

*Energía Racional*

**LA ENERGÍA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

22 DE ABRIL DE 2014

# Modelado de Plantas de Ciclo-Combinado

Por

**Dr. Gabriel León de los Santos**

**Procesos y uso eficiente de la Energía, Posgrado en Energía**

**Departamento de Sistemas Energéticos  
División de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería-  
UNAM**

**Tel. 56223026 [tesgleon@gmail.com](mailto:tesgleon@gmail.com),  
Ciudad Universitaria, México, D.F.**

*Gabriel León DLS-92*

# Energía Racional

## Antecedentes:

- En plantas de potencia, los costos de operación son los de mayor incidencia sobre el costo total.
- La evaluación de los costos totales de generación eléctrica debe de evaluar individualmente cada uno de los aspectos que conforman los costos fijos y los variables.
- Los costos fijos no varían en proporción a la cantidad de producción, como sueldos administrativos, impuestos, seguros, depreciación, rentas, servicios públicos.
- Los costos variables cambian en proporción a la cantidad de producción, que resultan ser de insumos directos y mano de obra directa.
- Los costos totales son la suma de los costos fijos mas los costos variables.

$$CT(X) = CF + CV(X) \quad \dots\dots\dots (1) \quad \text{Costo Total y Costo Fijo mas Variable}$$

Donde X es el nivel o cantidad de producción. En este caso MWh

Una forma de conocer dichas curvas, es modelar y simular el desempeño de las unidades y con ello determinar los parámetros de operación que permitan obtener las funciones que representan el consumo de combustible.

# Energía Racional

## Modelado de las curvas de desempeño:

1. Las plantas o sus unidades generadoras están sujetas a un despacho o asignación de generación, por lo cual deben subir o bajar carga, lo que les implica incurrir en costos incrementales por cambios en su eficiencia de generación.
2. Las funciones de régimen térmico (RT) han sido modeladas desde muchos puntos de vista y con diferentes grados de complejidad, pero siempre buscando reflejar el comportamiento del consumo del combustible por MWh generado.
3. Estas funciones continuas introducen el uso de varias variables para reflejar el desempeño de una unidad, por ejemplo:
  - Curva del consumo térmico o RT para cada nivel de carga y unidad de generación
  - Curva de consumo incremental por bloque de consumo
  - Curva de consumo medio
  - Consumo de grupo; con frecuencia se modela con una ecuación de tercer orden
  - Consumo incremental instantáneo

# Energía Racional

THERMOFLEX Version 21.0 Revision 1 DR.GABRIEL Universidad Nacional Autonoma de Mexico - UNAM

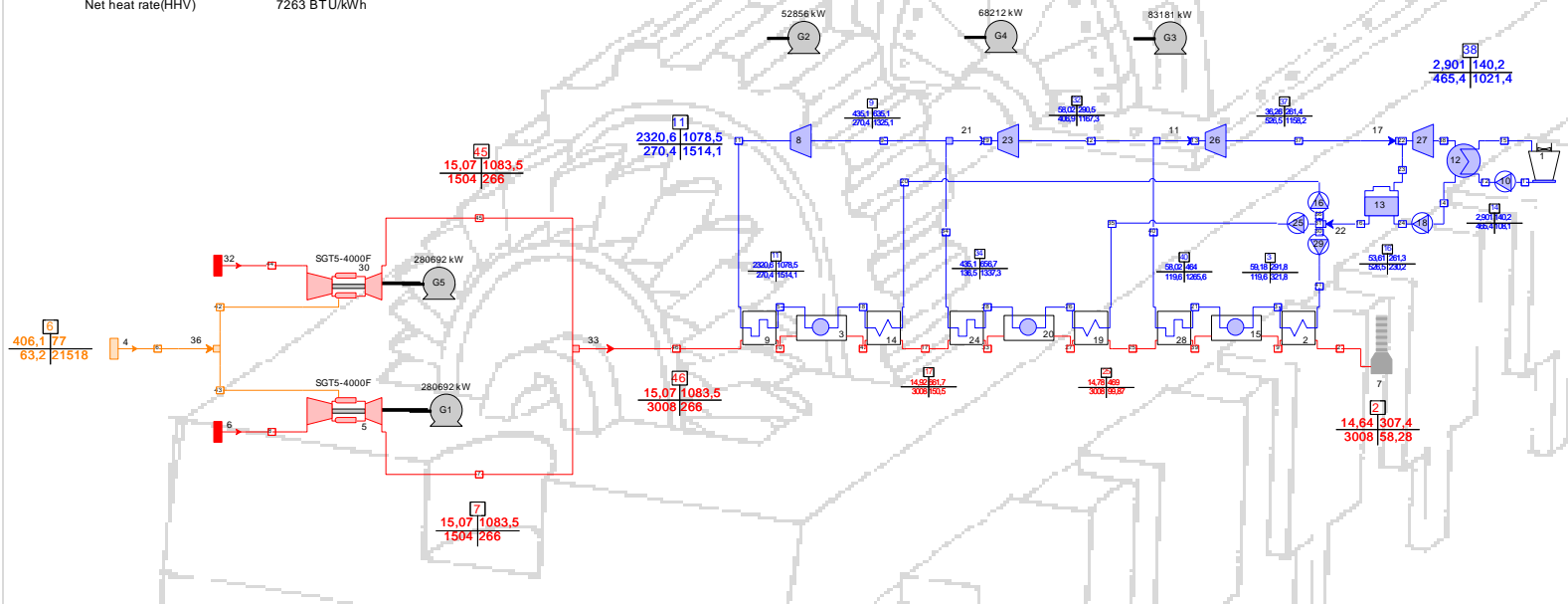
psia | F  
lb/s | BTU/lb

## CCGT 2x1

### Tres niveles de presión, una extracción y deaerador

Ambient temperature 59 F  
Gross power 765634 kW  
Gross electric efficiency(LHV) 53.37 %  
Gross heat rate(LHV) 6394 BTU/kWh  
Net power 747934 kW  
Net electric efficiency(LHV) 52.13 %  
Plant auxiliary 17700 kW  
Net heat rate(HHV) 7263 BTU/kWh

Rangos de valores para el derateo de carga en las turbinas de gas  
53.45 a 32.13 % efica  
7041.3 a 10701.1 BTU/KWh referencia

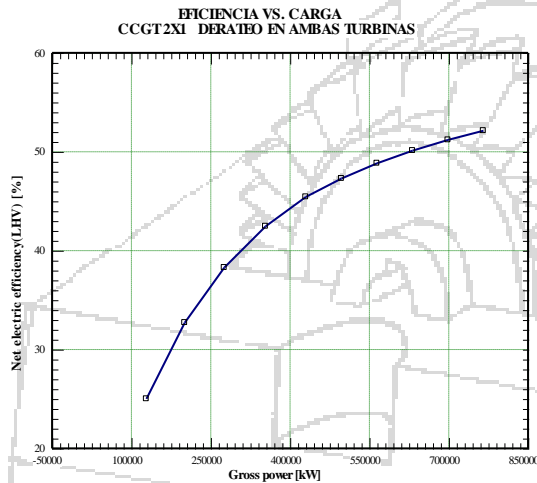


# Energía Racional

De los resultados numéricos de una simulación para diferentes condiciones de carga en la central se obtienen las demás simulaciones que permiten obtener las curvas del comportamiento de régimen térmico.

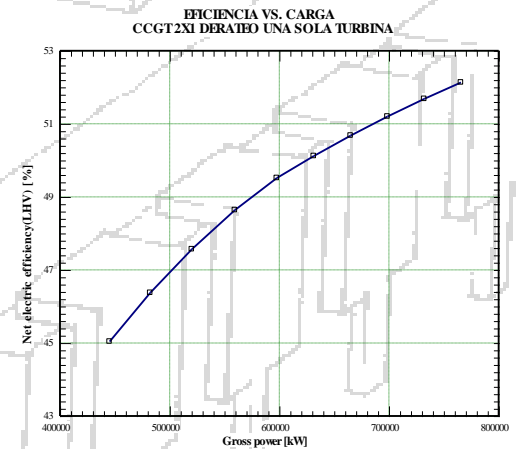
Con este análisis se obtienen las curvas de eficiencia

Fig. 18



Thermo-flow Macro (THERMOFLEX) 21.0  
TFLX.MTF

Fig. 19



Thermo-flow Macro (THERMOFLEX) 21.0  
TFLX.MTF

Gabriel Lator DLS-92

# Energía Racional

- Para el régimen térmico

Fig. 20

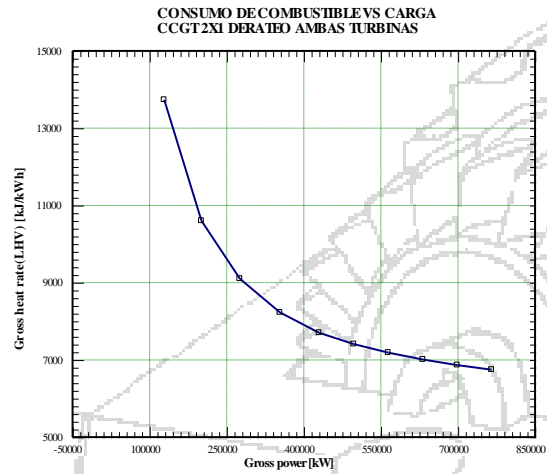
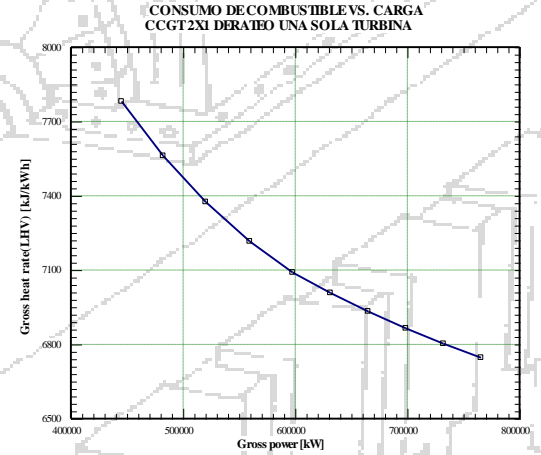
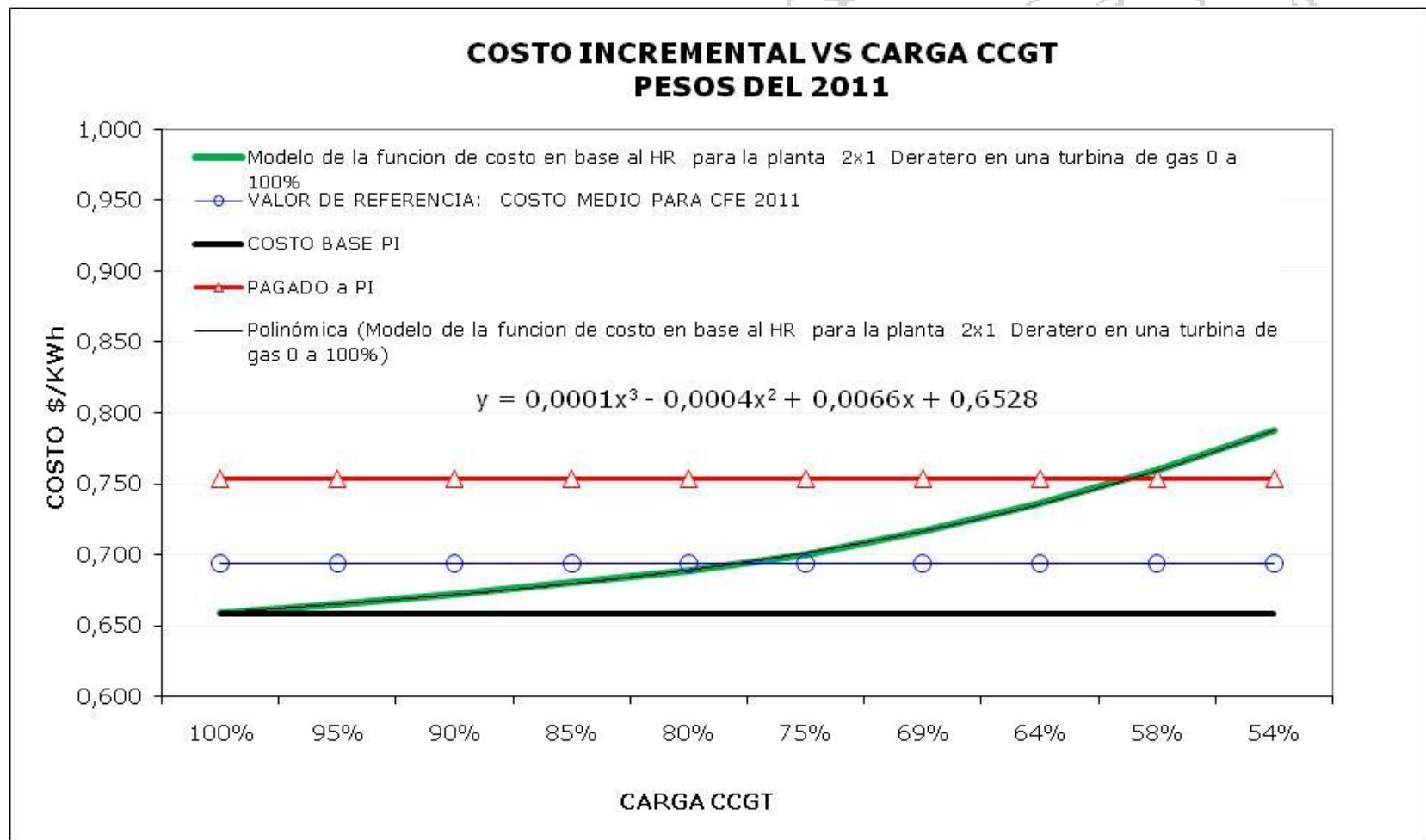


Fig. 21



# Energía Racional

- Se modela en una función de régimen térmico y los comportamientos anteriores.



# Energía Racional

A faint, light blue line-art illustration of a power plant. It features several large gears of different sizes, some with teeth, arranged in a complex, overlapping pattern. In the background, there is a tall, lattice-structured transmission tower with multiple cross-arms. The entire scene is rendered in a clean, technical style with no shading or color.

El análisis es caracterizar la relación entre el costo de operación y la cantidad de energía eléctrica suministrada.

El interés está en cómo el costo por MWh cambia con la cantidad, porque eso dirá cómo alcanzar el despacho más económico de generación para una demanda dada.

En México lo anterior se hace mediante tablas de méritos, los cuales son el criterio para asignar la generación a cada unidad, a cada central del país.

y las tablas son construidas con los datos de los valores de las curvas del régimen térmico.

Un ejemplo es la siguiente tabla:



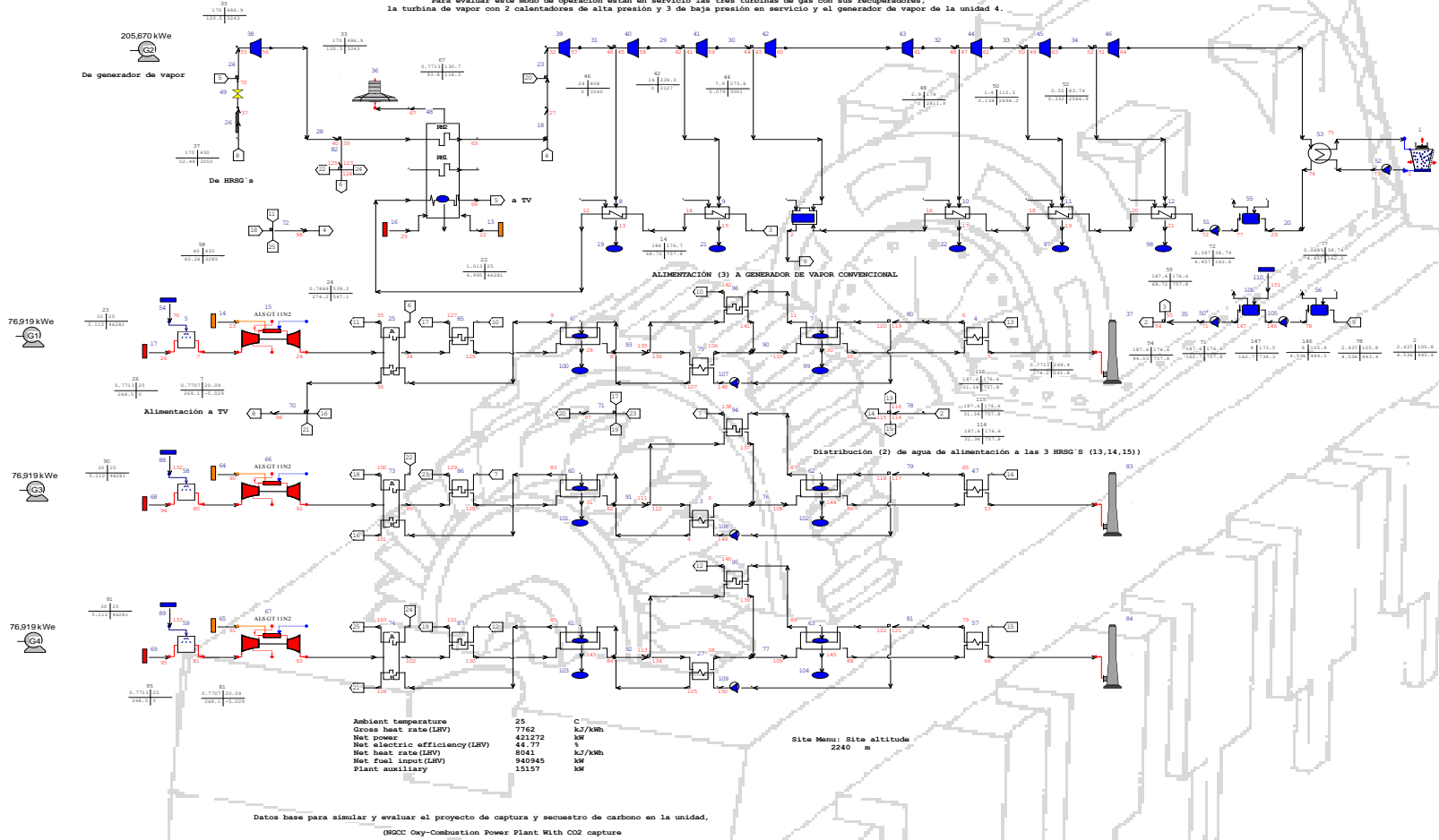
**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
**SUBDIRECCIÓN DEL CENACE**  
**CENTRO NACIONAL DE CONTROL DE ENERGÍA**  
 Gerencia de Operación del Mercado  
**RÉGIMEN TÉRMICO DE UNIDADES GENERADORAS**  
 Para diferentes Porcentajes de Carga [ Kcal/KWh ]

	Unidad	Unidades con Carga de:			
		50%	75%	100%	
	Pto. San Carlos	2	2,058.0	1,962.0	1,966.0
1	BCS I		2,048.0	2,010.0	2,020.0
2	La Laguna II		2,061.4	1,874.7	2,034.7
3	Pto. San Carlos	1	2,269.9	2,095.0	2,132.9
4	Huinalá CC		2,271.0	2,167.0	2,151.0
5	Pto. San Carlos	3	2,386.0	2,147.0	2,152.0
6	El Sauz CC		2,240.9	2,216.7	2,176.0
7	Tuxpan ( N ) U5		2,344.0	2,240.0	2,212.0
8	Tula	4	2,305.0	2,222.0	2,213.0
9	Tula CC	2	2,336.0	2,223.0	2,213.0
10	Tuxpan ( N ) U4		2,367.0	2,239.0	2,226.0
11	Tula CC	1	2,807.0	2,442.0	2,232.0
12	Tuxpan ( N ) U3		2,383.0	2,280.0	2,249.0
13	Tuxpan ( N ) U6		2,362.0	2,293.0	2,250.0
14	Villa de Reyes ( U2 )		2,422.0	2,271.7	2,263.6
15	Tuxpan	2	2,406.0	2,318.0	2,274.0
16	Manzanillo II	2	2,398.0	2,301.0	2,284.0
17	Tula	5	2,405.0	2,303.0	2,289.0
18	Petalcalco ( 4 )		2,328.1	2,300.6	2,295.6
19	Manzanillo II	1	2,367.0	2,317.0	2,307.0
20	Mazatlán II	3	2,380.2	2,315.2	2,307.5
21	Tula	3	2,396.0	2,333.0	2,320.0
22	Gómez Palacio CC		2,680.0	2,286.0	2,320.0

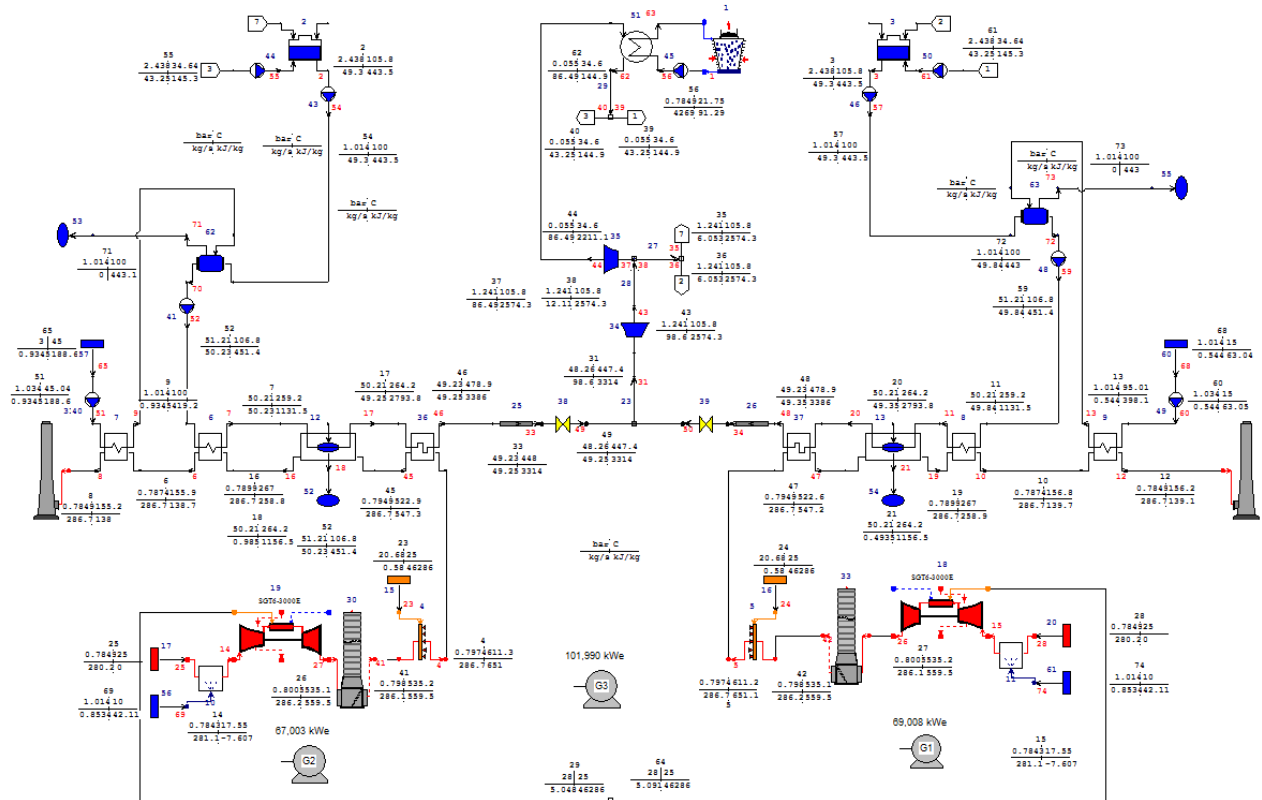
# Energía Racional

Simulación del ciclo híbrido  
 Formado por las unidades 4, TG5, TG6 y TG7 de la CV Valle de México, CFE  
 Realizó: Dr. Gabriel León de los Santos

Para evaluar este modo de operación están en servicio las tres turbinas de gas con sus recuperadores, la turbina de vapor con 2 calentadores de alta presión y 3 de baja presión en servicio y el generador de vapor de la unidad 4.



# Energia Racional



CE Protonuario 0.2415 [Kg/99h]  
 CE Actual = 0.2761 [Kg/99h]

Va 1.62 [m3/s]  
 combustible deos protonuario  
 Va 1.475 [m3/s] Actual

CE Protonuario 0.2415 [Kg/99h]  
 CE Actual = 0.2727 [Kg/99h]

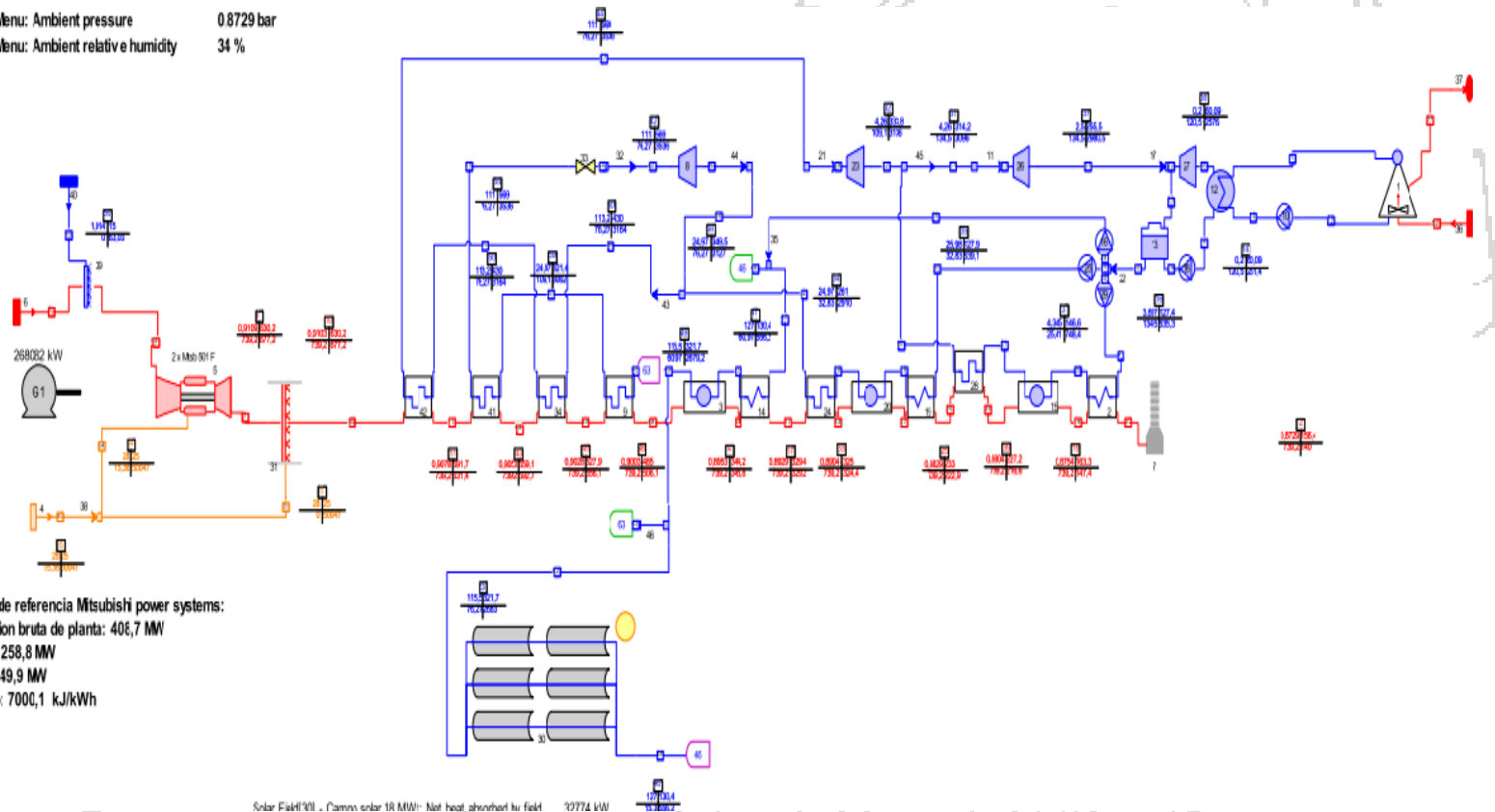
Ambient temperature 25 C  
 Gross power 238002 kW  
 Net power 229969 kW  
 Plant auxiliary 6033 kW  
 Net electric efficiency (99W) 39.72 %  
 Net heat rate (99W) 9064 kJ/kWh  
 Net fuel input (99W) 578986 kW

Densidad  
 gas natural:  
 0.707 Kg/m3

# Energía Racional



Site Menu: Ambient pressure 0.8729 bar  
 Site Menu: Ambient relative humidity 34 %



Valores de referencia Mitsubishi power systems:  
 Generacion bruta de planta: 406,7 MW  
 de GTS: 258,8 MW  
 de TV : 149,9 MW  
 HR bruto: 7000,1 kJ/kWh

Gabriel Lator DLS-92

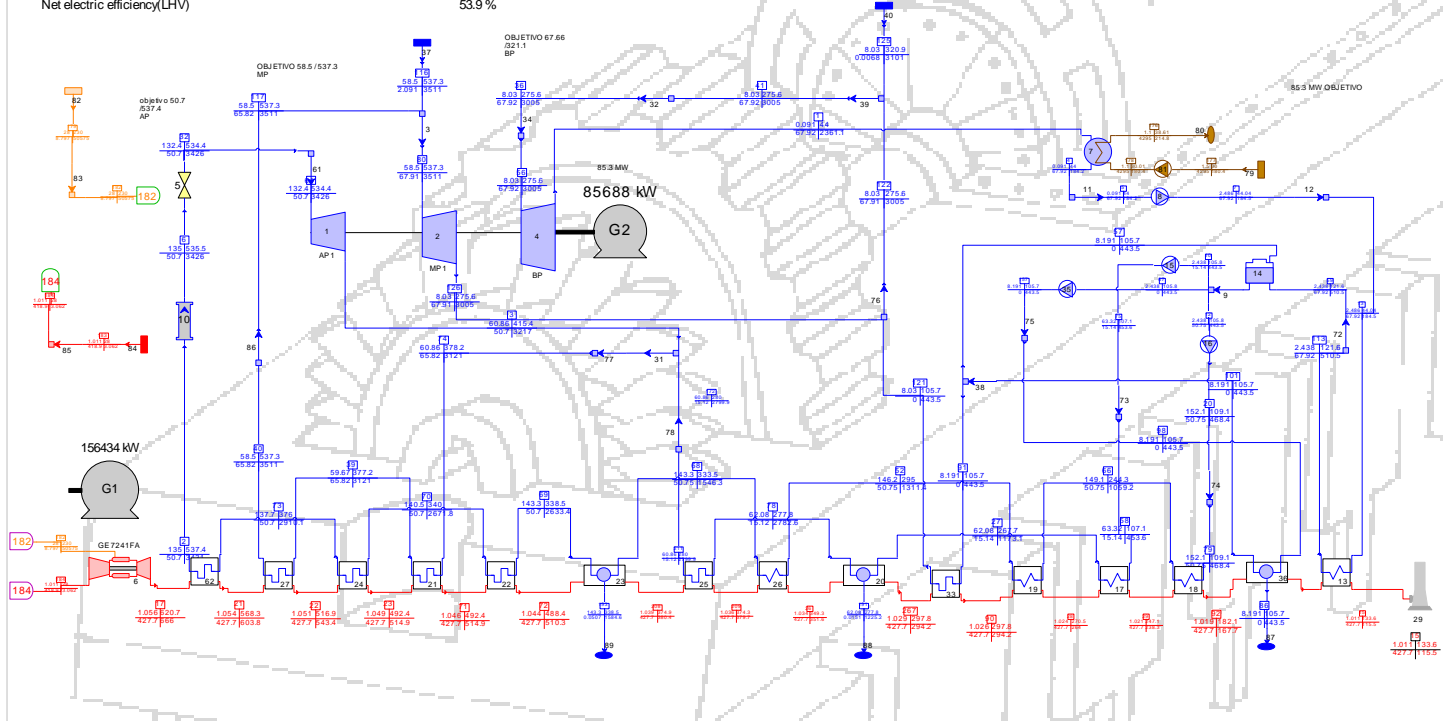
# Energía Racional

THERMOFLEX Version 21.0 Revision 1 SISTENER2 Universidad Nacional Autonoma de Mexico - UNAM

bar / C  
kg/s kJ/kg

Site Menu: Site altitude 15 m  
Site Menu: Ambient temperature 28 C  
Gross power 242122 kW  
Gross electric efficiency(LHV) 55 %  
Gross heat rate(LHV) 6546 kJ/MWh  
Net power 237280 kW  
Plant auxiliary 4842 kW  
Water consumption 0 kg/s  
Gen/Motor Powers: Generator[1] of Gas Turbine(GT PRO)[6] power 156434 kW  
Net electric efficiency(HHV) 48.57 %  
Net electric efficiency(LHV) 53.9 %

**SIMULACION ACADEMICA MANZANILLO SIN SINERGIA**  
Se muestra el resultado para el equivalente de una turbina de gas y una turbina de vapor (1X1); La planta es 3x1, para obtener la capacidad total multiplicar por 3  
16 de junio de 2011



# Energía Racional

## Conclusiones:

La condición de operación de las plantas de potencia implican intrínsecamente para ellas deterioros temporales de sus parámetros de funcionamiento como el RT, debido a la pérdida de eficiencia de los equipos que conforman el ciclo de potencia.

Resultando la operación de la planta muy sensible a la variación de estos valores.

El modelado del comportamiento del RT en función de la variación de carga es una función fundamental para el establecimiento de pronósticos de consumos de combustible que la planta hará en función del despacho y carga asignadas durante cada hora y cada día de operación de las plantas.

Estos modelos son funciones a la medida de cada unidad de generación; y pueden ser modelados y simulados.

# Energía Racional

A faint, light blue line-art illustration of a power plant. It features a large central turbine or generator with a circular face, several smaller rectangular structures on top, and a tall transmission tower with multiple cross-arms extending to the right. The entire scene is rendered in a sketchy, wireframe style.

## Gracias.

### **BREVE SEMBLANZA**

**Dr. Gabriel León de los Santos**

**Realizó estudios de Ingeniero Mecánico Electricista (1993); así como de Maestría en Ingeniería en Energía (1998); egresado de ambas con mención honorífica. Además realizó los estudios de Doctorado en Economía de la Energía en la UNAM (2003). De 1998 a 2004 fue profesor de asignatura, y desde el 2005 es profesor de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM en la División de Ingeniería Eléctrica.**

**Por el lado profesional, desde 1993 a 2003 prestó sus servicios en varias empresas del sector privado en las áreas de ventas, servicio, ingeniería y mantenimiento: Mextrac, S.A. de C.V.(1993); Selmec Equipos Industriales, S.A. de C.V. (1994 -1998); Thermo Energía Sistemas y Equipos, S.A. de C.V. (1999 – 2001); Mantenimiento General y Comercial, S.A. de C.V. (2002).**