



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

**MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
IV PROMOCIÓN**

TESIS DE GRADO DE MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**TEMA : “ESTUDIO PARA LA EVALUACIÓN DE UN CICLO COMBINADO PARA
LAS TURBINAS DE GAS ASOCIADO EN EL COMPLEJO SHUSHUFINDI ”**

**AUTOR: ING. JORGE VELASCO AVILÈS
DIRECTOR: Dr. REINALDO DELGADO PhD
OPONENTE: ING. MSc. FRANCISCO TERNEUS**

Sangolquí, 20 de mayo de 2016



ESPE

CONTENIDO

RESUMEN

1.- Generalidades

2.- Marco Teórico

3.- Análisis Energético de la planta

4.- Sistema de Generación a Vapor

5.- Balance Energético

6.- Análisis Financiero

7.- Conclusiones



ESPE

RESUMEN

- Este proyecto de investigación permitirá evaluar el poder calorífico que tiene las emisiones generadas por las turbinas de gas.
- El calor residual, que en promedio de las tres turbinas tienen 4,712.94 kWt,
- Luego, poder capturar en una cadera acuatubular de circulación natural y tiro forzado tipo D, generando un calor útil constante como alimentación a la una turbina de vapor



ESPE

1. .- GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En continua búsqueda de eficiencias térmicas más altas ha originado modificaciones innovadoras en las centrales eléctricas convencionales.

El ciclo combinado de mayor utilización en los sistemas de cogeneración esta compuesto por el Ciclo Brayton y se complementa en la segunda etapa con Ciclo Rankine, utilizando los gases de escape de la primera etapa y que tiene una eficiencia térmica más alta que cualquiera de los ciclos ejecutados individualmente



ESPE

1.2 Definición del problema

En las turbinas a Gas Asociado, una vez realizado el ciclo de generación eléctrica, emiten a la atmosfera una cantidad de calor que afecta la entropía del medio y aumenta el efecto invernadero.

Realizando los cálculos respectivos se puede aprovechar el calor residual en un proceso termodinámico, llamado Ciclo Combinado.



ESPE

1.3 Objetivo general

- Satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica, aportar al sistema interconectado y mitigar las emisiones a la atmósfera.



1.4 Objetivos específicos

- Determinar el potencial energético de las de las 4 Turbinas de gas asociado, con fines de aprovechamiento del calor residual para la generación de electricidad.
- Realizar el dimensionamiento básico de la instalación para generación de electricidad, con vapor de baja presión.
- Desarrollar el análisis energético de los componentes de la instalación de producción de electricidad con calor residual.
- Realizar el análisis económico de este proyecto de investigación.



ESPE

1.5 Alcance

Con el desarrollo de esta investigación se propone incrementar el aporte de energía eléctrica al sistema interconectado, disminuir el efecto del cambio de entropía del ambiente y reducir el efecto invernadero.



1.6 Justificación e importancia

Con este proceso se aplica la metodología de eficiencia energética de un sistema de generación. Y a su vez contribuye a la demanda de la matriz energética en el sector petrolero (SEIP), dejando de comprar equipos que usan combustible fósil (Diesel, bunker) que su valor es muy alto e incrementa el costo de operación y mantenimiento (O&M)



2. MARCO TEÓRICO

Ciclos Termodinámicos:

1. Ciclo Carnot
2. Ciclo Rankine
3. Ciclo Brayton
4. Calderos Pirotubular
5. Calderos Acuotubular
6. Bombas de Condensación
7. Torre de Enfriamiento



CALENTAMIENTO Y EVAPORACIÓN DEL AGUA

Un fluido de proceso, en este caso el agua con la cual se producirá vapor sobrecalentado para abastecer a la turbina, sigue un proceso de calentamiento que comprende las siguientes etapas:

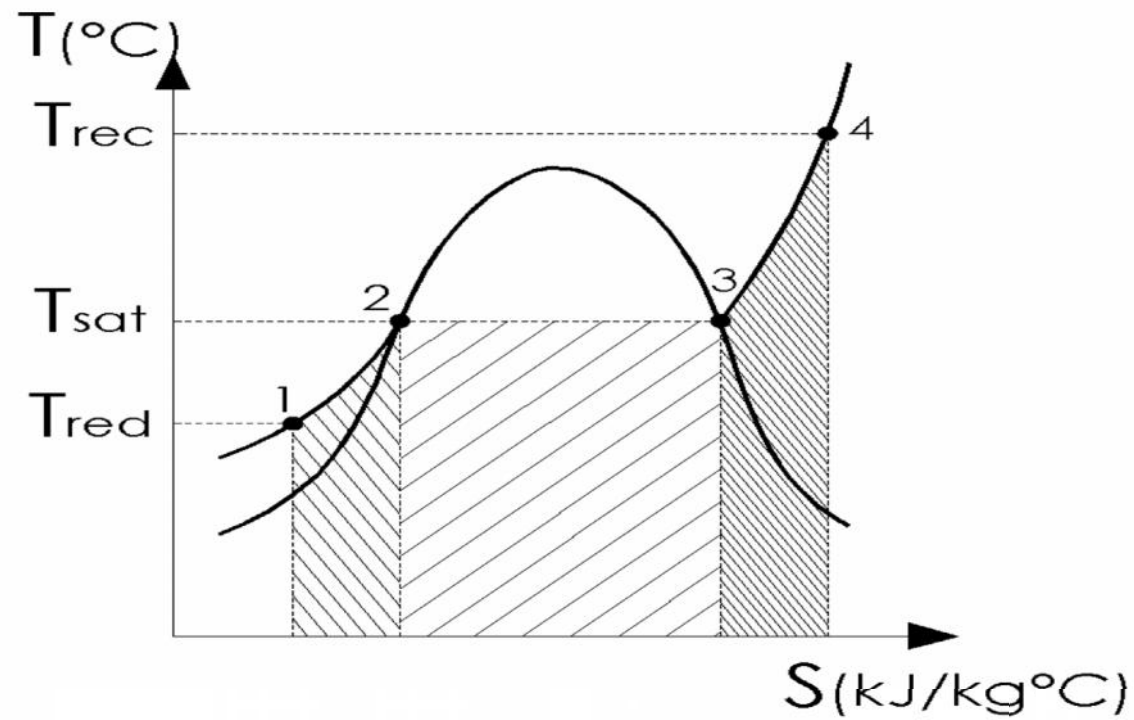
Etapas 1: Calor Sensible

Etapas 2: Calor Latente

Etapas 3: Calor para el sobrecalentamiento en el vapor saturado



CALENTAMIENTO Y EVAPORACIÓN DEL AGUA



$$Q_{\mu} = \frac{M}{t_{cal}} CP_{agua} (T_{sat} - T_{red}) + \dot{m}_v Hf_v + \dot{m}_v CP_{vapor} (T_{rec} - T_{sat})$$



3. ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA PLANTA

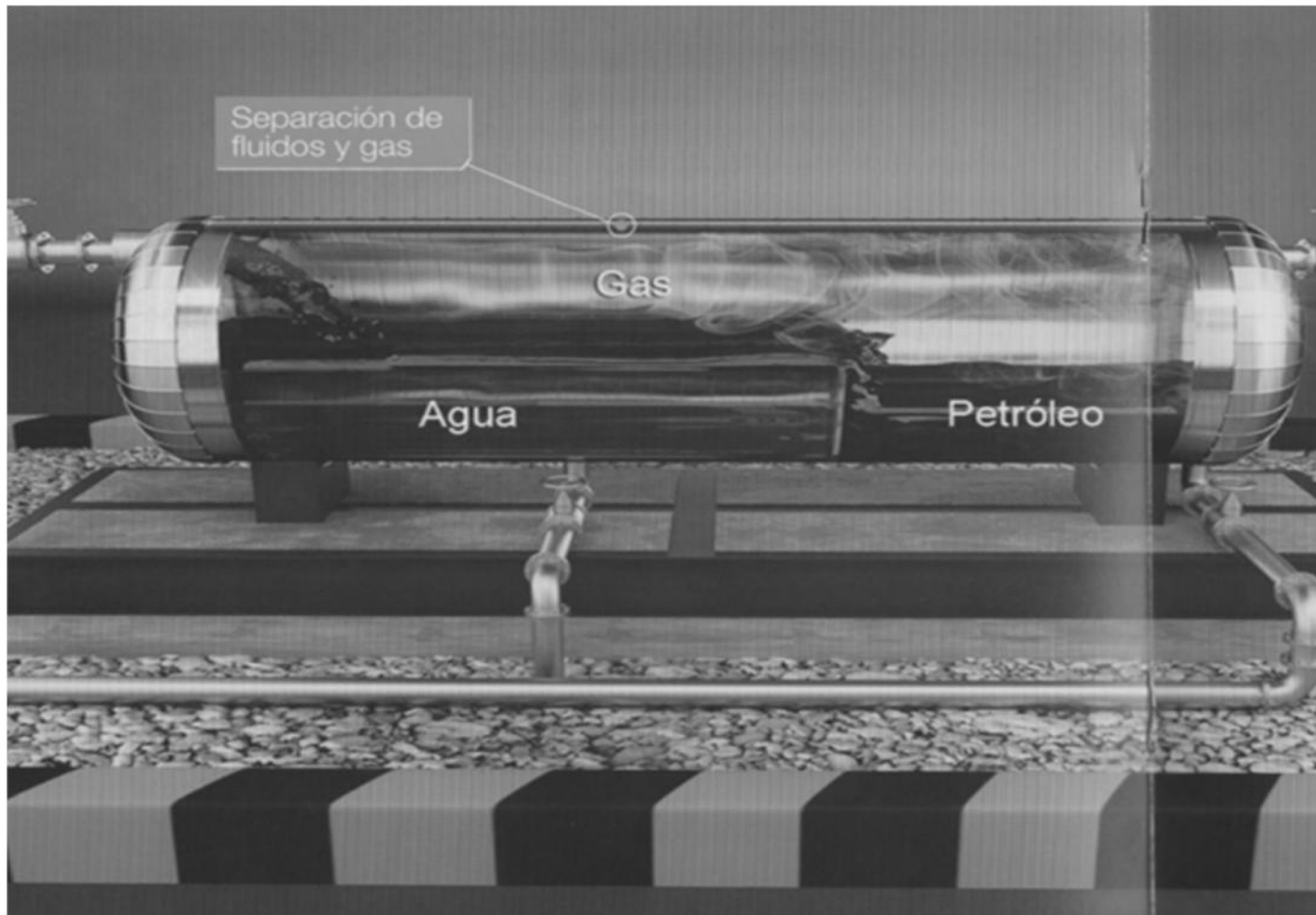


- Clima es tropical
- Temperatura media anual 28 °C
- Precipitaciones todo el año



ESPE

GAS ASOCIADO (COMBUSTIBLE)



TURBINAS A GAS ASOCIADO

TB1



- Potencia Nominal:
3000 kW
- Potencia Máxima:
2200 kW
Potencia Real:
1505.75 kW

TB2



- Potencia Nominal:
3000 kW
- Potencia Máxima:
2200 kW
Potencia Real:
1746.92 kW

TA3



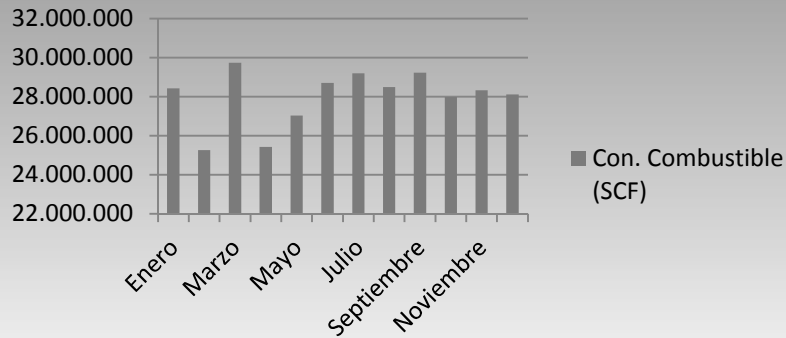
- Potencia Nominal:
1000 kW
- Potencia Máxima:
700 kW
Potencia Real:
387.17 kW



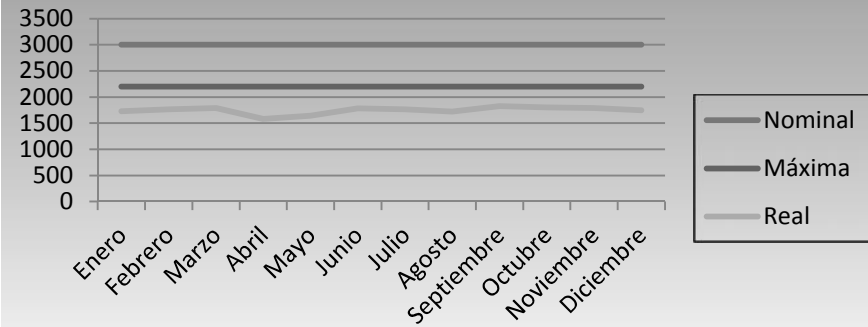
ESPE

CONSUMO, POTENCIA Y ENERGÍA (TB2)

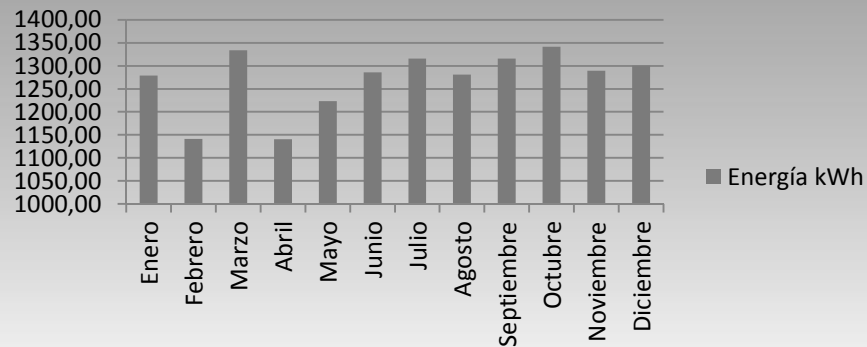
Consumo de Combustible



TB2 Potencia kW/h



TB2 - Energía kWh





ESPE

CÀLCULO DEL CALOR RESIDUAL

	P. Nominal (kW)	P. Max. (kW)	P. Real (kW)	Consumo Gas (MSCF)	volumen de gas (m3/s)	Qgen. kWt	η_n	$\eta_{max.}$	η_{real}
TB1	3000	2200	1505,75	24183767,9	0,2604	9.028	33	24,37	16,68
TB2	3000	2200	1746,92	27988150,6	0,3016	10.457	29	21,04	16,71
TA3	1000	700	387,17	10618739,3	0,1143	3.963	25	17,66	9,77

Balance de Masas					
	$\dot{m}c$ (kg/s)	r (a/c)	$\dot{m}a$ (kg/s)	$\dot{m}gases$ (kg/s)	T° Gases
TB1	0,2751	10	2,75	3,03	503
TB2	0,3186	10	3,19	3,50	503
TA3	0,1207	10	1,21	1,33	591
Suma Total	0,7144		7,14	7,86	
Promedio					532

$$\dot{m}c = v * \rho \quad \left(\frac{kg}{s}\right)$$

$$\dot{m}a = \dot{m}c * r \left(\frac{a}{c}\right) \quad \left(\frac{kg}{s}\right)$$

$$\dot{m}g = \dot{m}c + \dot{m}a \quad \left(\frac{kg}{s}\right)$$

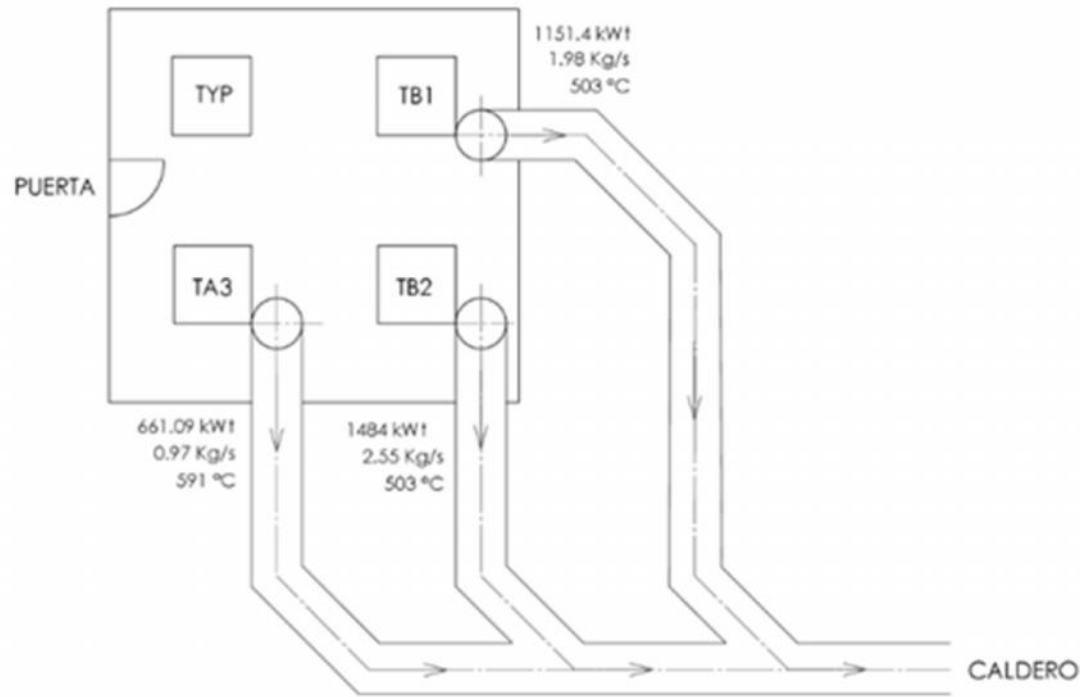
$$Qg = v * HR \quad kWt$$

$$Q_{res} = \dot{m} Cp * T.out (kWt)$$

	Consumo Gas (MSCF)	P_{real} kW	Q_{gen} kWt	$Q_{residual}$
TB1	24183,7679	1505,75	9028,0	1762,54
TB2	27988150,6	1746,92	10457,0	2041,40
TA3	10618739,3	387,17	3963,0	909,00



CÀLCULO DEL CALOR RESIDUAL



Q. residual:
4712,94 kWt

Flujo másico:
7.86 kg/s

Temperatura:
532 °C



ESPE

CALDEROS DE FUERZA

Calderos Pirotubulares

- Conocidos como de tubos de fuego.
- Mayor volumen de agua
- Produce vapor saturado
- Presión hasta 30 bar
- Temperatura hasta 300 °C

Calderos Acuotubulares

- Conocidos como de tubos de agua.
- Menor volumen de agua
- Produce vapor sobrecalentado
- Presión 40 bar
- Temperatura < 400 °C



ESPE

CALDEROS ACUOTUBULAR

Economizador

- Calentar el agua antes de ingresar a la caldera
- Banco de tubos colocado en la parte posterior (chimenea)

Paredes de Agua

- Recinto hermético del hogar de la caldera
- Cabezal inferior y cabezal superior

Domo de Vapor

- Acumulación del vapor húmedo
- Alimentación de agua a las paredes del hogar

Domo de lodos

- Recibe agua desde el domo de vapor
- Alimenta agua a los cabezales inferiores de las paredes del hogar
- Retiran los condensados (purga intermitente)

Sobrecalendor

- Los gases de combustión , por convección transfieren calor a los serpentines.
- Sobrecalienta el vapor saturado a 400 °C



CALDERO ACUOTUBULAR / DIAGRAMA

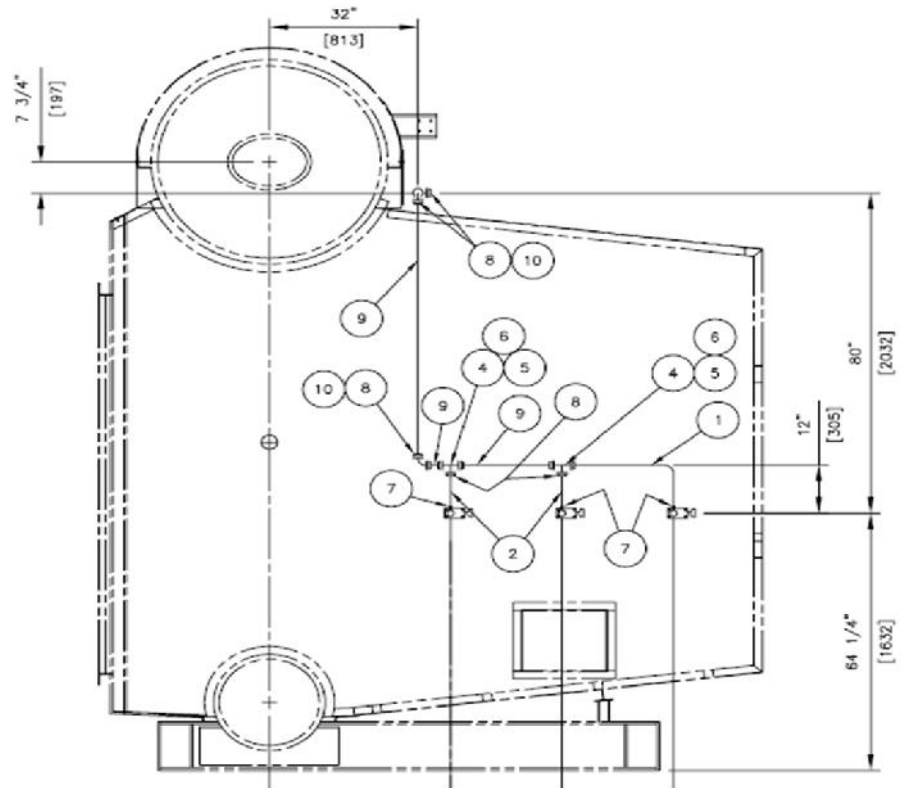
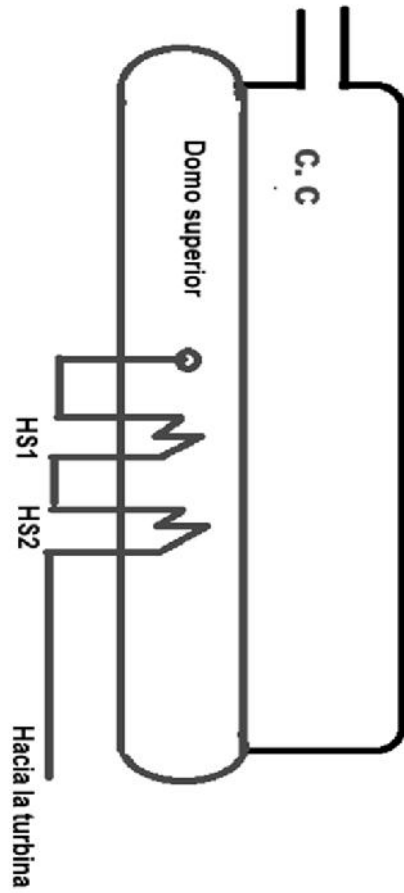


- De circulación natural y tiro forzado, tipo D
- Generar hasta 30,000.00 lbs/hr. (vapor sobrecalentado)
- Presión 610 PSI, G
- Temperatura $400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$
- Masa de agua: 3345 kg



ESPE

CALDERO ACUOTUBULAR / TIPO D





ESPE

TURBINA DE VAPOR

Tipo condensación, sin extracciones, con seis etapas de impulso, y escape axial hacia un condensador de Superficie, gira a 7860 / 1800 rpm y cuenta con un gobernador electro-hidráulico marca Woodward

Turbina
de
Condensación

Presión de vapor: 600 psi g

Temperatura de vapor: 750 °F (400 °C)

Potencia del generador: 2000 kW. (2 MW)

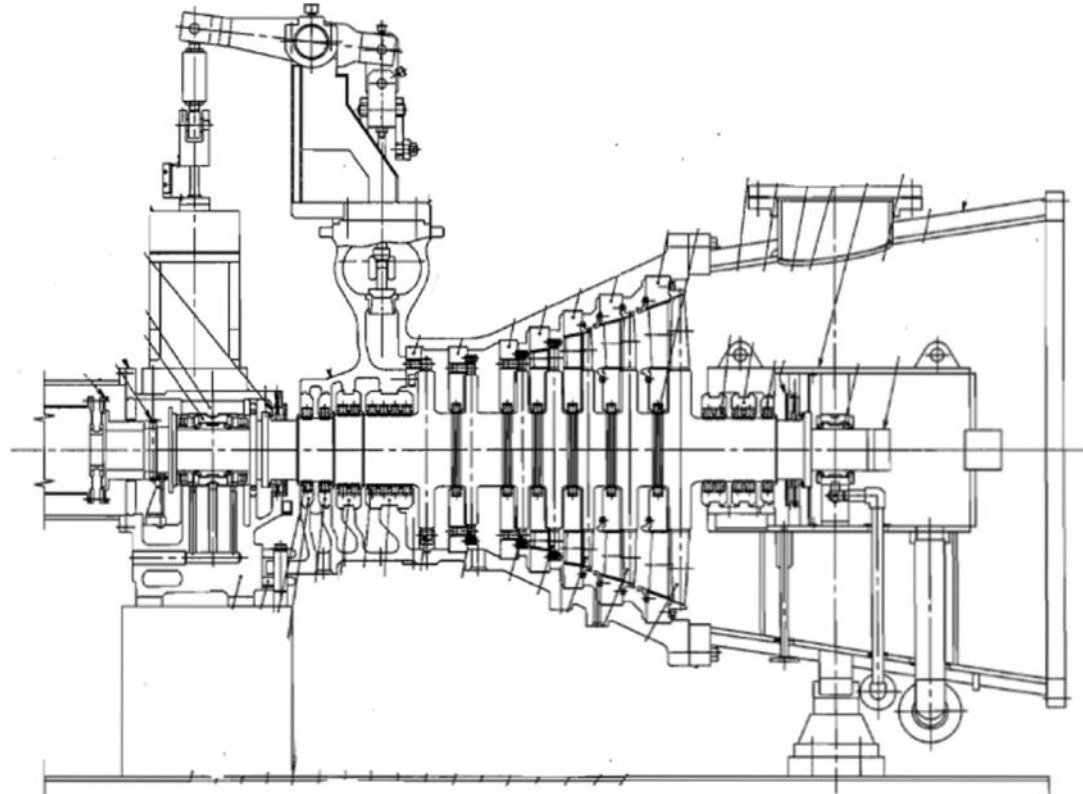
APLICACIONES

Generación de energía eléctrica



ESPE

TURBINA DE VAPOR / DIAGRAMA





CONDENSADOR / BOMBAS

CONDENSADOR

- Baja la temperatura del vapor proveniente de la turbina (46 °c)
- Eliminación de los gases incondensables
- Caudal nominal 27887 kg/h @ 0.1016 bar (1.5 psi)
- Diseño interno, tubos / carcasa.

Caracte- rísticas

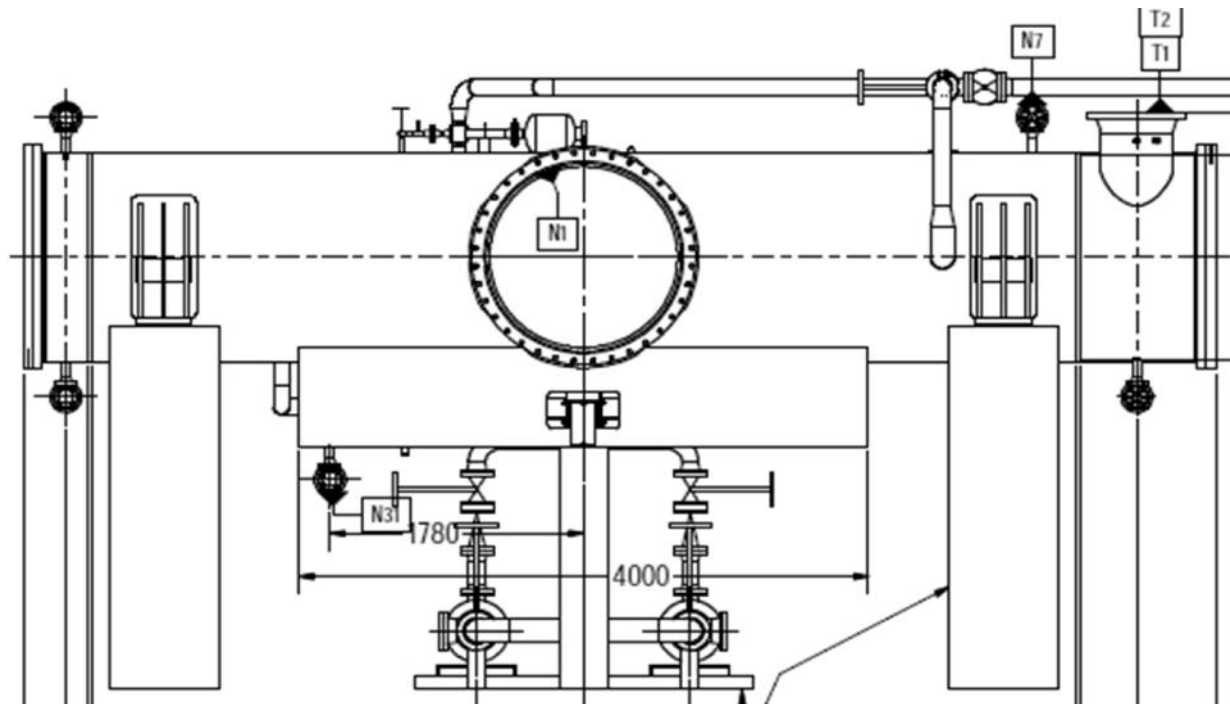
BOMBA DE CONDENSACIÓN

- Caudal máximo 28000 kg/h @ 5,81 bar
- Potencia 5 HP

APLICACIONES

Sistema de vapor

CONDENSADOR, BOMBA / DIAGRAMA





TORRE DE ENFRIAMIENTO

- Tipo contraflujo
 - Agua de circulación 5000 gpm
 - Temperatura de entrada 110 ° F (43 ° C)
 - . Temperatura de salida 92° F (33 ° C)
-

Caracte- rísticas

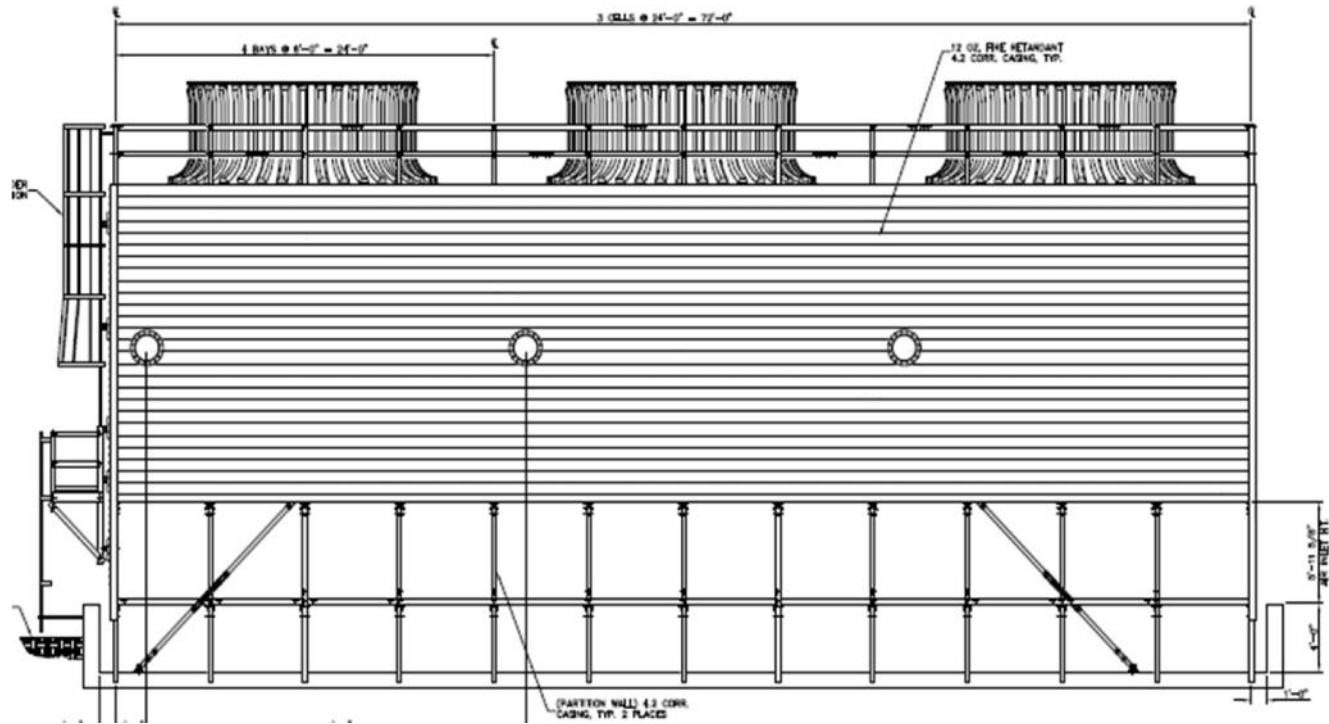
- Extractores en la parte superior crean el efecto de contraflujo (aire – agua)
 - Bloques de material, cambian de dirección de aire y proporcionan sitios de impacto
 - Controla la cantidad de agua que circula
-

APLICACIONES

Sistema energético



TORRE DE ENFRIAMIENTO / DIAGRAMA





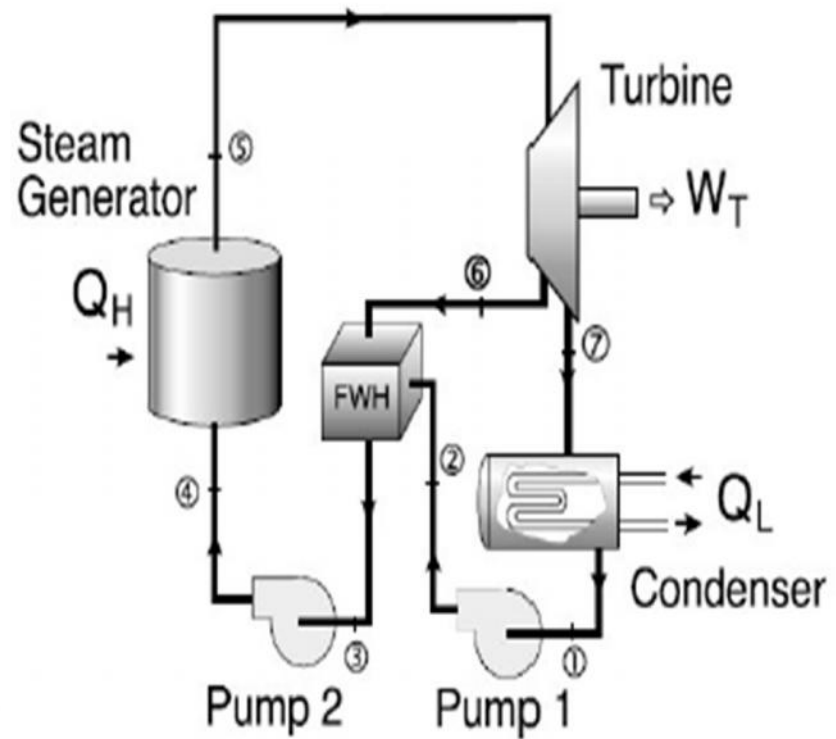
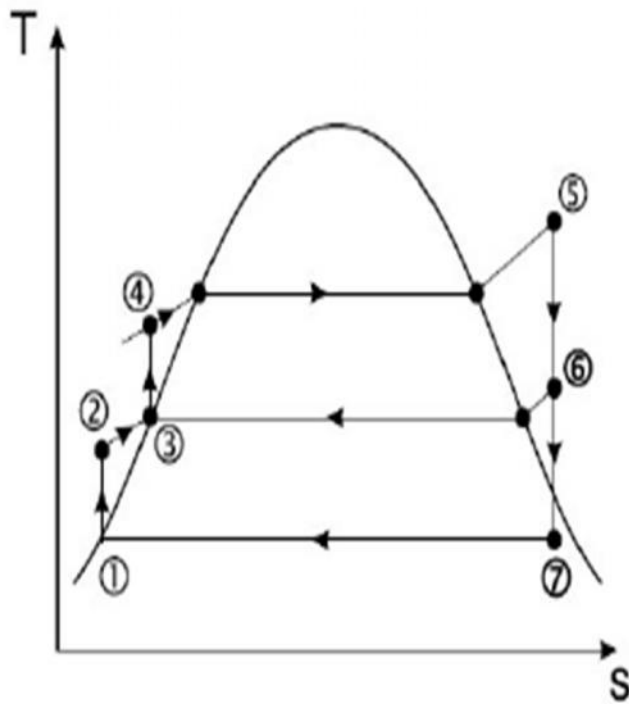
4. SISTEMA DE GENERACION A VAPOR

Una planta de Generación a vapor esta constituida por los componentes del ciclo agua – vapor (ciclo Rankine)

Procesos de intercambios térmicos para finalmente generar trabajo en la turbina.

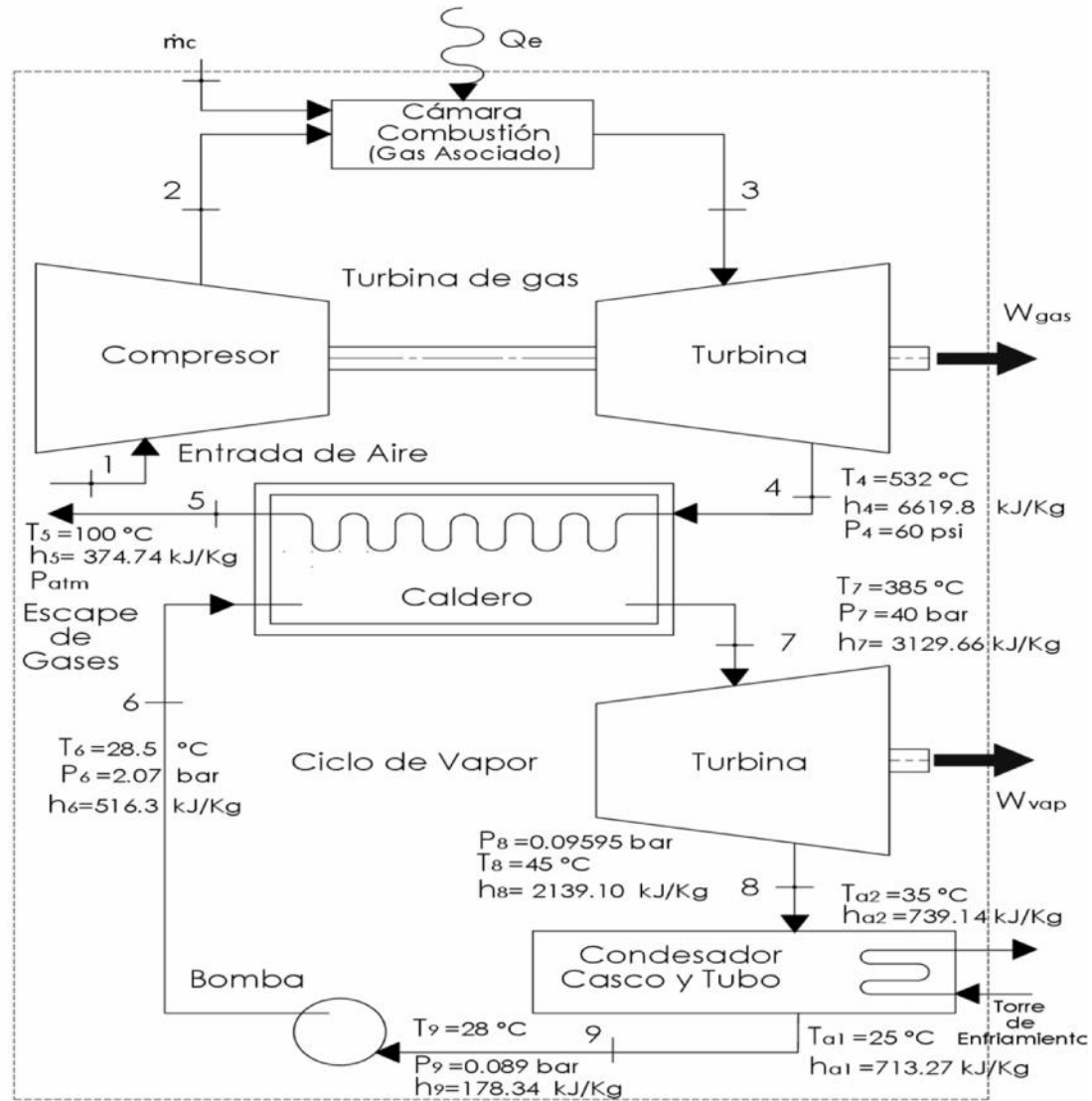


CICLO TERMIDINAMICO DE TURBINA DE VAPOR



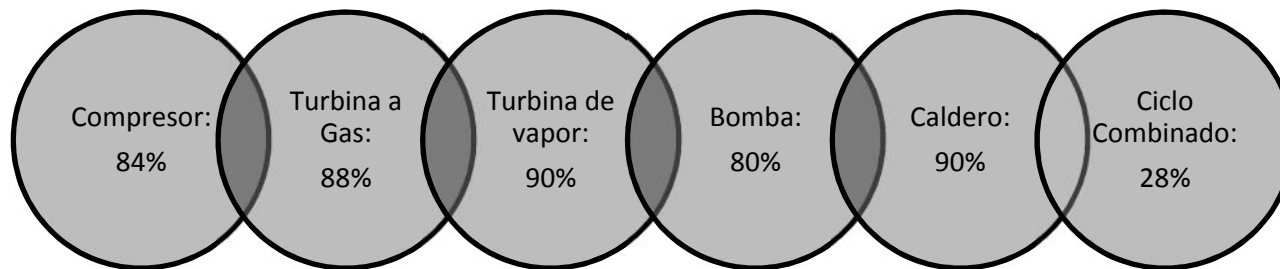
Ver [proceso](#)

PARÀMETROS ENERGÈTICOS DEL CC





EFICIENCIAS DE LOS EQUIPOS DEL CC





5.- BALANCE ENERGÉTICO / RESULTADOS

Balance Energético del punto 4 al punto 7

$$m_{\text{vapor}} := \frac{m_{\text{gas}} \cdot (h_4 - h_5)}{(h_7 - h_6)}$$

$$m_{\text{vapor}} = 1.345 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) \quad \text{Masa de vapor}$$

Trabajo de la Turbina de Vapor

$$W_t := m_{\text{vapor}} \cdot (h_7 - h_6)$$

$$W_{\text{vap}} = 2.709 \quad \text{MW}$$



5.- BALANCE ENERGÉTICO / RESULTADOS

Eficiencia energética del ciclo combinado

$$\eta := \frac{W_{\text{gas}} + W_{\text{vap}}}{Q_e}$$

$$\eta = 0.284$$

Balance Energético del ciclo de vapor

$$QT := W_{\text{vap}} + Q_{\text{te}}$$

$$QT = 5.329 \quad (\text{MW})$$



ESPE

6.- ANÁLISIS FINANCIERO

Unidad	Disponible (kW/h) promedio	Horas disponible	Cap. Disp. x Hrs. (kW/día)	Costo de Energía cts/kW-h	Costo de energía \$/kW-día	Costo (Mantenimiento o \$/mes	Costo O&M \$/mes	Energía producida (kW-mes)	Costo Energía producida (kW-mes)	Costo Neto Mensual (\$)
Turbine Engine	2000	24	48000	0,05	2400	416,67	1200	1440000	129600	125583,33

Equipos	Precios (\$)
Caldero	100000
Bomba	5000
torre	30000
Turbina	1200000
Construcción	1000000
TOTAL	2335000

Credito	2335000
Tasa de interés	9%
Plazo	60
Pago Mensual	\$ 48.470,76

TIR (tasa interna de retorno) = 9%

VAN (Valor actual neto) = 42,000.00



ESPE

7. CONCLUSIONES

- La cantidad de calor que son enviadas a la atmosfera y que para este estudio toman el nombre de calor residual en promedio es $Q_{res} = 4,712.94 \text{ kWt}$.
- El calor que se requiere para calentar y evaporar el agua en el proceso termodinámico del caldero es de $Q_u = 7,471.00 \text{ kWt}$
- La potencia eléctrica máxima en promedio es de 1,649.53 kWe, con este valor se puede seleccionar la turbina de 2 MWe.



ESPE

CONCLUSIONES...

- Desplaza el consumo de diesel, ahorrando al año en promedio al país \$1,000,000

MUCHAS GRACIAS