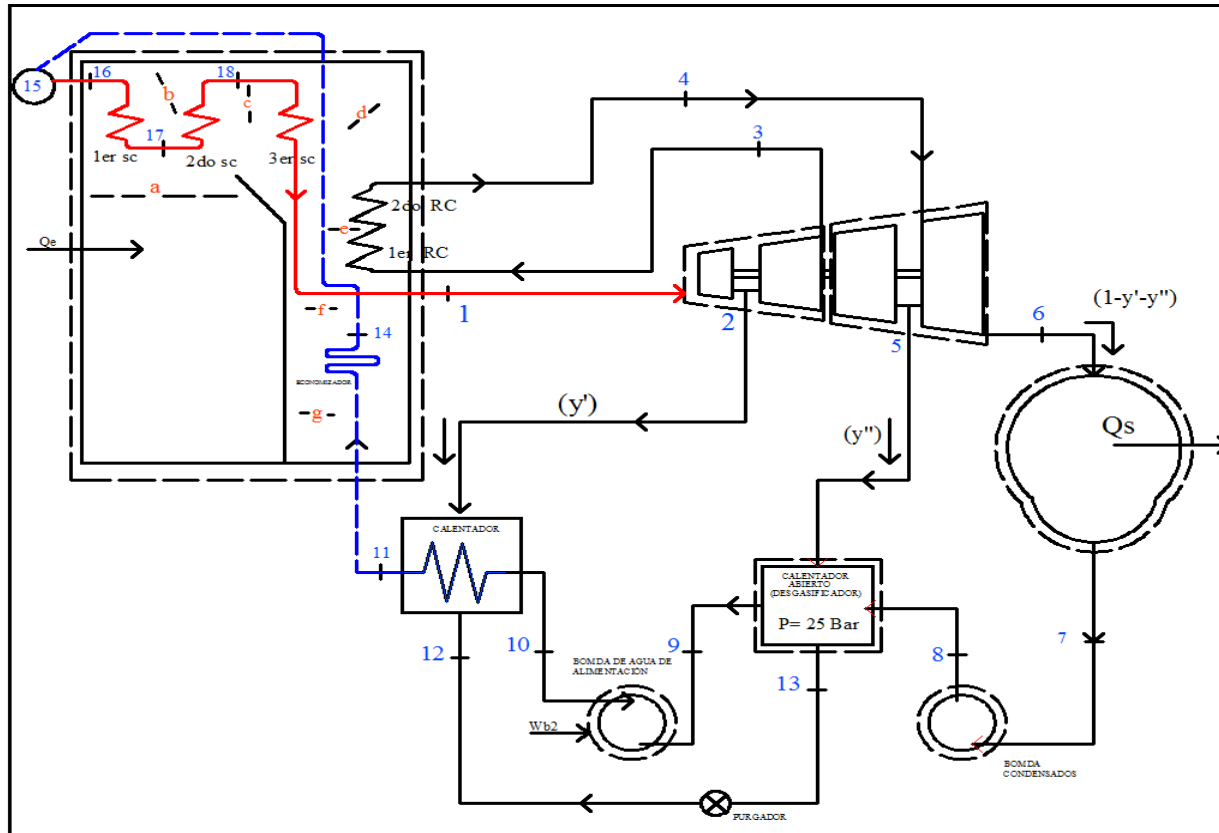
- Se realiza la simulación de la operación de una central térmica de vapor, centrandó el estudio en la transferencia de calor en generador de vapor de 350 MW y en ciclo térmico de vapor (Rankine con recalentamiento idealizado)

Potencia Instalada	350 MW
Potencia Nominal (CFE)	332.2 MW
Potencia Nominal Considerada para el análisis	280.5 MW



1. Introducción

1.1 Ciclo Rankine con Recalentamiento y dos Regeneraciones



1.2 Características de la central termoeléctrica

- Es una central termoeléctrica convencional.
- Opera con un ciclo Rankine con recalentamiento y se consideran dos regeneraciones de vapor.
- Emplea como combustible Combustóleo

Datos Nominales de Operación	
Presión de domo principal	183.18 Bar
Producción de Vapor Principal	1037.9 T/hr
Producción de vapor recalentado	932.9 T/hr
Temperatura de vapor principal	541°C
Temperatura de vapor Recalentado	541°C
Flujo de Combustible	77.53 T/hr
Dosado de aire	1.05- 1.30
Fracción de Gases de Recirculación al Hogar del G.V	0.20 – 0.40

3. Objetivo General

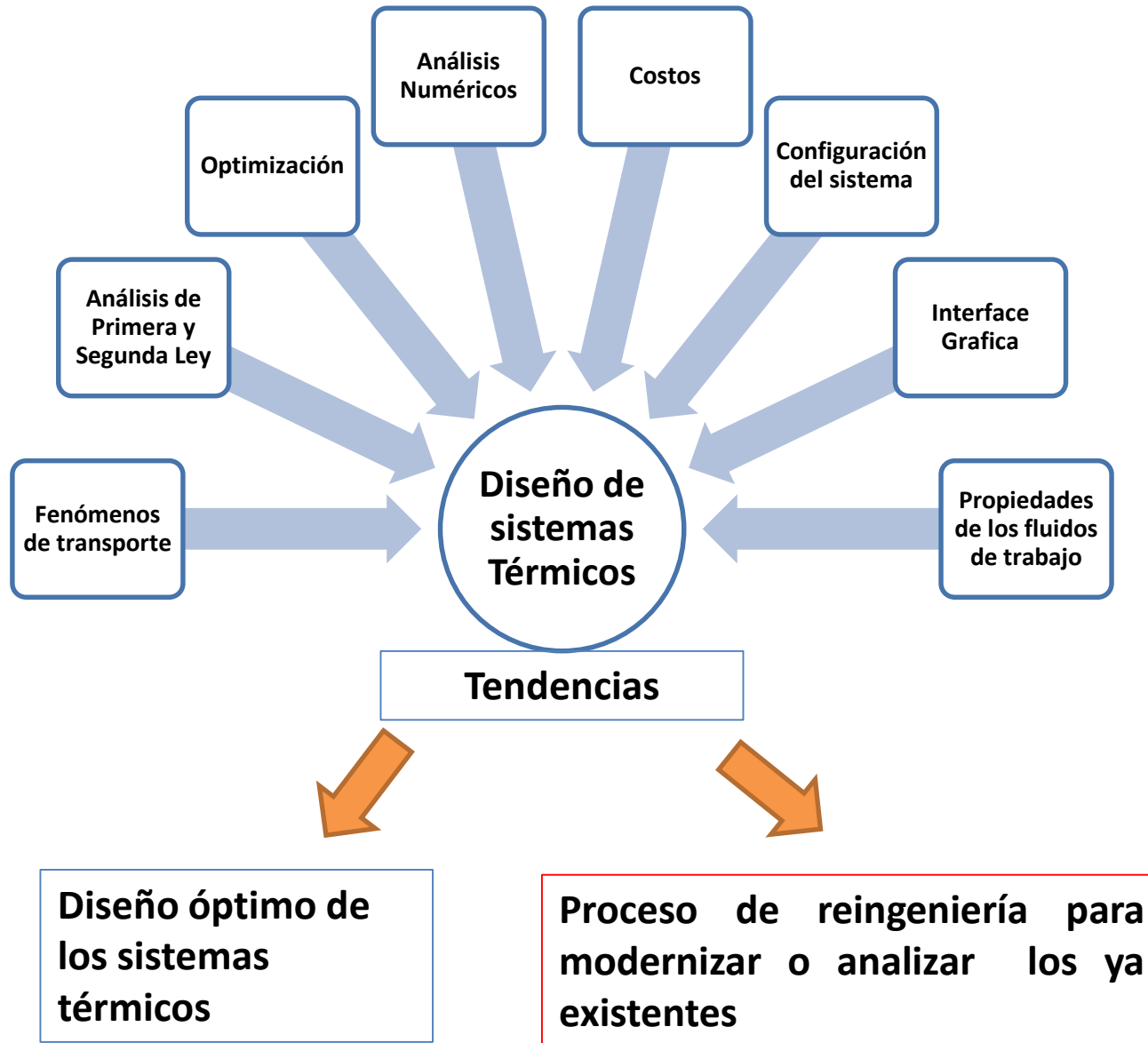
- realizar un análisis de sensibilidad sobre las principales variables de operación de la central térmica, en este caso **la presión de recalentamiento** de la central termoeléctrica, a régimen de carga variable e identificar los regímenes de carga más eficientes.

4 Objetivos Específicos

- » Simular y validar el ciclo térmico de vapor de la central termoeléctrica Villa de Reyes, a regímenes de carga: 100%, 75%, 50%, y 25%.
- » Realizar la simulación del ciclo térmico de vapor a regímenes de **carga variable**.
- » Realizar un análisis de sensibilidad de las principales variables independientes del modelo esn este caso, la presión del vapor a recalentamiento.

5. Antecedentes de investigación

Elementos Básico del diseño de Sistemas Térmicos



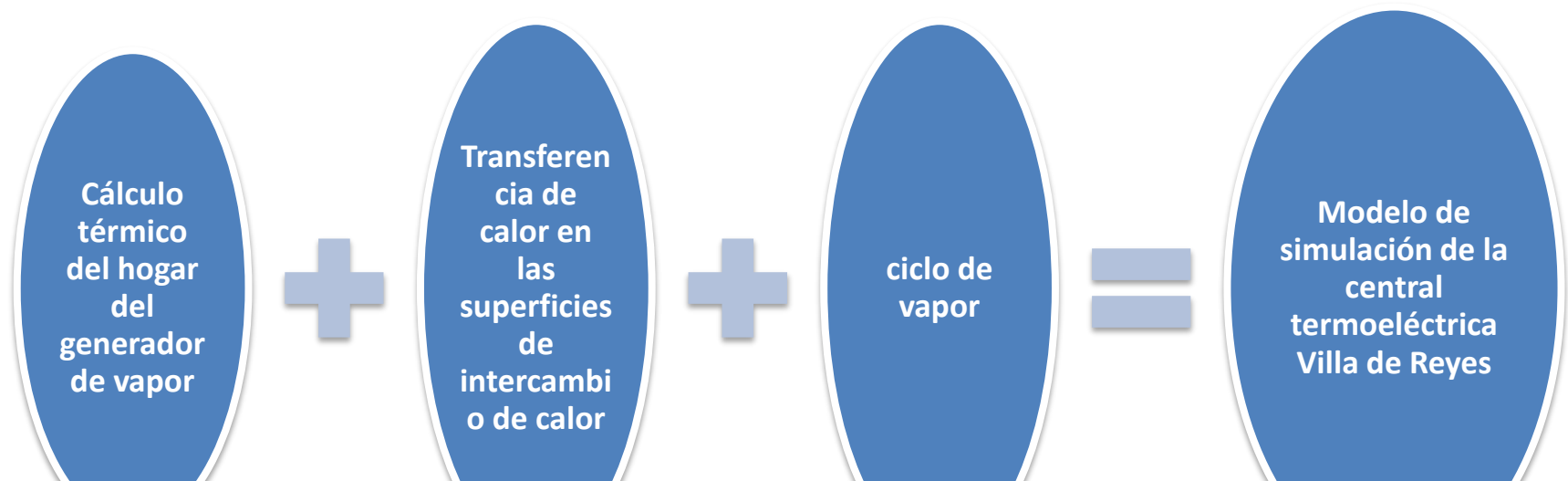
6. Metodología

La simulación consiste en integrar un sistema de ecuaciones y procedimientos de cálculo que imitan el comportamiento de la Central termoeléctrica Villa de Reyes.

Se creó el modelo de simulación del sistema de generación de Energía que consistió en integrar varios módulos :

6.1 Etapa de **Validación** del Modelo

Se validan los resultados del modelo de simulación **VS** los parámetros conocidos de operación al: 100%, 75%, 50% y 25% de carga.



6. Metodología

6.1 Etapa de Validación del Modelo

Se integraron los Módulos de cálculo, de manera secuencia y se emplea el método de sustituciones sucesivas, se calculo el error relativo aproximado ϵ_{ra} , en cada iteración, con un criterio de paro del error relativo aproximado de $\epsilon_{ra} < 1 \times 10^{-8}$. lo que garantiza que el resultado tiene un error menor a $1 \times 10^{-9}\%$.

El programa de simulación se desarrollo en hojas de calculo de Excel 2010, empleando el editor de *Visual Basic Applications*

a) Calculo Térmico del Hogar

CÁLCULO TÉRMICO DEL HOGAR DEL GENERADOR DE VAPOR DE 350 MW

Calculo de la temperatura de los gases a la salida del Hogar

Composición Química del Combustible

C(%) **83.64** S(%) **4.2** N(%) **0.37** H(%) **11.3** O(%) **0.49**

Flujo de Combustible suministrado al generador de vapor (T/h) **B(t/H) 77.53** Exceso de Aire suministrado al hogar [1.0- 1.55, Intervalos de 0.05] **Alfa 1.05**

Flujo de combustible Recomendados

Carga 100%	77.53 T/h
Carga 75%	59.17 T/h
Carga 50%	41.58 T/h
Carga 25%	20.37 T/h

Presión del Domo de Vapor **P15(T/H) 183.18** Presión Recomendada

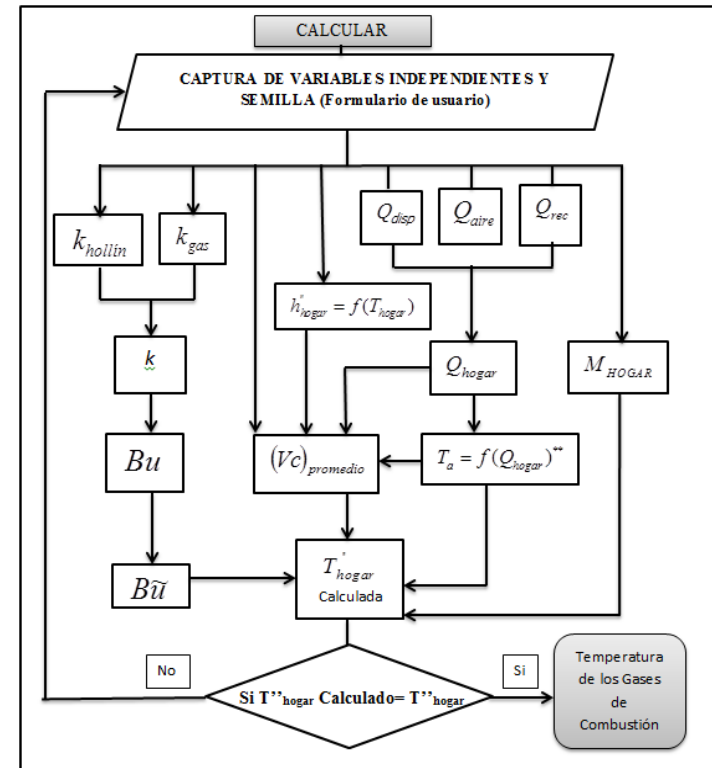
Carga 100%	183.18 Bar
Carga 75%	173.87 Bar
Carga 50%	169.16 Bar
Carga 25%	166.90 Bar

Flujo de Gases de Recirculación (%) [r = 0.20 - 0.60] **r (%) 0.2**

Flujo de Agua de Alimentación(T/h) **m11(T/H) 1097.4** Flujo de Agua de alimentación

Carga 100%	1097.48 T/h
Carga 75%	763.7 T/h
Carga 50%	512.20 T/h
Carga 25%	271.0 T/h

Calcular



6. Metodología

6.1 Etapa de **Validación** del Modelo

b) Transferencia de calor en las superficies de intercambio de calor

The image displays a methodology for heat transfer calculation, split into a flowchart and a VBA code implementation.

Flowchart:

- Inputs: Tgas entrada, Tvapor entrada
- Process: Cálculo del (U, NTU)
- Outputs: Tgas salida, Tvapor salida
- Formulas:
 $T \text{ vapor promedio} = 0.5 \cdot (T \text{ entrada} + T \text{ salida})$
 $T \text{ gases promedio} = 0.5 \cdot (T \text{ entrada} + T \text{ salida})$
- Process: Cálculo de (U, NTU) con T vapor promedio, T gases promedio
- Outputs: Tgas salida, Tvapor salida
- Decision: T vapor = T vapor salida (n-1)
 - If NO: Loop back to the formula step.
 - If SI: Proceed to iterative calculations.
- Process: Cálculo Iterativo del 2do. SC
- Process: Cálculo Iterativo del 3do. SC
- Final Outputs: Tgas salida, Tvapor salida

Spreadsheet Interface:

- Buttons: ANALISIS DE PARAMETROS, CARGAS PARCIALES, Cálculo Térmico, Cálculo Energético, HEAT TRANSFER 1SC, Heat Transfer 2SC, Heat Transfer 3SC, Heat Transfer RH, Borrar HOJA, BORRAR RH.

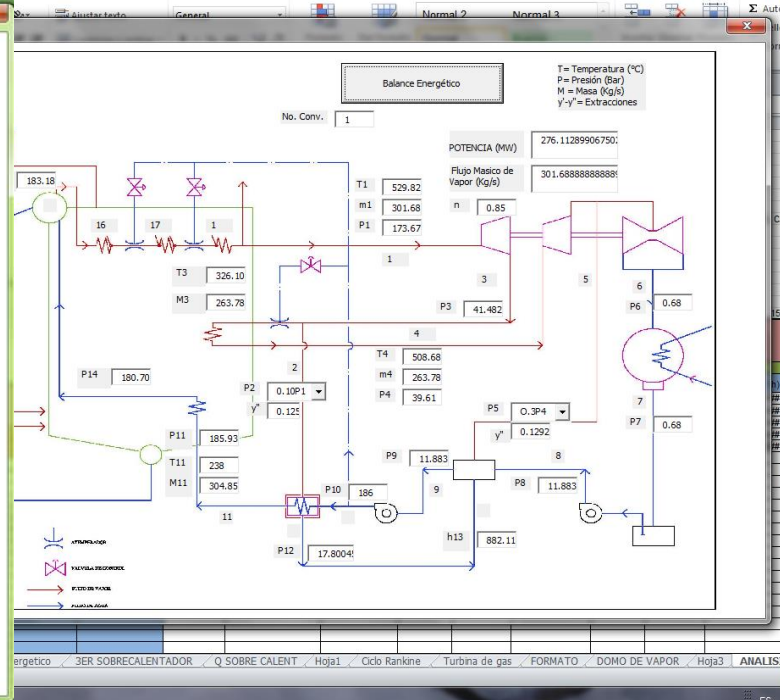
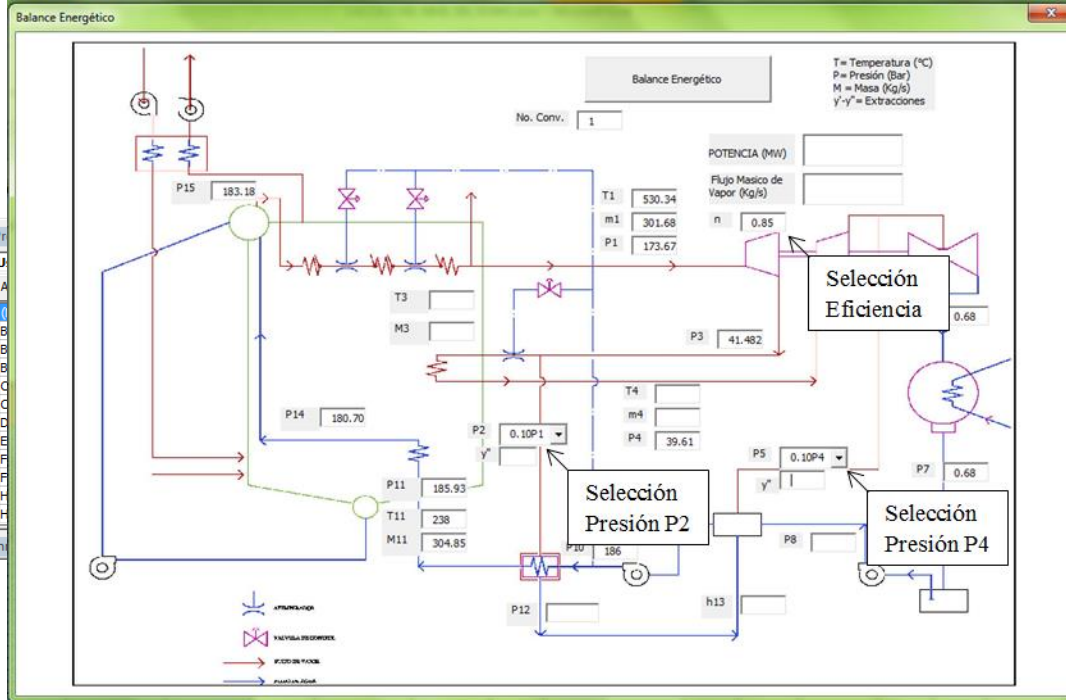
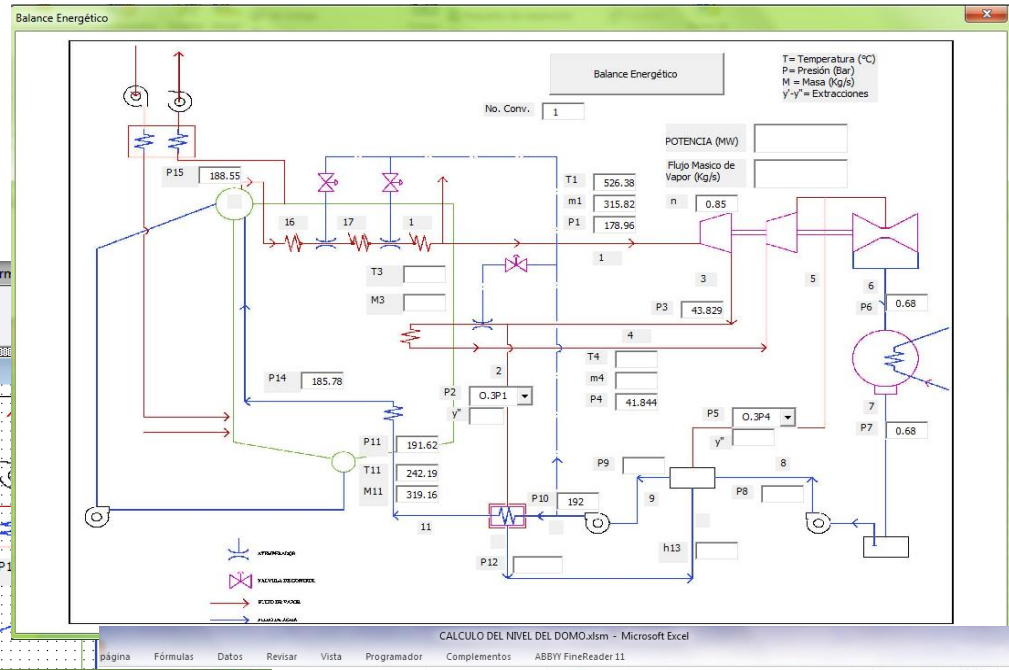
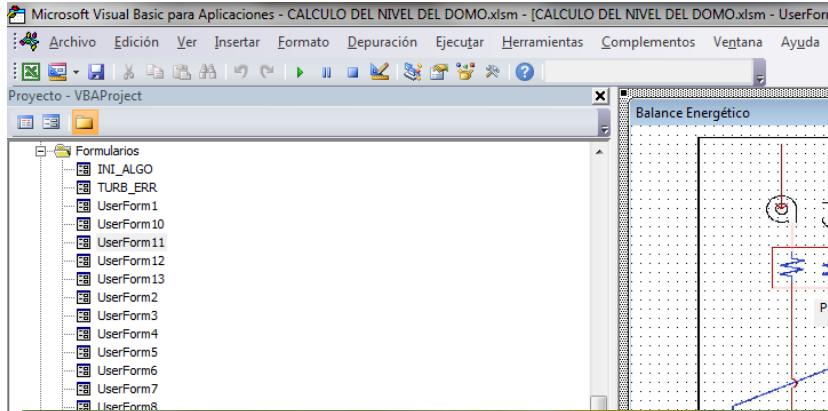
VBA Code (heatTransferRC):

```
Sub heatTransferRC()  
    fila = 0  
    Parar = False  
  
    Do  
        fila = fila + 1  
        TD = Application.Workbooks("CALCULO DEL NIVEL DEL DOMO.xlsm").Worksheets("Analisis")  
        IF Application.Workbooks("CALCULO DEL NIVEL DEL DOMO.xlsm").Worksheets("Analisis").Cells(fila, 10).Value = True Then  
            Parar = True  
        End If  
  
        If fila = 100 Then  
            Parar = True  
            MsgBox "La temperatura Td es mayor a 100 iteraciones"  
        Else  
            End If  
  
        Loop While (Parar = False)  
  
        TD = Application.Workbooks("CALCULO DEL NIVEL DEL DOMO.xlsm").Worksheets("Analisis").Cells(2, fila).Value  
        Te = TD  
        T3 = Application.Workbooks("CALCULO DEL NIVEL DEL DOMO.xlsm").Worksheets("Analisis").Cells(2, fila + 1).Value  
        MsgBox T3 & " Temperatura dEL VAPOR la entrada del 1RH"  
  
        '-----LUGAR PARA EL CICLO DOOO  
  
        Call HeatTransfer_1RH(Te, T3) 'Con la función HeatTransfer_1RH se calcula la temperatura ENT  
        'Dichos valores se toman para Realizar el calculo iterativo en el  
  
        '-----CAPTURA DE LOS VALORES DE ENTRADA DEL 2DO. RECALENTADOR (Td y T3)-----  
        'Se toma el valor de T31 y el valor establecido para los gases de combust:  
  
        fila = 0  
        Parar = False  
  
    Do
```

6. Metodología

6.1 Etapa de **Validación** del Modelo

c) Ciclo Térmico de Vapor



6. Metodología

6.2 Análisis a cargas variable

Se solicita una carga térmica, y se realiza la simulación hasta alcanzar la potencia requerida para dicha carga desde un limite inferior.

ANÁLISIS DE CARGAS PARCIALES

Este Apartado, Determina las características de la central Termoeléctrica, con un generador de vapor de 350 MW y Una Turbina de Vapor con una potencia NOMINAL 280 MW

PORCENTAJE DE CARGA (100% - 25%) %

VALORES RECOMENDADOS DE OPERACIÓN

Flujo Masico de Combustible (T/hr)	62.5048904143106
Dosado	1.05
Flujo de Gases de Combustion(Kg/s)	1324.29245604377
Flujo Masico de agua de Alimentación (T/hr)	858.234640522876
Flujo Masico de vapor principal (Kg/s)	242.817719680465
Flujo Masico de Recirculación (Kg/s)	0.2858388
Potencia CALCULADA (MW)	225.402113835255
Regimen de Carga (%)	80.8653162211027

ANÁLISIS DE CARGA VARIABLE

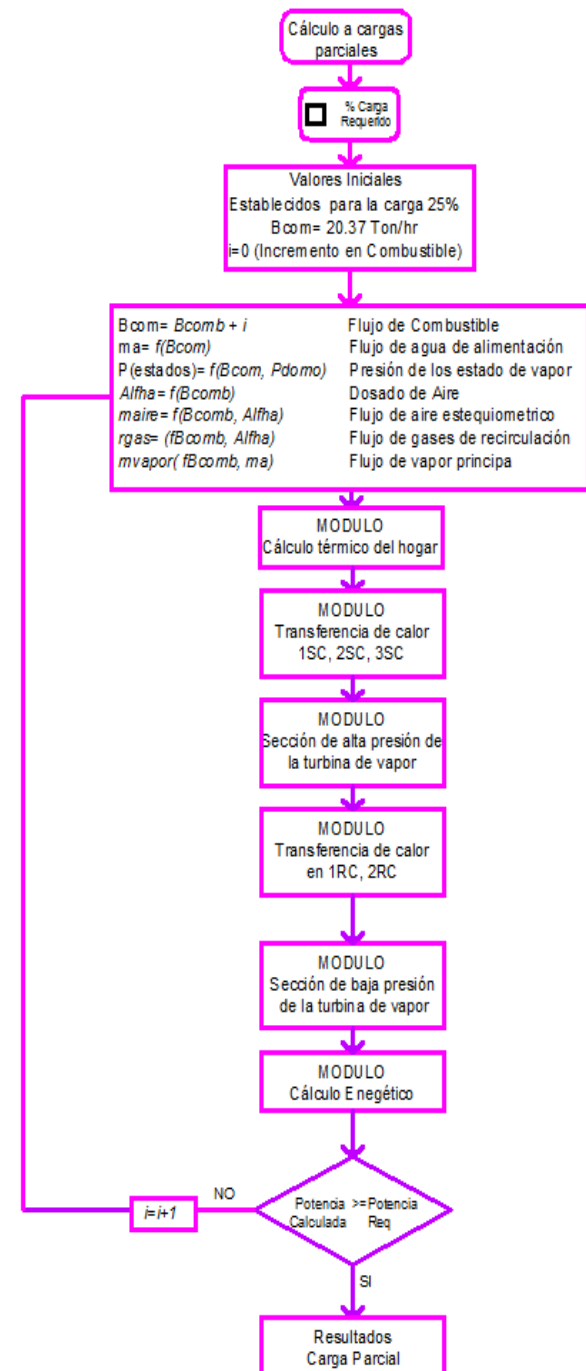
Este Apartado, Determina las características de la central Termoeléctrica, con un generador de 350 MW y Una Turbina de Vapor con una potencia NOMINAL 280.5 MW

PORCENTAJE DE CARGA (100% - 25%) %

VALORES RECOMENDADOS DE OPERACIÓN

Flujo Masico de Combustible (T/hr)	
Dosado	
Flujo de Gases de Combustion(Kg/s)	
Flujo Masico de agua de Alimentación (T/hr)	
Flujo Masico de vapor principal (Kg/s)	
Flujo Masico de Recirculación (Kg/s)	
Potencia CALCULADA (MW)	
Regimen de Carga (%)	

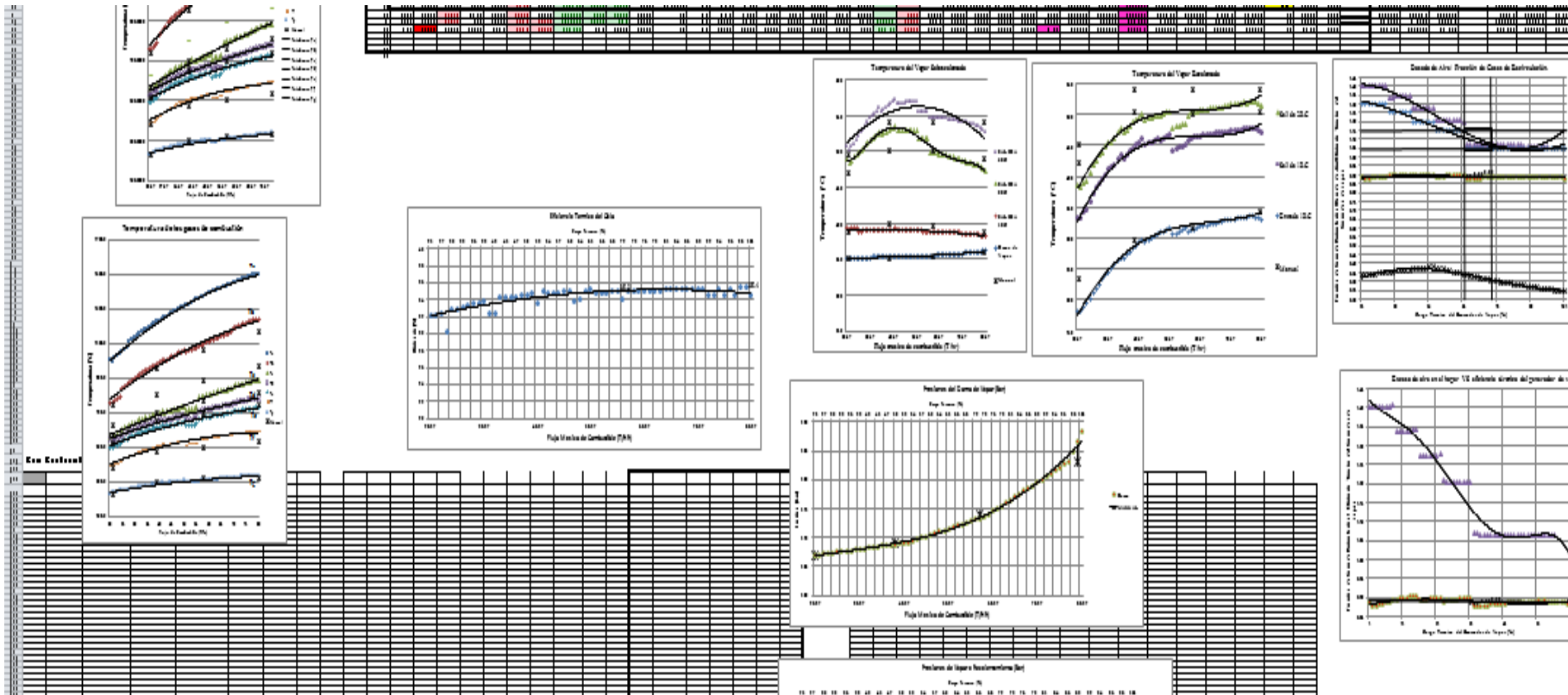
Valores de las variables independientes, cuando el programa cumple con el criterio de paro.



6. Metodología

6.2 Análisis Exergético y Termoeconómico

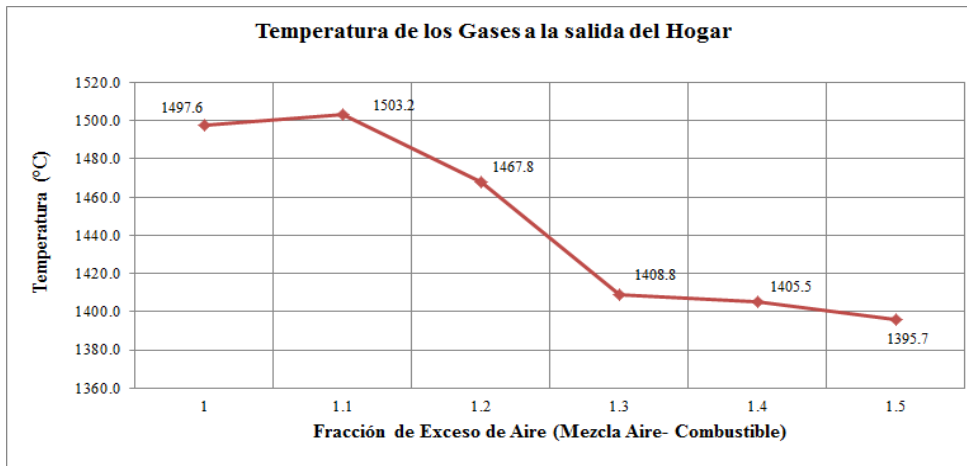
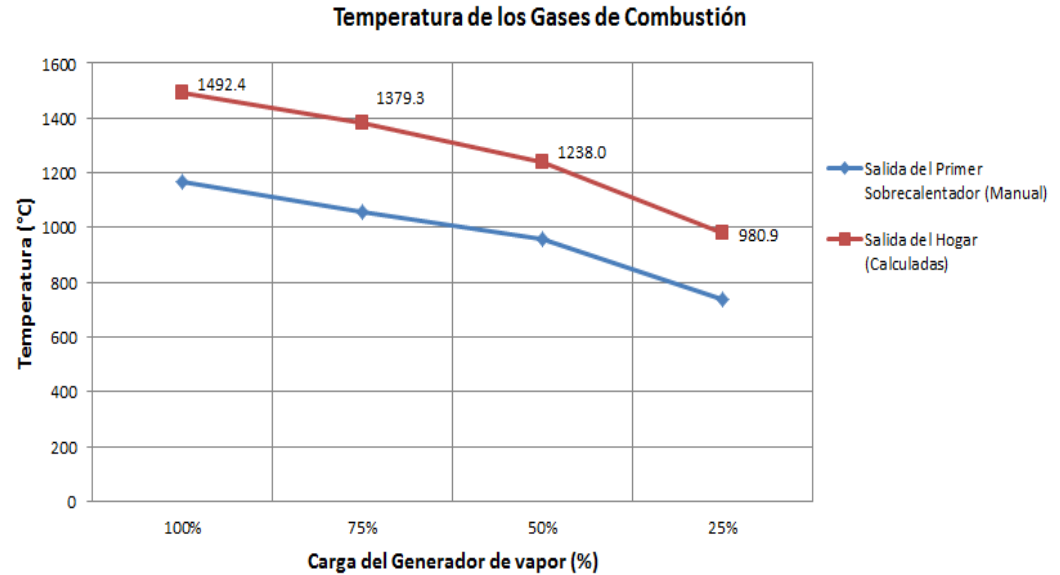
- Se crearon dos rutinas de calculo para realizar el **análisis exergético y termoeconómico** a los regímenes de carga solicitados.
- Se envía los resultados a una base de datos en Excel 2010, para su análisis



7. Resultados

7.1 Resultados del cálculo térmico del hogar (Regímenes de operación: 100%, 75%, 50% y 25%)

Temperatura de los gases de combustión, a la **salida del hogar del generador** de vapor, bajo las condiciones de operación actuales.

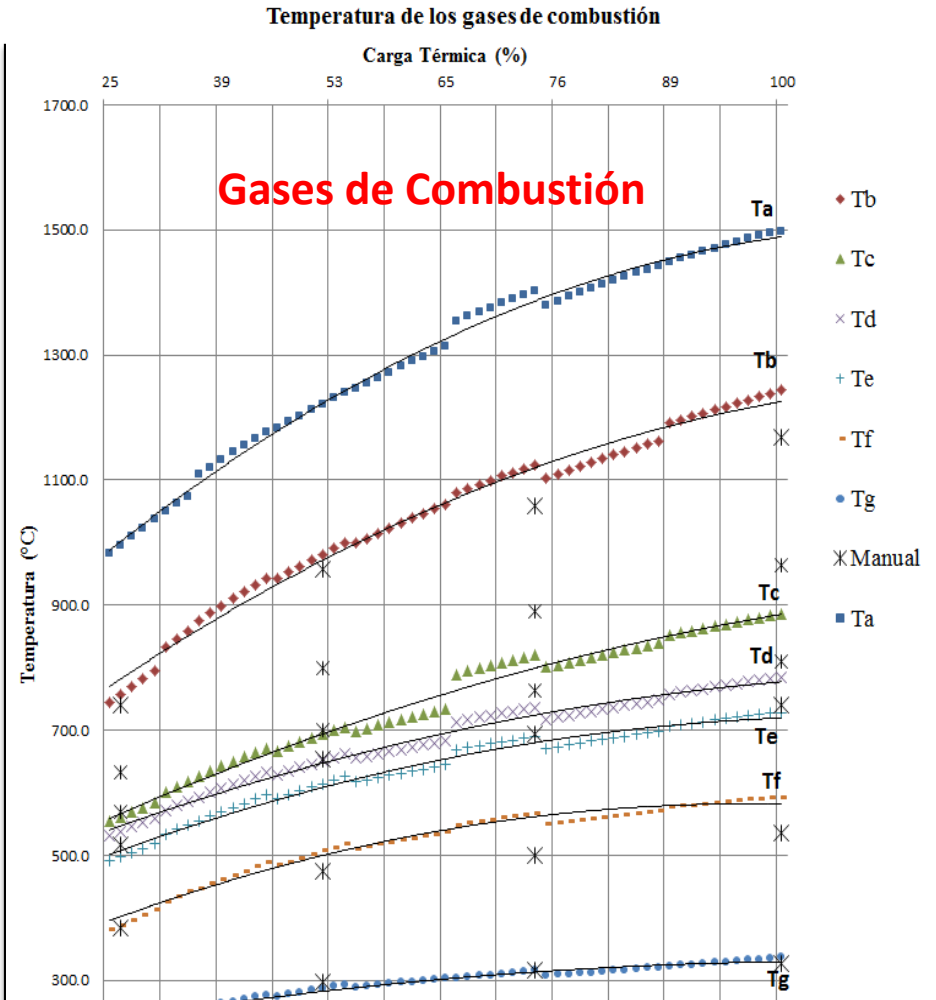
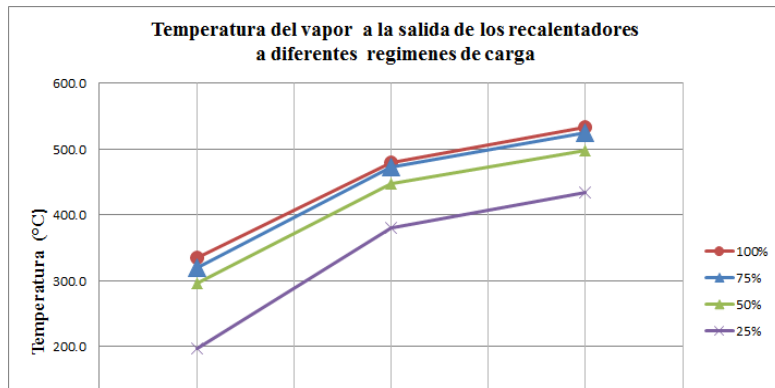
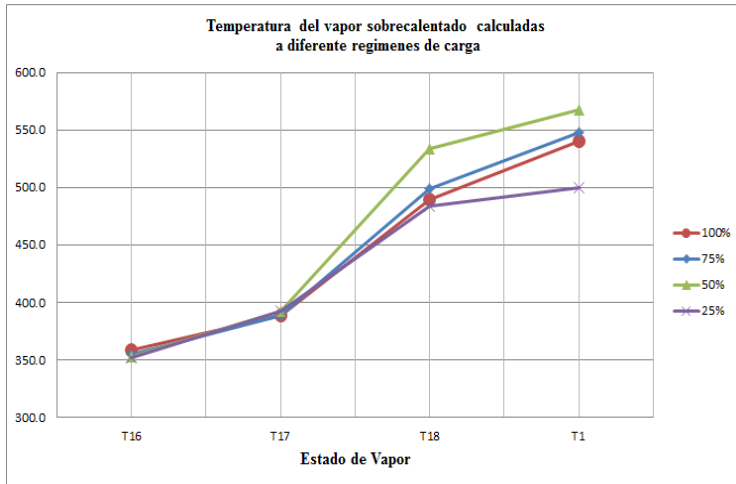


Efecto del INCREMENTO del **dosado de aire**, sobre la temperatura de los gases de combustión. (Carga 100%)

7. Resultados

7.2 Transferencia de calor en las superficies de intercambio de calor (Regímenes de operación: 100%, 75%, 50% y 25%)

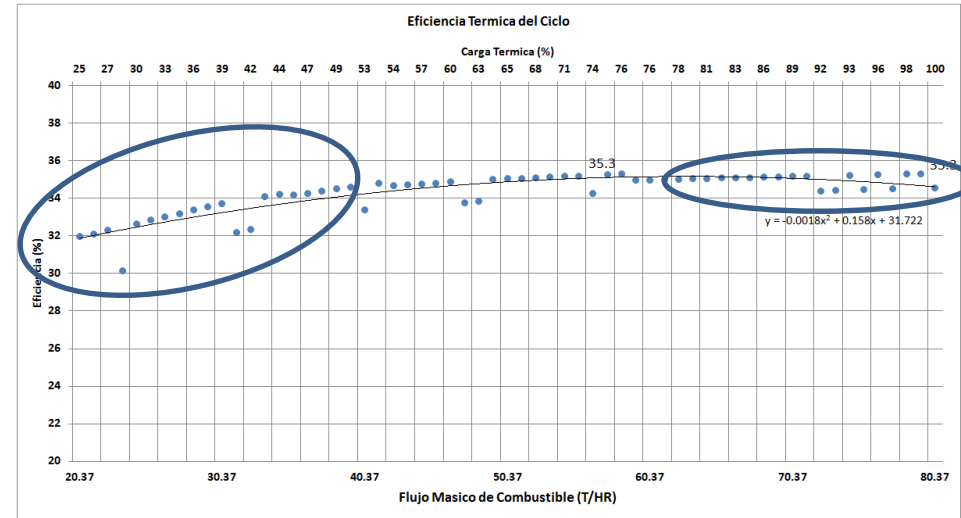
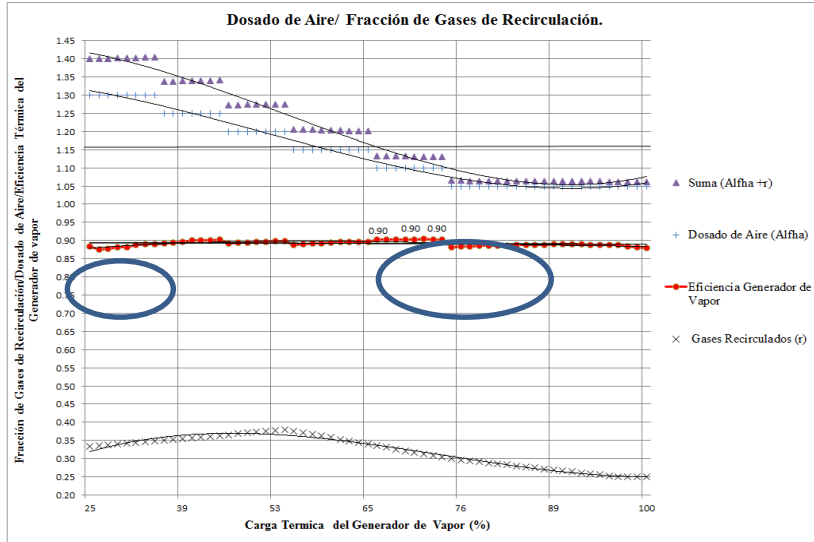
Vapor Sobrecalentado y Recalentado



7. Resultados

7.4 Análisis a carga variable (Condiciones actuales de operación)

b) Eficiencia del generador de vapor y del Ciclo térmico de vapor



	Valor	Régimen de carga
Máxima Eficiencia del Generador de vapor	90.4	74.1%
	90.37	70.54%
	90.36	66.6%, 67.9%, 69.25%
	90.20	75.6%
	90.20	44.4%
	90.10	42.4%
	Mínima Eficiencia del Generador de vapor	87.6
	87.7	24.78%
	87.8	27.3%

	Valor	Régimen de carga
Máxima Eficiencia Térmica del Ciclo	35.55	100%
	35.3	98.4%, 93.32%,
	35.29	75.6%
	35.27	95.64
	35.25	74.3%
Mínima Eficiencia térmica del Ciclo	30.16	29.45%
	31.96	24.78%
	32.11	25.85%

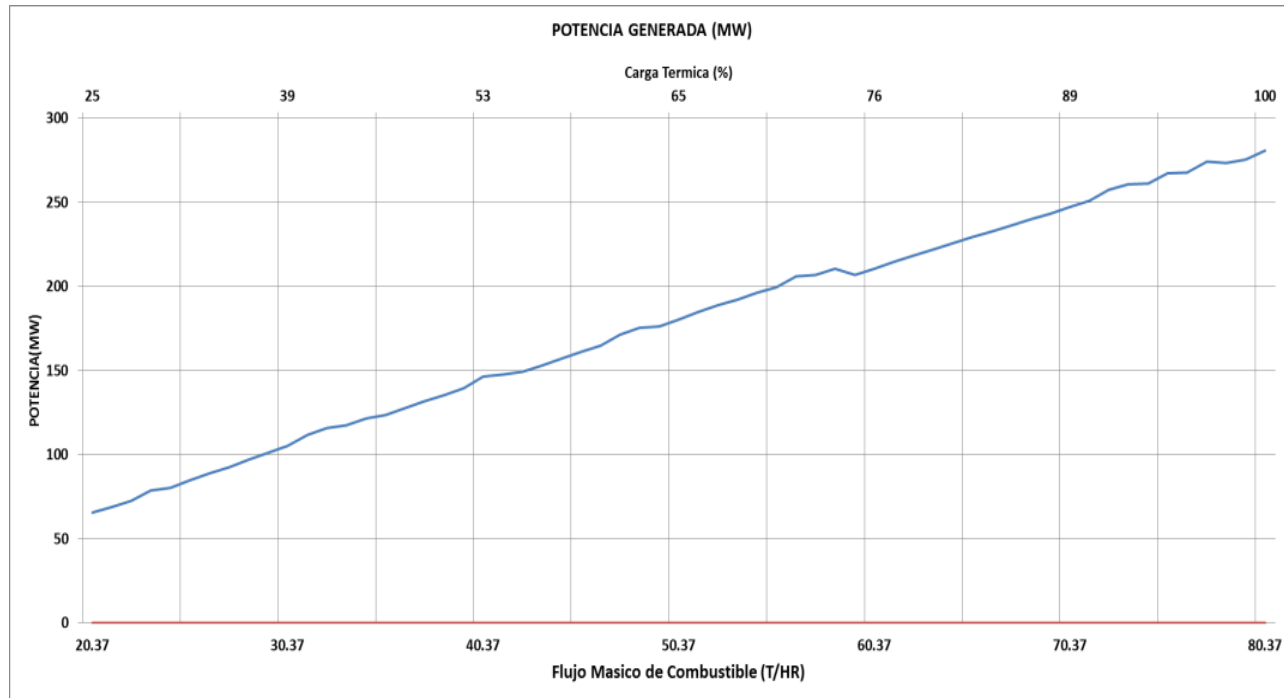
7. Resultados

7.4 Análisis a carga variable (Condiciones actuales de operación)

c) Potencia de generación del ciclo térmico de vapor

65.38 MW (Carga 25%)

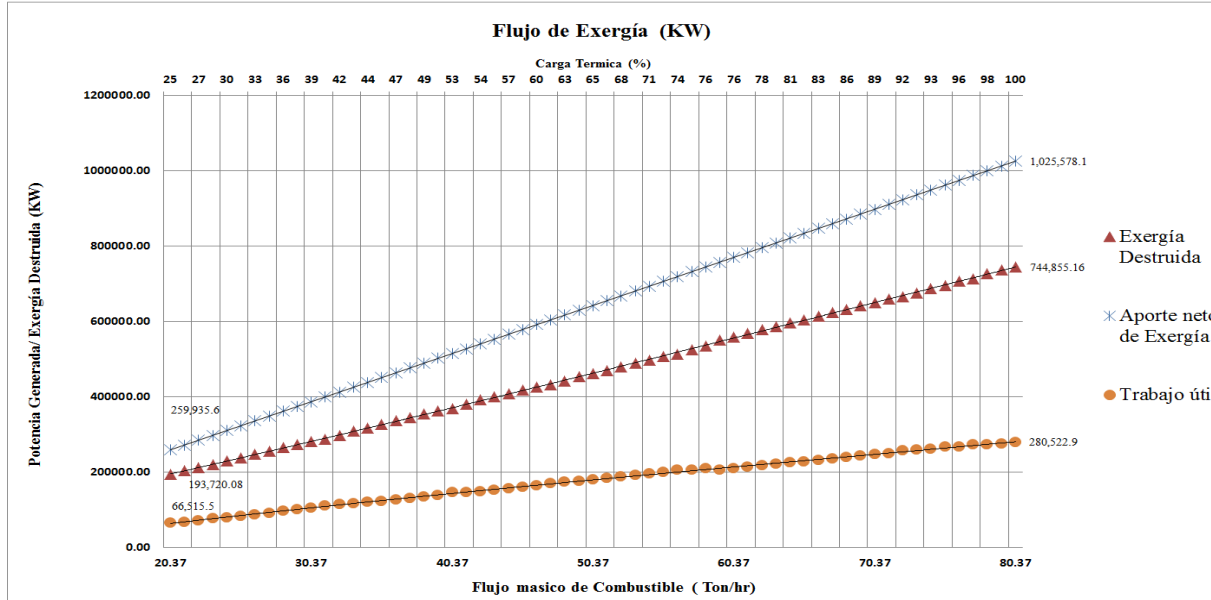
280.50 MW (Carga 100%)



7. Resultados

7.4 Análisis a carga variable (Condiciones actuales de operación)

d) Análisis Exergético



Aporte máximo de exergía al sistema

1,025.5 MW (Carga 100%)

Aporte mínimo de exergía al sistema

259.9 MW (Carga 25%)

Potencia máximo

280.5 MW

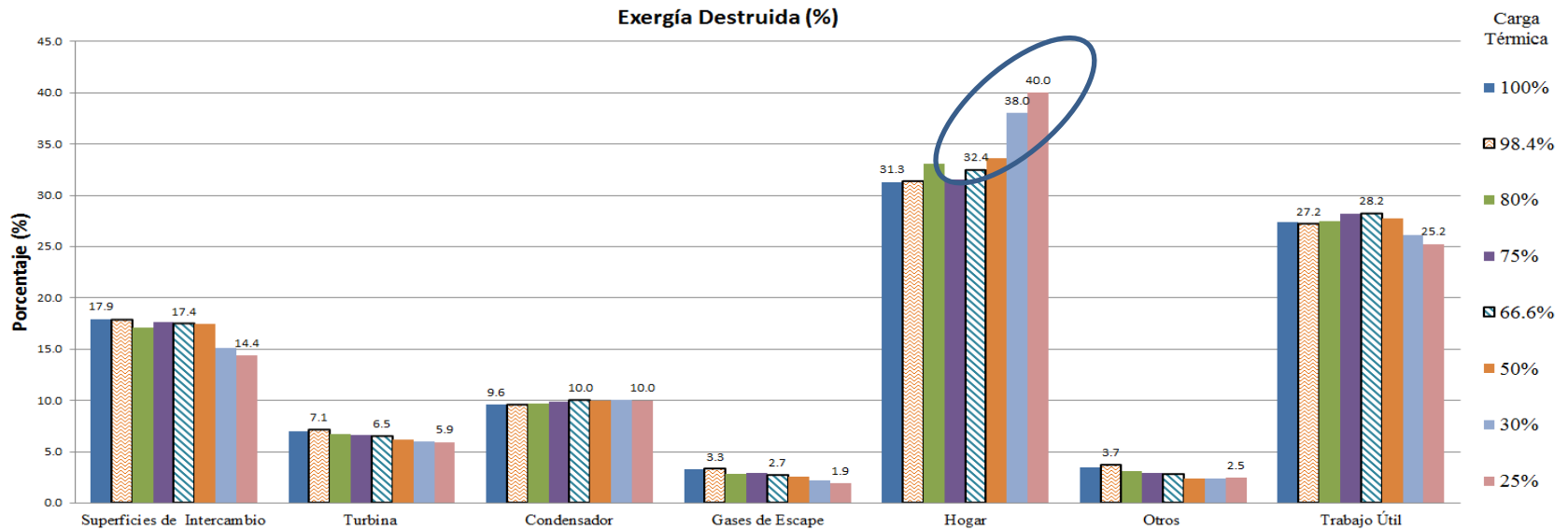
Potencia mínimo

66.5 MW

7. Resultados

7.4 Análisis a carga variable (Condiciones actuales de operación)

d) Exergía destruida a regímenes de carga seleccionados



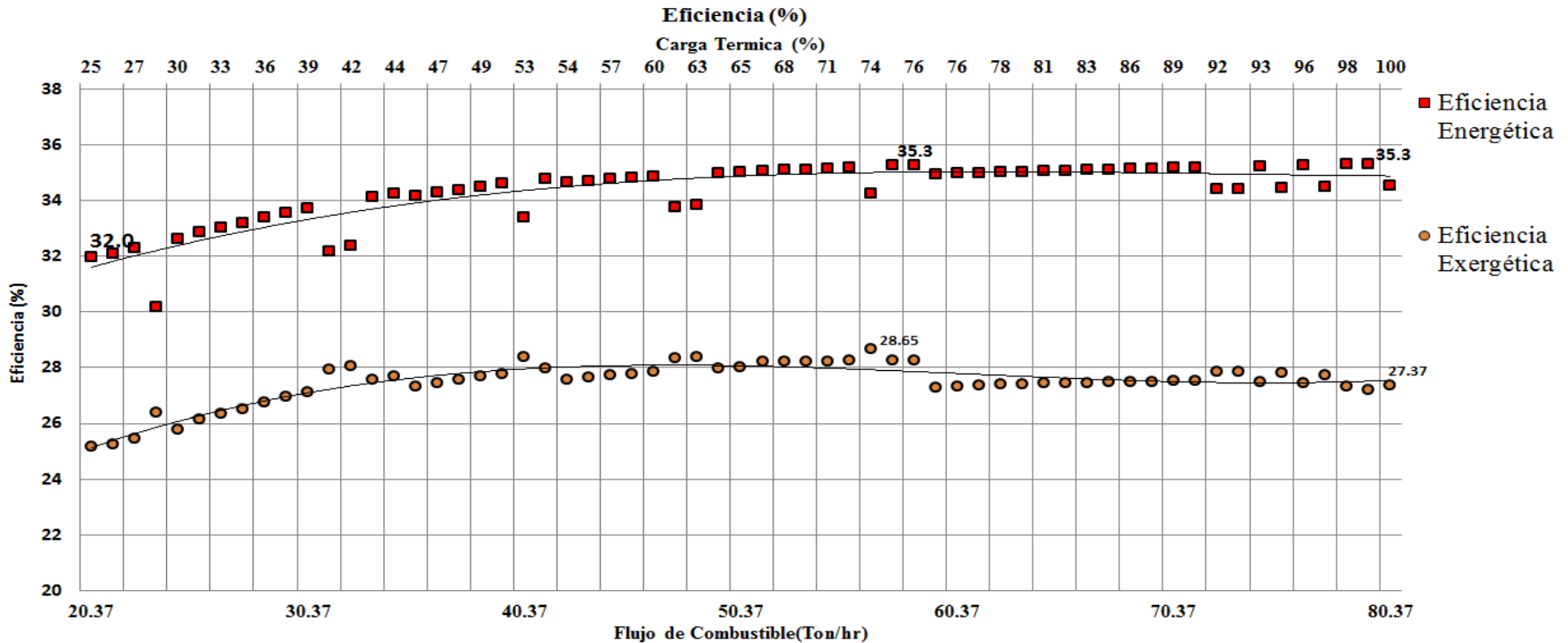
Exergía destruida en procesos o elementos del ciclo térmico

Elemento	Rango (%)
Hogar del Generador de vapor	40 - 31.3
Superficies de intercambio	17.9 – 14.4
Condensador	10- 9.6
Turbina de vapor	7.1 – 5.9
Gases de escape	3.3-1.9
Otros (Bombas y Regeneradores)	3.7 – 2.5

7. Resultados

7.4 Análisis a carga variable (Condiciones actuales de operación)

d) Eficiencia Térmica y Exergética a régimen de carga variable



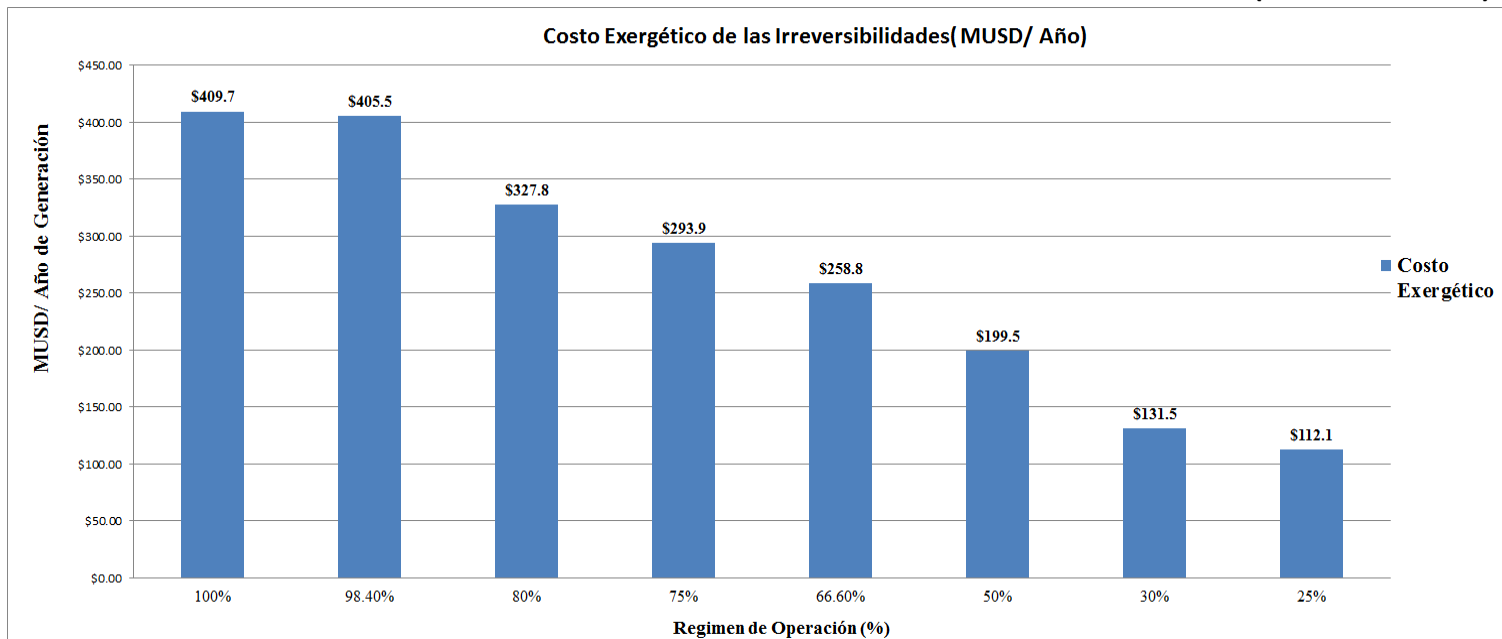
	Valor	Régimen de carga		Valor	Régimen de carga	
Máxima Eficiencia Térmica del Ciclo	35.55	100%	Máxima Eficiencia Exergética del Ciclo	29.0	95.7%, 75.04%	
	35.3	98.4%, 93.32%,		28.65	74.1%	
	35.29	75.6%		28.4	63.3%, 51.14%	
	35.27	95.64		Mínima Eficiencia Exergética del Ciclo	25.15	24.7%
	35.25	74.3%			25.23	25.9%
Mínima Eficiencia térmica del Ciclo	30.16	29.45%	25.43	27.3%		
	31.96	24.78%				
	32.11	25.85%				

7. Resultados

7.4 Análisis a carga variable (Condiciones actuales de operación)

e) Análisis Termoeconómico

* CT Generación: \$121.44 USD/MWh (CFE, 2012b)



Costo termoeconómico de los Elementos	Carga Térmica	
	100%	25%
Costo exergético del hogar del generador de vapor	174.6 MUSD/Año	\$60.0 MUSD/Año
Superficies de intercambio de calor	\$101.2 MUSD/Año	\$21.59 MUSD/Año
Disipación de calor en el condensador:	\$54.2 MUSD/año	\$15.00 MUSD/año
Turbina de vapor:	\$39.5 MUSD/Año	\$8.91 MUSD/Año
Otros elementos (bombas de agua de alimentación y recirculación y los regeneradores de calor)	\$19.66 MUSD/Año	3.71 MUSD/Año
Costo Total de las irreversibilidades	\$409.6 MUSD/Año,	\$112.3 MUSD/Año

9. CONCLUSIONES

9.3 Conclusiones del análisis Exergético

- » El máximo aporte de exergía al sistema analizado, es de **1,025.5 MW** para la carga térmica del 100% y el mínimo es de **259.9 MW** para la carga térmica del 25%, que producen 280.5 MW y 66.5 MW de trabajo útil, respectivamente.
- » La exergía destruida, esta asociada en orden de magnitud a los siguientes elementos de la central térmica:

✓ **Hogar del Generador de vapor (Incrementa significativamente a carga <30%)**

✓ **Superficies de intercambio**

✓ **Condensador**

✓ **Turbina de vapor**

✓ **Gases de escape**

✓ **Otros (Bombas y Regeneradores)**

- » La **eficiencia exergética máxima** del ciclo es de **29%**, que se presentan a los regímenes de carga del **95.7% y 75.04%** y posee otros puntos locales máximos de eficiencia exergética de 28.65% al régimen de carga del **74.1%** y dos puntos máximos locales de 28.40%, para los regímenes de carga del **63.3% y 51.14%**

95.7%

75.04%

74.1%,

63.3%

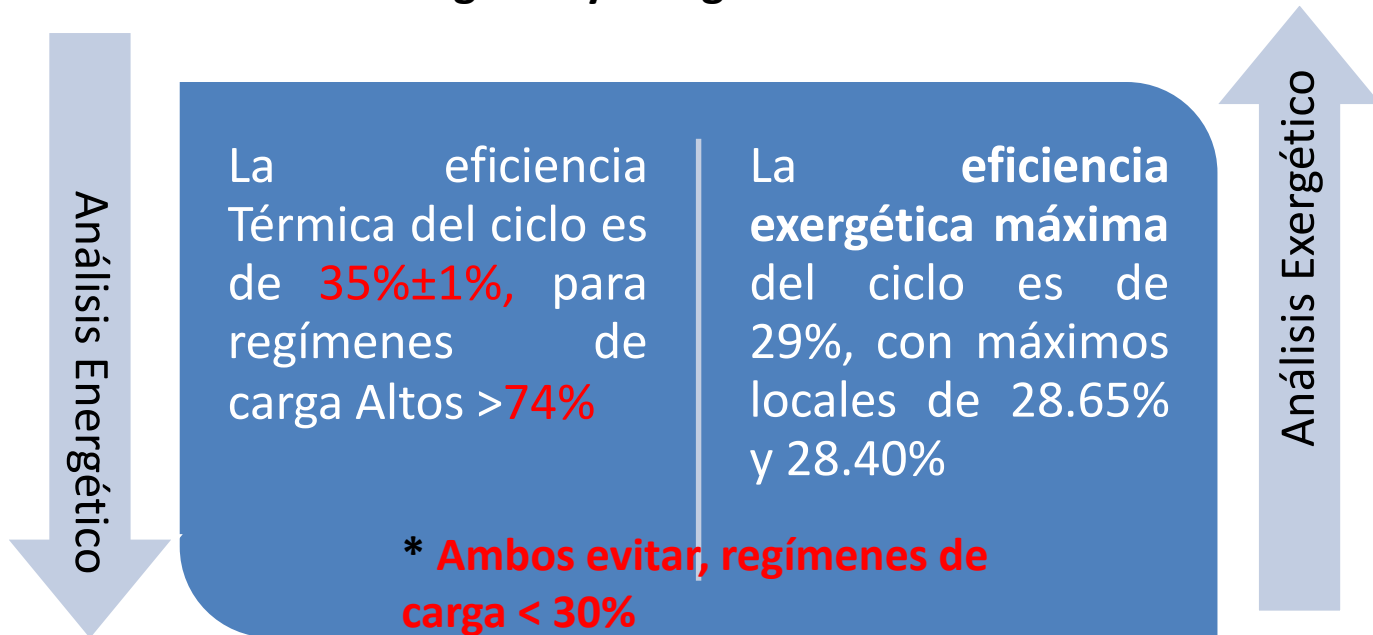
51.14%.

9. CONCLUSIONES

9.3 Conclusiones del análisis Exergético (Continuación)

- » Las eficiencias exergéticas mínimas del ciclo son de 25.15%, 25.23% y 25.43% y ocurren en los regímenes de carga del **24.7%**, **25.9%** y **27.3%**, respectivamente. Por lo que se concluye, desde el punto de vista exergético, que los regímenes de carga menores al **30%** son ineficientes.

Contraste entre el análisis Energético y Exergético



100%, 98.4%, 93.32% y 75.6%,
95.64% y 74.3%.

95.7% y 75.04% 74.1% y
63.3%, 51.14%

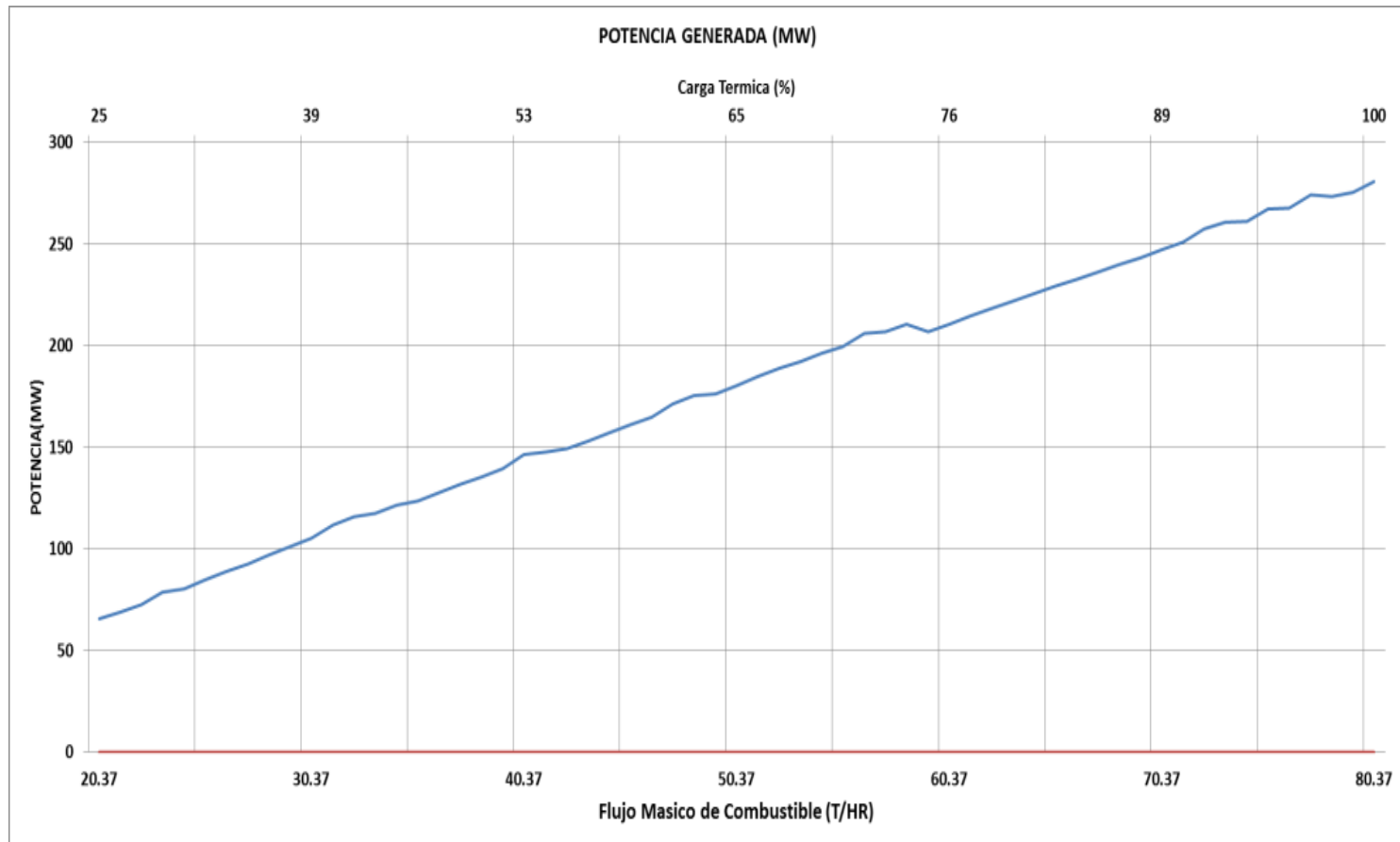
7. Resultados

7.4 Análisis a carga variable (Condiciones actuales de operación)

c) Potencia de generación del ciclo térmico de vapor

65.38 MW (Carga 25%)

280.50 MW (Carga 100%)



9. CONCLUSIONES

9.3 Conclusiones del análisis Termoeconómico

Desde el punto de vista termoeconómico, se concluye que las modificaciones en la operación o modernización de la central termoeléctrica, deben de estar enfocadas en aquellos elementos que presentan las pérdidas económicas máximas, debido a las irreversibilidades, entre ellos:

- **Hogar del generador de vapor**, con un costo termoeconómico de hasta \$174.6 MUSD/Año.
- Las **superficies de intercambio de calor** que llegan a representar un costo termoeconómico de \$101.2 MUSD/Año.
- **Disipación de calor en el condensador** que llega a tener un costo termoeconómico de \$54.2 MUSD/año.
- La **turbina de vapor** llegan a ser de \$39.5 MUSD/Año.
- Los **otros elementos** como lo son, las bombas de agua de alimentación y recirculación y los regeneradores de calor, llegan a tener un costo termoeconómico de \$19.66 MUSD/Año.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)