



Universidad
Continental

Máquinas Térmicas

Guía de Laboratorio



VISIÓN

Ser la mejor organización de educación superior posible para unir personas e ideas que buscan hacer realidad sueños y aspiraciones de prosperidad en un entorno incierto

MISIÓN

Somos una organización de educación superior que conecta personas e ideas para impulsar la innovación y el bienestar integral a través de una cultura de pensamiento y acción emprendedora.



Presentación

Máquinas Térmicas es una asignatura obligatoria de especialidad que se ubica en el sexto periodo académico de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica. Tiene como prerrequisito la asignatura de Termodinámica I y es prerrequisito de la asignatura de Centrales de Generación. Con esta asignatura se desarrolla en un nivel intermedio la competencia transversal Conocimientos de Ingeniería; y en un nivel inicial las competencias transversales Medioambiente y Sostenibilidad y Gestión de Proyectos.

Los contenidos generales que la asignatura desarrolla son los siguientes: clasificación de las máquinas térmicas; transferencia de energía; aplicación de la Ecuación de Euler en las turbinas; Leyes de semejanza; selección de turbinas; pérdidas, saltos entálpicos, rendimientos y potencias de las turbinas.

El presente material de aprendizaje, también denominado guías de laboratorio corresponde a las horas prácticas de la asignatura de Máquinas Térmicas. Este material comprende ocho prácticas que se desarrollaran en la primera y segunda unidad del semestre académico.

Estas fueron clasificadas como básicas, las que describen la operación de los elementos eléctricos más usuales, refiriéndose a aquellas prácticas que demuestran las Leyes de la Termodinámica; propiedades del vapor, aire y gas; los procesos de combustión, los Ciclos Rankine y Brayton; y que corresponden tanto a la utilización de los dispositivos, componentes y auxiliares de una Planta Térmica.

Bajo lo anterior descrito, este manual completa la serie de actividades teórico-prácticas que proporcionan al estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Eléctrica, las habilidades necesarias para el manejo de los dispositivos eléctricos, los ciclos térmicos y principios termodinámicos más usuales.

El autor



NORMAS BÁSICAS DE LABORATORIO

Con el objeto de prevenir accidentes, debes conocer antes de comenzar a trabajar en el laboratorio, que durante el desarrollo de las prácticas, vas a manejar productos potencialmente peligrosos y a realizar procesos, algunos de los cuales, si no tomas las precauciones pertinentes, podrían entrañar algún tipo de riesgo. Por ello, debes tener en cuenta las siguientes normas de seguridad:

1. Todos los carteles con señales y advertencias de seguridad deben ser respetados sin excepciones
2. Antes de comenzar una práctica debes conocer y entender los procesos que vas a realizar.
3. Antes de ingresar, los estudiantes deben asegurarse de contar con calzado cómodo y cerrado. Queda prohibido el uso del pie al descubierto (es decir, descalzo, sandalias, alpargatas, chancletas, entre otros).
4. Evita los desplazamientos innecesarios y no correr.
5. Tampoco se puede comer, ni tomar bebidas, ni, por supuesto, fumar.
6. Se deben utilizar los elementos necesarios, evitando el exceso de tendido eléctrico que ocasiona riesgos de caída
7. No se debe trabajar en equipos eléctricos parado sobre el piso húmedo. Se deberá ubicar sobre goma.
8. No se debe realizar maniobras para las cuales no ha sido entrenado o autorizado.
9. Antes de conectar un equipo, los estudiantes deberán chequear que la conexión se encuentre en óptimas condiciones (cables bajo goma, no empalmados, ficha de conexión en buenas condiciones, conexión a tierra). En caso de detectar una condición insegura, se deberá comunicarlo de inmediato al docente.
10. Al desconectar un equipo no se debe tirar del cable, sino retirarlo con precaución desde su ficha de conexión.
11. No se deben dejar cables al descubierto ni fuera de lugar. Los cables deberán estar siempre recogidos.
12. Se debe desconectar la herramienta eléctrica mientras no se la esté utilizando.
13. Al retirarse del sitio de trabajo, se deberá verificar que todos los elementos eléctricos que se emplearon queden desconectados o en su defecto apagados.
14. Mantener informado al docente de cualquier hecho que ocurra.
15. Debes mantenerte concentrado en el trabajo que estás realizando.
16. No utilice contactos flojos ni otro equipo eléctrico defectuoso hasta que esté reparado o sea remplazado e inspeccionado por un docente.
17. Mantenga todo el equipo eléctrico lejos de cualquier fuente de agua, a menos que esté clasificado para uso en áreas mojadas.
18. No usar en el cuerpo accesorio de metal como cadenas, anillos, relojes, etc. ya que podrían ocasionar un choque eléctrico perjudicial para la persona.



Índice

VISIÓN	2
MISIÓN	2
PRESENTACIÓN	3
NORMAS BASICAS DE LABORATORIO	4
ÍNDICE	5

Primera unidad

Guía de Práctica N° 1: Leyes de la Termodinámica	6
Guía de Práctica N° 2: Propiedad del Vapor, Aire y Gas	11
Guía de Práctica N° 3: Tipos de Plantas Térmicas	¡Error! Marcador no definido.
Guía de Práctica N° 4: Procesos de Combustión	¡Error! Marcador no definido.

Segunda unidad

Guía de Práctica N° 5: Ciclo Rankine	24
Guía de Práctica N° 6: Ciclo Brayton	28
Guía de Práctica N° 7: Componentes principales y auxiliares de Planta	33
Guía de Práctica N° 8: Curvas características de una planta térmica	37

Referencias bibliográficas	39
-----------------------------------	----



Primera unidad

Guía de práctica de Máquinas Térmicas

Práctica N° 1: Leyes de la Termodinámica

Sección:	Fecha:/...../.....	Duración: 90 min
Docente: Ing.....	Tipo de práctica: Individual () Equipo ()	
Apellidos y nombres:		

Instrucciones: Lee detenidamente las indicaciones de la práctica y expresa tus conclusiones pertinentes.

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

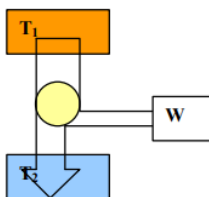
Analizar e interpretar las leyes de la Termodinámica de forma teórica y práctica.

2. Fundamento Teórico

- Instrumentos y Medidas Químicas.
- Ley cero de la termodinámica o principio del equilibrio termodinámico.
- Primera ley de la termodinámica o principio de la conservación de la energía.
- Segunda ley de la termodinámica.
- Tercera ley de la termodinámica.

La termodinámica

La termodinámica es la rama de la física que estudia la energía y la transformación entre sus distintas manifestaciones, como el calor, y su capacidad para producir un trabajo. La ley cero de la termodinámica establece que si dos sistemas, A y B, están en equilibrio termodinámico, y B está a su vez en equilibrio termodinámico con un tercer sistema C, entonces A y C se encuentran en equilibrio termodinámico. Este principio fundamental se enunció formalmente luego de haberse enunciado las otras tres leyes de la termodinámica, por eso se la llamó "ley cero". La primera ley de la termodinámica, también conocida como ley de la conservación de la energía enuncia que la energía es indestructible, siempre que desaparece una clase de energía aparece otra (Julius von Mayer). Más específicamente, la primera ley de la termodinámica establece que al variar la energía interna en un sistema cerrado, se produce calor y un trabajo. "La energía no se pierde, sino que se transforma". La segunda ley de la termodinámica indica la dirección en que se llevan a cabo las transformaciones energéticas. El flujo espontáneo de calor siempre es unidireccional, desde los cuerpos de temperatura más alta a aquellos de temperatura más baja.



T1=Temperatura inicial

T2=Temperatura final



W=trabajo

3. Equipos y Materiales

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Reloj o cronómetro	Analógico/digital	1
2	Termómetro	Analógico / que alcance a una temperatura mayor a 100 °C	1
3	Soporte para termómetro	Metálico de laboratorio	1
4	Vaso de precipitado	El vaso de precipitado utilizado en el experimento original el de 1 litro de capacidad	1

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	- Agua fría - Agua tibia - Agua caliente	- (7°C-10°C) - (28°C-30°C) - (100°C).	1
2	Colorante	utilizar colorantes artificiales o tinta	50 gramos
3	Cubetera de pvc	De las utilizadas para hacer hielo en el Freezer o congelador	1

4. Indicaciones/instrucciones:

- 4.1 El alumno debe traer los materiales, pudiendo hacerlo en grupos de máximo 4 integrantes.
- 4.2 Un representante de grupo solicitará al encargado de laboratorio los equipos necesarios para realizar la práctica.
- 4.3 El equipo a utilizar en el laboratorio por grupo es: Termómetro analógico o digital, Reloj o cronómetro analógico o digital.
- 4.4 El estudiante deberá ingresar al laboratorio con su EPP (Equipo de Protección Personal), caso contrario no podrá hacer su ingreso.

5. Procedimientos:

- a. Antes de comenzar el experimento, se deben preparar los cubos de hielo con el colorante o la tinta. Hay que dejarlos en el freezer alrededor de tres horas para que queden sólidos en el centro (el colorante se puede llegar a concentrar en el centro, pero esto no afecta al experimento)



- b. Se prepara el vaso de precipitado con agua fría a 10°C (agua de la heladera), para la primer parte del experimento. Se toma la temperatura del agua para compararla luego con la temperatura final, introduciendo el termómetro en el agua y sosteniéndolo con el soporte para termómetro. Preparamos el reloj e introdujimos el primer hielo en el agua. A los pocos segundos se pudieron ver los primeros rastros de colorante, pero recién al minuto y medio se observan líneas de colorante en forma de flujo laminar descendiendo por un costado del vaso y el agua comienza a tomar color. La temperatura final fue de $10,5^{\circ}\text{C}$, ya que la temperatura ambiente era de 22°C y el tiempo final fue de 24 minutos.



- c. Aquí ya se puede establecer una relación con la ley cero de la termodinámica: cuando el agua (sistema A) establece contacto con el hielo (sistema B), ambos intentan llegar a un equilibrio termodinámico. A su vez, estos dos sistemas buscan el equilibrio termodinámico con un tercer sistema, el aire (sistema C), por lo que en algún momento los tres sistemas alcanzarán este equilibrio. Aquí también aparece la segunda ley de la termodinámica: el agua le transfiere calor al hielo, haciendo que la temperatura de este aumente y provocando el cambio de estado. Luego de cinco minutos se vio bastante colorante en el fondo del vaso y el agua un poco más verde; pero al finalizar esta primera etapa, a los veinticuatro minutos, se vio que el 4 agua había cambiado de color y que la mayor parte del colorante se encontraba en el fondo.





- d. La segunda parte del experimento se realizó con agua tibia, a 28°C. Se realizaron los mismos procedimientos que en el paso anterior. Al introducir el hielo, el colorante empezó a bajar casi instantáneamente, pero esta vez en forma de flujo turbulento. Llegó hasta el fondo del vaso y comenzó a difundirse por los laterales. Al minuto de iniciado este paso, todo el vaso ya estaba verde, y se pudo ver el colorante bajando velozmente por la diferencia de temperaturas. En este caso el hielo sólo tardó cuatro minutos y medio; y la temperatura final del agua fue de 25°C.



- e. La última parte del experimento fue también la más gráfica, ya que el intercambio de calor fue más brusco, el colorante descendió en forma de flujo turbulento por el costado del vaso y se difundió más rápidamente. El agua se había llevado a punto de hervor (100°C), pero hay que tener en cuenta que al trasvasar el contenido y mientras se está realizando el experimento, el agua pierde más calor que en paso 1 o en el 2. Por esto la diferencia de temperatura es mayor entre la temperatura inicial y la final. El hielo terminó de disolverse a los 50 segundos de iniciada la prueba, y el colorante quedó difundido uniformemente en todo el vaso.



6. Resultados Obtenidos

6.1

.....

.....



6.2
.....
.....
6.3
.....
.....

7 Conclusiones a las que abordaste en la práctica

7.1
.....
7.2
.....
7.3
.....

8 Explique y grafique las variaciones de temperatura que observaste en el experimento

.....
.....
.....
.....



Primera unidad

Guía de práctica de Máquinas Térmicas

Práctica N° 2: Propiedad del vapor, aire y gas

Sección:	Fecha:/...../.....	Duración: 90 min
Docente: Ing.....	Tipo de práctica: Individual () Equipo ()	
Apellidos y nombres:		

Instrucciones: Lee detenidamente las indicaciones de la práctica y expresa tus conclusiones pertinentes.

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Analizar e interpretar las propiedades de la termodinámica (vapor, aire y gas)

2. Fundamento Teórico

- La ley cero de la termodinámica establece que si dos sistemas, A y B, están en equilibrio termodinámico, y B está a su vez en equilibrio termodinámico con un tercer sistema C, entonces A y C se encuentran en equilibrio termodinámico.
- La primera ley de la termodinámica, también conocida como ley de la conservación de la energía enuncia que la energía es indestructible, siempre que desaparece una clase de energía aparece otra (Julius von Mayer).
- La segunda ley de la termodinámica indica la dirección en que se llevan a cabo las transformaciones energéticas.
- La tercera de las leyes de la termodinámica afirma que es imposible alcanzar una temperatura igual al cero absoluto mediante un número finito de procesos físicos, ya que a medida que un sistema dado se aproxima al cero absoluto, su entropía tiende a un valor constante específico.
- propiedades del vapor aire y gas físicas y químicas del vapor aire y gas – poco teoría

3. Equipos y Materiales

a. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Termómetro laser	Analógico/digital	1

b. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Globos de color	Grande, 1 con helio 1 con aire	2
2	Tubo transparente	De pvc de 1" x 10 cmts	1
3	Corcho de tecnopor	1 "	2
4	Plancha metálica	De 8x8x8 cmts	2
5	Cinta aislante	3m x1000	1
6	Hilo de nylon	50 cmts	1



7	Mechero	de llama pequeña	1
8	Hielo	En cubos	kilo

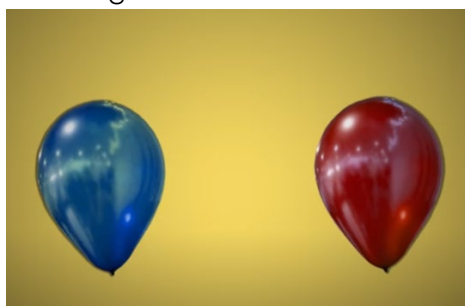
4. Indicaciones/instrucciones:

- 4.1 El alumno debe traer los materiales, pudiendo hacerlo en grupos de máximo 4 integrantes.
- 4.2 Un representante de grupo solicitará al encargado de laboratorio los equipos necesarios para realizar la práctica.
- 4.3 El equipo a utilizar en el laboratorio por grupo es: termómetro laser.
- 4.4 El estudiante deberá ingresar al laboratorio con su EPP (Equipo de Protección Personal), caso contrario no podrá hacer su ingreso.

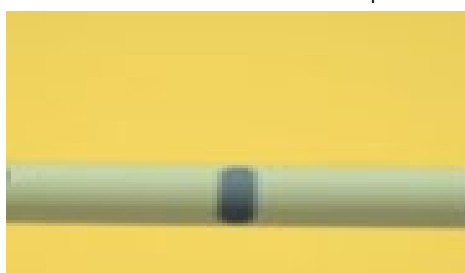
5. Procedimientos:

Suministro de gas helio y aire en los globos

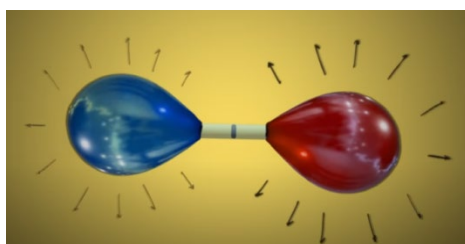
- a) Suministrar gas Elio al 1er globo.
- b) Suministrar aire al 2do globo..



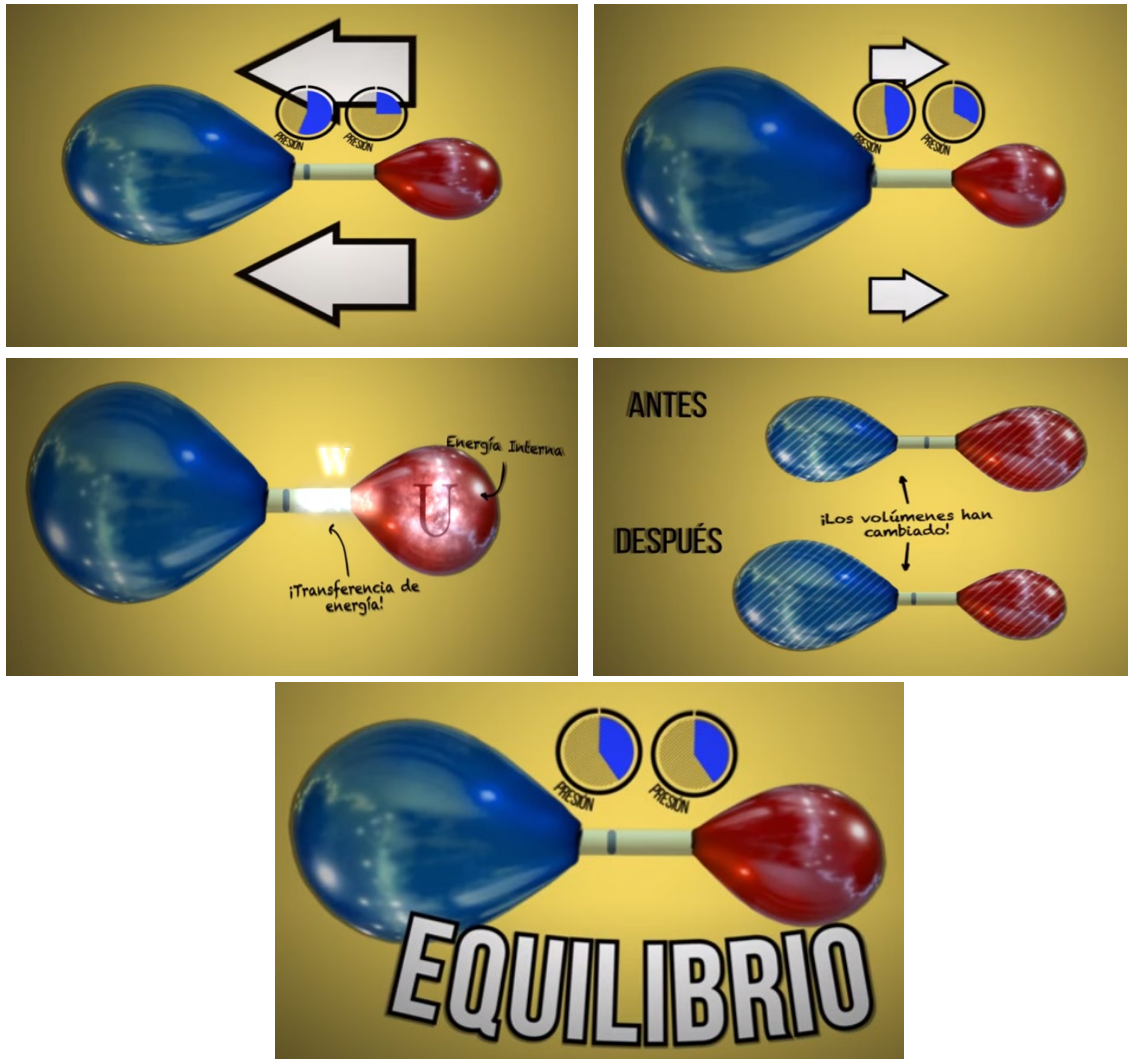
- c) Acondicionar al centro del tubo de pvc el corcho de tecnopor.



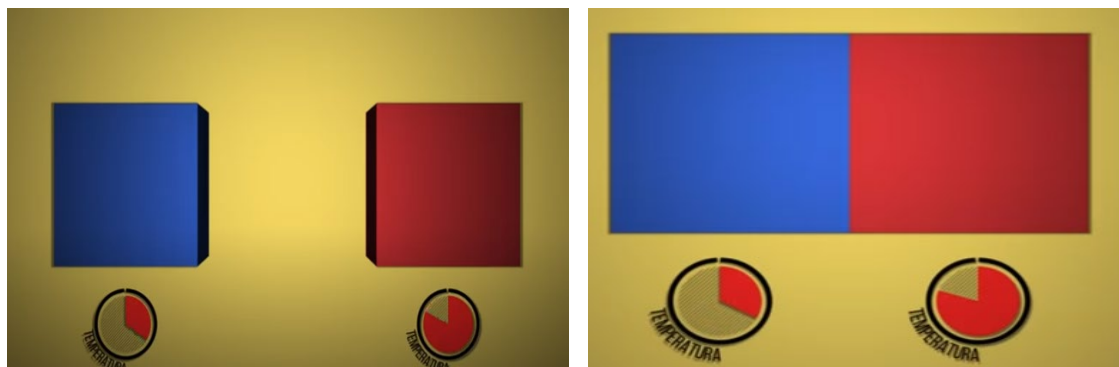
- d) Acondicionar 1 globo a cada lado del tubo teniendo precaución de no dejar de salir el aire ni el gas, por lo que los globos deben de tener las puntas sujetadas con el hilo de nylon y luego serán aseguradas con la cinta aislante hacia las puntas del tubo de pvc.



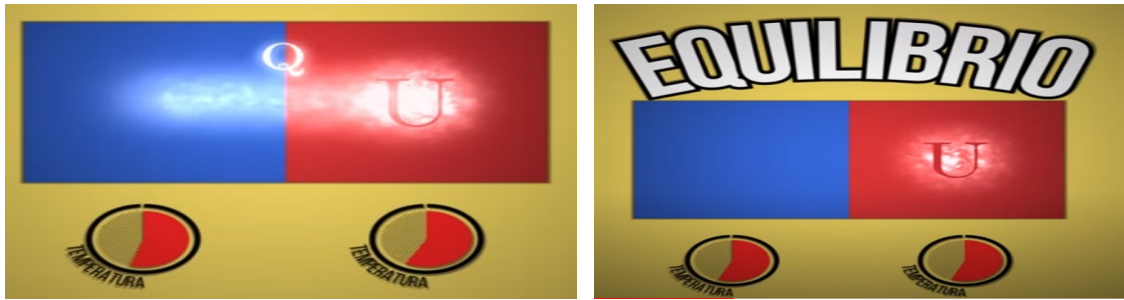
- e) Luego de soltar el aire y gas veremos cómo cada uno empuja hacia una dirección y viceversa hasta encontrar con el equilibrio.



f) En esta etapa cojamos 2 solidos a diferentes temperaturas y los ponemos en contacto.



g) lo que ocurre es que el más caliente transferirá su calor al más frío hasta que sus temperaturas se igualen entonces alcanzara el equilibrio térmico.



6. Resultados obtenidos

1.
2.
3.

7. Conclusiones a las que abordaste en la práctica

1.
2.
3.

8. Evaluación de la práctica

1. ¿Qué entiende por Psicrometría?
.....
2. ¿Qué entiende por humedad absoluta?
.....
3. ¿Qué entiende por humedad relativa?
.....
4. ¿Qué entiende por temperatura de punto de rocío?
.....



Primera unidad

Guía de práctica de Máquinas Térmicas

Práctica N° 3: Tipos de Plantas Térmicas – Calor Sensible y Calor Latente

Sección:	Fecha:/...../.....	Duración: 90 min
Docente: Ing.....	Tipo de práctica: Individual () Equipo ()	
Apellidos y nombres:		

Instrucciones: Lee detenidamente las indicaciones de la práctica y expresa tus conclusiones pertinentes.

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

- Analizar e interpretar el calor sensible y calor latente originado por una planta térmica.

2. Fundamento Teórico

- **El calor latente (QL)**, es el necesario aportar para que una masa m de cierta sustancia cambie de fase y es igual a:

$$QL=mL$$

Donde L se denomina calor latente de la sustancia y depende del tipo de cambio de fase. Despejando a L se obtiene:

$$L= QL/m$$

Sabiendo que:

$$W = Q_L = \frac{V^2}{R} t$$

Sustituyendo; se obtiene

$$L = \frac{V^2}{R \cdot m} t$$

- **Calor sensible (Qs)**, es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado.

Si el proceso se efectúa a presión constante:

$$Q_s = m \cdot C(T_2 - T_1)$$

Donde m es la masa del metal
En gramos

Despejando a C

$$C = \frac{Q_s}{m(T_2 - T_1)}$$

Sabiendo que:

$$W = Q_s = \frac{V^2}{R} t$$

Sustituyendo se obtiene:

$$C = \frac{V^2}{R \cdot m(T_2 - T_1)} t$$



- Características el calor sensible y el calor latente del agua

3. Equipos y Materiales

a. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	calorímetro	De laboratorio	1
2	Termómetro	de mercurio	1
3	Vasos de precipitado	de precipitado	1
4	Multímetro	Analógico	1
5	cronometro	Analógico/digital	1

b. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Destornillador	Estrella	1
2	Mechero de mesa	pequeño	1
3	Alicate	universal	1

4. Indicaciones/instrucciones:

- 4.1. Un representante de grupo solicitará al encargado de laboratorio los equipos necesarios para realizar la práctica.
- 4.2. El equipo a utilizar en el laboratorio por grupo es: termómetro analógico o digital.
- 4.3. El estudiante deberá ingresar al laboratorio con su EPP (Equipo de Protección Personal), caso contrario no podrá hacer su ingreso.

4 Procedimientos:

1. Con ayuda del multímetro mida el voltaje de línea
2. Mida el valor de la resistencia del calorímetro
3. Vierta 1500 ml de agua al calorímetro.
4. Con ayuda del termómetro, mida la temperatura inicial del agua
5. Conecte el calorímetro
6. Tome el tiempo que tarda el agua en alcanzar una temperatura de aproximadamente 85°C (no olvide agitar constantemente el líquido para homogeneizar la temperatura)
7. Caliente el líquido hasta que empiece a hervir (aproximadamente 92°C), y a partir de ese momento con ayuda del cronometro deje transcurrir 8 minutos.
8. Desconecte el calorímetro
9. Con mucho cuidado mida el agua que quedo dentro del calorímetro, la diferencia con lo que se vertió inicialmente es la cantidad de agua que se evaporó.
10. En la tabla se proporcionan los datos referentes a los cambios de estado de algunas sustancias.



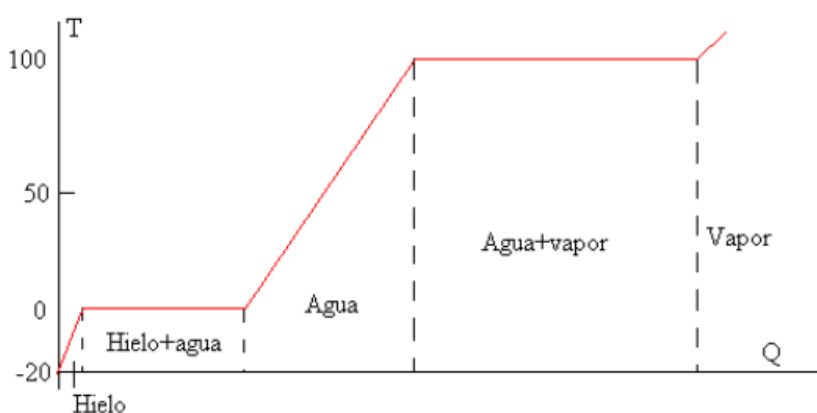
Sustancia	T fusión [°C]	$L_f \cdot 10^3$ [J/kg]	T ebullición [°C]	$L_v \cdot 10^3$ [J/kg]
Hielo (agua)	0	334	100	2260
Alcohol etílico	-114	105	78.3	846
Acetona	-94.3	96	56.2	524

Calor específico del hielo $c_i=2090$ J/(kg K)

Calor de fusión del hielo $L_f=334 \cdot 10^3$ J/kg

Calor específico del agua $c=4190$ J/(kg K) =1cal/(g°C)

Calor de vaporización del agua $L_v=2260 \cdot 10^3$ J/kg



5 Resultados obtenidos de la práctica

- 1.
- 2.
- 3.

6 Conclusiones las que abordaste en la practica

- 6.1
- 6.2
- 6.3



7 Desarrolle la siguiente evaluación de la práctica realizada.

a. ¿Cuál es la diferencia entre el calor latente y calor sensible?

.....
.....
.....
.....

b. ¿Cómo determinarías cada uno de ellos?

.....
.....
.....
.....

c. ¿Qué es la capacidad calorífica, calor específico a presión constante y en qué unidades se mide?

.....
.....
.....
.....
.....

d. Mencione tres ejemplos de calor latente:

.....
.....
.....
.....

e. Calcule el calor sensible del agua

.....
.....
.....
.....

f. ¿Cómo calcular el calor latente del agua?

.....
.....
.....
.....
.....
.....



g. Calcule el calor específico del agua (C) en cal y en Joules.

.....
.....
.....
.....

h. Compare el valor obtenido del calor latente con el que aparece en la tabla

.....
.....
.....
.....



Primera unidad

Guía de práctica de Máquinas Térmicas

Práctica N° 4: Procesos de Combustión

Sección:	Fecha:/...../.....	Duración: 90 min
Docente: Ing.....	Tipo de práctica: Individual () Equipo ()	
Apellidos y nombres:		

Instrucciones: Lee detenidamente las indicaciones de la práctica y expresa tus conclusiones pertinentes.

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

- Analizar, desarrollar y calcular el balance de materia de una reacción de combustión.

2. Fundamento Teórico

- Instrumentos y Medidas de temperatura y presión.
- La **reacción de combustión** se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancias llamada combustible con el oxígeno. Es característica de esta reacción la formación de una llama, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, que está en contacto con la sustancia combustible. La reacción de combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o bien con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno, llamada comburente, siendo el aire atmosférico el comburente más habitual. La reacción del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas entre las cuales las más comunes son CO₂ y H₂O. Se denominan en forma genérica productos, humos o gases de combustión. Es importante destacar que el combustible solo reacciona con el oxígeno y no con el nitrógeno, el otro componente del aire. Por lo tanto el nitrógeno del aire pasará íntegramente a los productos de combustión sin reaccionar.

Combustible + Aire = Productos.

- **Gas inofensivo.**- El nitrógeno es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que respiramos en una concentración del 79%. Debido a las altas temperaturas existentes en el motor, el nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno, aunque sea un gas inerte a temperatura ambiente.
- **Gas contaminante.**- El monóxido de carbono, en concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la Hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, en

carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0.3 % en volumen resultan mortales.

- **Composición de los gases de escape en motores de gasolina.** En la figura se muestra la composición química típica de los gases de escape en un motor a gasolina

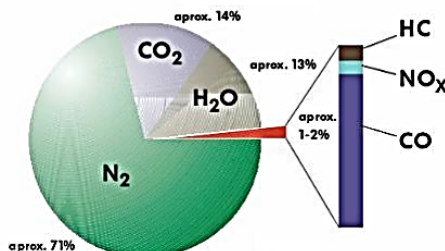


Figura 9.2. Composición química típica de los gases de escape en un motor a gasolina

3 Equipos y Materiales

a. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Termómetro de mercurio	Analógico	1
2	Vaso precipitado	vidrio	1
3	cronómetro	Digital	1

b. Materiales

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Alicate	Universal, corte diagonal,	1
1	Cinta aislante	3m x1000	1
2	Destornillador	Estrella	1
3	Mechero de mesa	pequeño	1
4	Tubo de f° G°	De 1 ½ (0.30 cmts)	1

4 Indicaciones/instrucciones:

- El alumno debe traer los materiales, pudiendo hacerlo en grupos de máximo 4 integrantes.
- Un representante de grupo solicitará al encargado de laboratorio los equipos necesarios para realizar la práctica.
- El equipo a utilizar en el laboratorio por grupo es: Termómetro de mercurio, Vaso precipitado, cronometro.
- El estudiante deberá ingresar al laboratorio con su EPP (Equipo de Protección Personal), caso contrario no podrá hacer su ingreso.

5 Procedimientos:

Identifica tipos de gases:



- a. En primer lugar, obtendrá los parámetros de temperatura teóricamente, teniendo en cuenta el enunciado antes citado
- b. En segundo lugar defenecía y selecciona los tipos de gases producidos en la combustión y sus consecuencias los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son, principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes. Los primeros están formados, fundamentalmente, por nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno.
- c. Luego proceder a identificar los contaminantes están formados, fundamentalmente, por el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y plomo.



Figura 9.1. Humos en el escape de un automóvil

5. Resultados obtenidos de la práctica

1.
.....
.....
.....
2.
.....
.....
.....
3.
.....
.....
.....

6. Conclusiones a las que abordaste en la práctica.

- 6.1.
.....
.....
- 6.2.
.....
.....
- 6.3.
.....
.....



7. Desarrolle la siguiente evaluación de la práctica realizada.

- a. ¿Qué se entiende por combustión?
 - i.
 - ii.
- b. Generalmente, ¿cuáles son los productos de combustión de los motores?
 - i.
 - ii.
- c. Si se quema 1 kmol de butano, establezca:
 - La ecuación de combustión.
 - La relación aire/combustible ideal
 - Los moles de N₂ presentes
- d. ¿Por qué es inconveniente un exceso de aire en un proceso de combustión?
 - i.
 - ii.
- e. ¿Qué entiende por temperatura de inflamación e ignición?
 - i. Temperatura de inflamación
 - ii.
 - iii. Temperatura de ignición
 - iv.
 - v.
- f. ¿Qué es la potencia calorífica de un combustible?
 - i.
 - ii.
- g. Diga si es más eficiente el motor Diesel o la gasolina.
 - i.

Segunda unidad

Guía de práctica de Máquinas Térmicas

Práctica N° 5: Ciclo Rankine

Sección:	Fecha:/...../.....	Duración: 90 min
Docente: Ing.....	Tipo de práctica: Individual () Equipo ()	
Apellidos y nombres:		

Instrucciones: Lee detenidamente las indicaciones de la práctica y expresa tus conclusiones pertinentes.

1 Propósito /Objetivo (de la práctica):

- Analizar e interpretar el proceso de calentamiento y sobrecalentamiento regenerativo durante el ciclo Rankine
- Revisar los conceptos de trabajo, calor, energía y Primera Ley de la Termodinámica

2 Fundamento Teórico

- El trabajo en termodinámica se define de la misma forma que en mecánica clásica: Cuando una parte del medio ejerce una fuerza sobre el sistema y este se mueve una distancia dx desde el punto de aplicación de la fuerza, entonces el medio ha realizado un trabajo sobre el sistema $dW = F dx$, F puede ser una fuerza mecánica, eléctrica o magnética figura 5.1. (LEY DE JOULE)

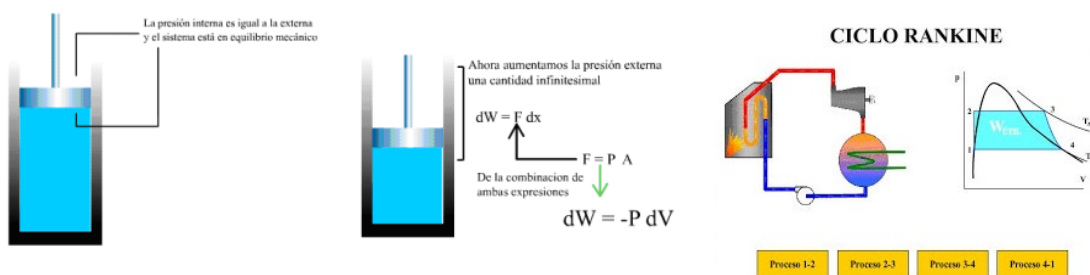


Figura 5.1. Realización de trabajo en un sistema

3 Equipos y Materiales

a. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Multímetro	Digital	1
2	Termómetro de mercurio	Analógico	1
3	Vaso precipitado	vidrio	1
4	cronómetro	Digital	1



b. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Alicate	Universal, corte diagonal,	1
2	Cinta aislante	3m x1000	1
3	Destornillador	Estrella	1
4	Mechero de mesa	pequeño	1
5	Cable	N° 12 (2mts)	1

4 Indicaciones/instrucciones:

1. El alumno debe traer los materiales, pudiendo hacerlo en grupos de máximo 4 integrantes.
2. Un representante de grupo solicitará al encargado de laboratorio los equipos necesarios para realizar la práctica.
3. El equipo a utilizar en el laboratorio por grupo es: Multímetro analógico o digital.
4. El estudiante deberá ingresar al laboratorio con su EPP (Equipo de Protección Personal), caso contrario no podrá hacer su ingreso.

5 Procedimientos:

- a. Con ayuda del multímetro mida el voltaje de línea y el valor de la resistencia del calorímetro.
- b. Agregue 1500 ml de agua al calorímetro (recuerde que para los cálculos debe considerarse la masa equivalente del mismo)
- c. Mida la temperatura inicial del líquido.
- d. Conecte el calorímetro y deje calentar el líquido durante 7 minutos.
- e. Apague el calorímetro.
- f. Mida la temperatura final del líquido
- g. Calcule el trabajo realizado W y el calor suministrado Q
- h. Calcule el equivalente eléctrico del calor JE

6 Describa los resultados obtenidos de la práctica realizada

- 6.1
- 6.2
- 6.3

7 Conclusiones a las que abordaste en la práctica

- 7.1



- 7.2
- 7.3

8 Desarrolle la siguiente evaluación de la práctica realizada.

- 8.1 Defina los conceptos de calor y trabajo:
.....
.....
.....
- 8.2 ¿Qué es una función de trayectoria y una propiedad de estado? Dé un ejemplo de cada una.
.....
.....
.....
- 8.3 ¿Qué diferencia existe entre un proceso reversible e irreversible?
.....
.....
.....
- 8.4 ¿Cómo definiría UD. la eficiencia de un proceso y por qué?
.....
.....
.....
- 8.5 ¿Bajo qué condiciones el calor puede ser positivo o negativo para un sistema?
.....
.....
.....
- 8.6 ¿Qué explica de manera general la Primera Ley de la Termodinámica?
.....
.....
.....



8.7 ¿A qué se debe que un trabajo pueda ser de expansión o de compresión para una misma cantidad de gas y una temperatura constante?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

8.8 ¿El valor calculado coincide con el encontrado en la bibliografía?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Segunda unidad

Guía de práctica de Máquinas Térmicas

Práctica N° 6: Ciclo Brayton

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 90 min
 Docente: Ing..... Tipo de práctica: Individual () Equipo ()
 Apellidos y nombres:

Instrucciones: Lee detenidamente las indicaciones de la práctica y expresa tus conclusiones pertinentes.

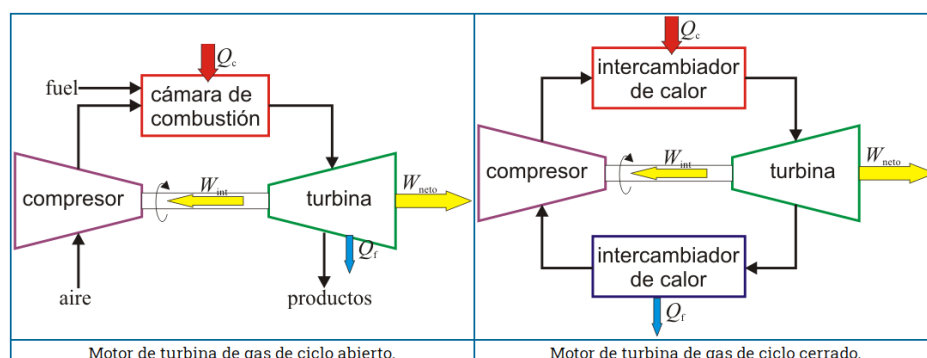
1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

- Analizar e interpretar el proceso de calentamiento y sobrecalentamiento regenerativo durante el ciclo Brayton.
- El alumno será capaz de manejar un diagrama psicrométrico, como un auxiliar para diversos cálculos que se utilizan en instalaciones de aire acondicionado.

2. Fundamento Teórico

- Un **ciclo Brayton** (o Joule) ideal modela el comportamiento de una turbina, como las empleadas en las aeronaves. Este ciclo está formado por cuatro pasos reversibles, según se indica en la figura. Pruebe que el rendimiento de este ciclo viene dado por la expresión siendo $r = p_B / p_A$ la relación de presión igual al cociente entre la presión al final del proceso de compresión y al inicio de él.

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{(\gamma-1)/\gamma}}$$



3. Equipos y Materiales

a. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Laptop	Windows	1
2	Termómetro de mercurio	Analógico	1
4	cronómetro	Digital	1



b. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	software	Cyclepad	1

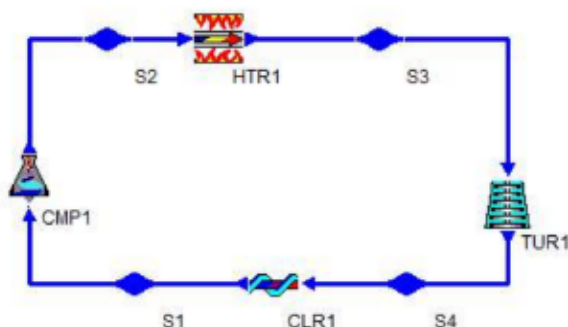
4. Indicaciones/instrucciones:

- a. El alumno debe traer los materiales, pudiendo hacerlo en grupos de máximo 4 integrantes.
- b. Un representante de grupo solicitará al encargado de laboratorio los equipos necesarios para realizar la práctica.
- a. El equipo a utilizar en el laboratorio por grupo es: Termómetro de mercurio
- b. El estudiante deberá ingresar al laboratorio con su EPP (Equipo de Protección Personal), caso contrario no podrá hacer su ingreso.

5. Procedimientos:

5.1 Implementar el funcionamiento de un ciclo Brayton ideal con aire como fluido de trabajo.

1. A partir de los elementos básicos diseñe un ciclo Brayton ideal usando el análisis de ciclo abierto con software cyclepad como se observa en la sig figura



2. En el modo análisis utilice los siguientes procesos en cada uno de los elementos del ciclo

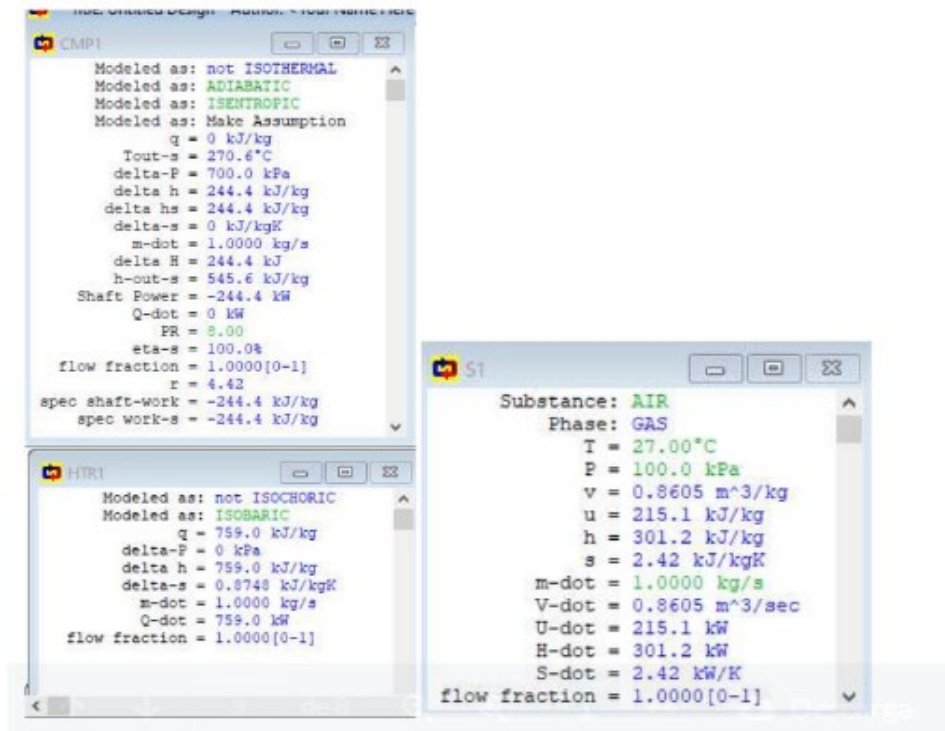
compresor	calentador	Turbina	enfriador
Adiabático Isoentrópico PR=8	isobárico	Adiabático isoentrópico	isobárico

3. Asignar los siguientes valores a las propiedades de los estados termodinámicos

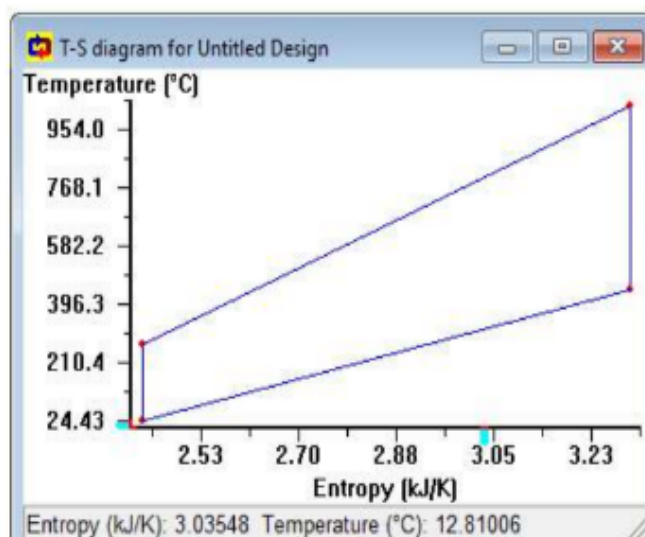
S1	S3
Aire	T=1027°C
T=27°C	
P=100kPa	
m=1Kg/s	



4. Checar que todos los estados estén definidos, de lo contrario revisar información faltante en algún estado.



5. Incluya el diagrama TS que puede obtener de la información que exporte de el menú Cycle después Cicle ts diagram

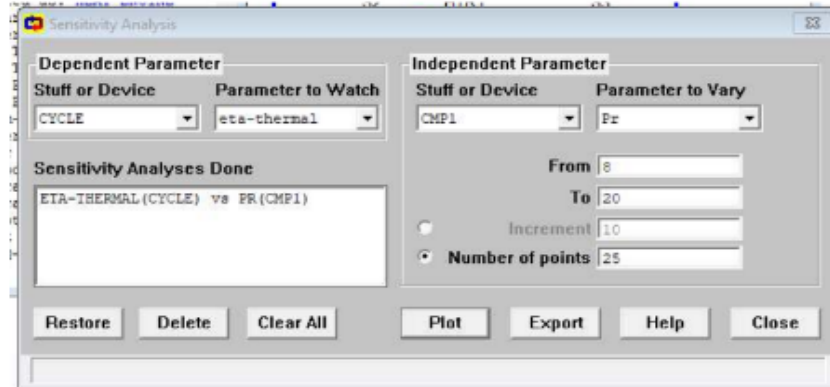


6. En la tabla cicle selecciona cicle propietis y obtenga los valores:

	valor	Unidades
Wneto	340	kW
Eficiencia termica	44.8	%



7. Realizar un análisis de sensibilidad observando el comportamiento de la eficiencia térmica vs la relación de presión. En la barra de herramienta seleccionar Tools y después sensitivity como se observa en la siguiente figura fiutilice incrementos de uno fl



8. Realice el gráfico que relaciona la eficiencia térmica con la relación de presión exporte los datos y anexe una tabla

Rp	8	10	12	14	16	18	20
Eficiencia térmica	44.8	48.38	50.74	52.88	54.66	56.21	57.61

Determine el trabajo neto y la eficiencia El ciclo al cambiar los procesos isoentrópico a procesos reales en compresor y turbina de acuerdo a la siguiente tabla

Compresor	calentador	turbina	enfriador
no isentrópico	Isobárico	no isentrópico	isobárico

6. Resultados obtenidos de la práctica

- 6.1
- 6.2
- 6.3

7. Conclusiones a las que abordaste en la práctica.

- 7.1
- 7.2



7.3
.....
.....
.....

8 Explique de forma detallada el procedimiento de la práctica y evidencia mediante un esquema o diagrama de bloques

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



Segunda unidad

Guía de práctica de Máquinas Térmicas

Práctica N° 7: Identificación de componentes según su eficiencia y eficacia

Sección:	Fecha:/...../.....	Duración: 90 min
Docente: Ing.....	Tipo de práctica: Individual () Equipo ()	
Apellidos y nombres:		

Instrucciones: Lee detenidamente las indicaciones de la práctica y expresa tus conclusiones pertinentes.

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

- Analizar e interpretar los componentes de una planta térmica según su eficiencia y eficacia

2. Fundamento Teórico

En este capítulo se muestra la metodología necesaria para cumplir con los objetivos establecidos.

Ésta se puede dividir en cuatro grupos:

- Combustión y retención de azufre.
- Eficiencia térmica (basándose en la norma ASME PTC 4.0)
- Cálculo de flujo másico de combustible.
- Validación y análisis de resultados.

Los datos necesarios son los análisis de combustibles, exceso de aire, nivel de emisiones y temperatura, presión y flujo másico de algunos puntos. Para estos últimos tres se utiliza un programa de la empresa E-CL, Aspen IP 21.

Combustión y retención de azufre. En esta etapa se realiza un modelo de la combustión del carbón con un exceso de aire dado. Lo primero que se debe tener son los cálculos de la combustión estequiometría, para luego con el exceso de aire, determinar la cantidad de moles de aire que están en juego en la reacción (ver Figura 3-1)



Figura 3-1 Combustión operacional.



Los datos que se tienen para empezar con el modelo son el exceso de aire y la composición del carbón (en base seca). Los resultados de esta reacción son los productos de la combustión, con mayor interés en el dióxido de azufre, en función del combustible. Una vez realizada la reacción de combustión se procede con la retención de azufre. El primer paso es el cálculo de las emisiones sin caliza, basándose en los productos (en volumen) obtenidos en la combustión. En otras palabras, se calcula la concentración volumétrica de los productos. Luego, con las reacciones de calcinación y sulfatación y la relación calcio azufre se tiene una estimación de la cantidad de caliza (en mol) en función del azufre. Ahora, para poder determinar la cantidad de caliza en función del carbón, se debe usar la herramienta resolver de Excel, en donde el objetivo será alcanzar un nivel de emisiones dado (Figura 3-2)

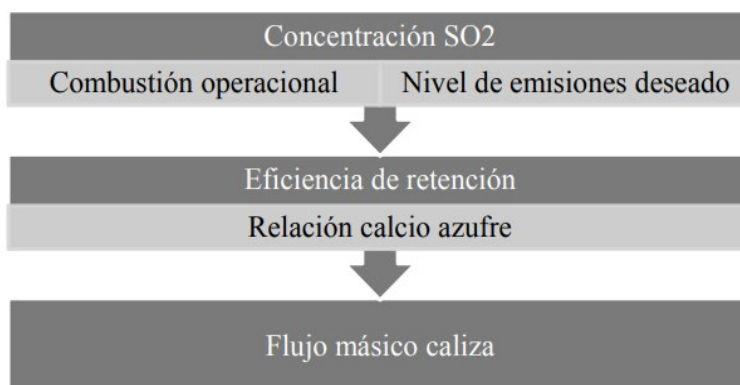


Figura 3-2 Flujo másico caliza

5.1 En resumen, el objetivo de esta etapa es calcular la cantidad de caliza en función de la cantidad de carbón, teniendo como entradas la composición del combustible, el exceso de aire y el nivel de emisiones que se quiere alcanzar.

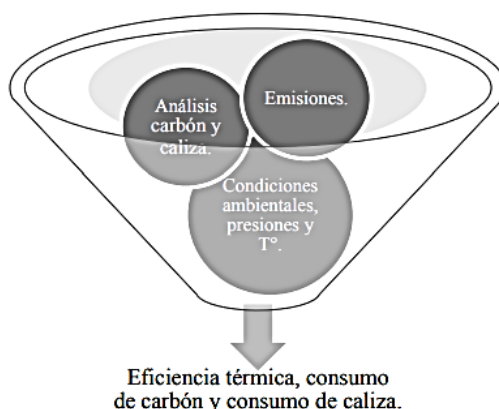


Figura 3-3 Entradas y salidas modelo de cálculo de eficiencia térmica.

3. Equipos y Materiales

a. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Motor de combustión interna	Motor de gasolina	1



2	Termómetro infrarrojo	laser	1
---	-----------------------	-------	---

b. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Carbón	Granulado /pulverizado	500 mg
2	Caliza	Granulado /pulverizado	500 mg
3	azufre	Granulado /pulverizado	500 mg
4	Gasolina	90 °	1 litro

4. Indicaciones/instrucciones:

- a. El alumno debe traer los materiales, pudiendo hacerlo en grupos de máximo 4 integrantes.
- b. Un representante de grupo solicitará al encargado de laboratorio los equipos necesarios para realizar la práctica.
- c. El equipo a utilizar en el laboratorio por grupo es: motor de combustión y el termómetro laser.
- d. El estudiante deberá ingresar al laboratorio con su EPP (Equipo de Protección Personal), caso contrario no podrá hacer su ingreso.

5. Procedimientos:

Las entradas del modelo son las siguientes:

- 5.2 En primer lugar se realizara el análisis de carbón y de caliza como recibido y en base seca. Es posible tenerlo en una base y con las fórmulas de la Tabla 2-4 convertirlo a otra.
- 5.3 Además del análisis de carbón se debe seleccionar qué carbón se va a utilizar, el que puede ser uno sólo o una mezcla.
- 5.4 El modelo está implementado para una mezcla máxima de cuatro carbones.
- 5.5 Para el análisis de emisiones: Se debe ingresar que concentración de dióxido de azufre se fija como objetivo. El modelo está configurado para cumplir con la norma de emisiones para centrales termoeléctricas, es decir, no debe superar los 400%.
- 5.6 Del mismo modo considerar las condiciones ambientales, presiones y temperaturas y flujo másico de fluido de trabajo: En caso de querer analizar cuál será la eficiencia de un determinado carbón, estos datos son los del informe de prueba promedio. Si se quiere calcular la eficiencia térmica de un día se ocupan los datos de Aspen IP 21. Estas condiciones operacionales permiten calcular el calor disponible en la caldera. Como salidas se tienen:
- 5.7 Para finalizar también medir y analizar la eficiencia térmica del carbón en función de su composición.
 - a. Flujo másico de carbón que se requiere para alcanzar la eficiencia térmica calculada.
 - b. Flujo másico de caliza necesario para cumplir con las emisiones de que fueron ingresadas al modelo.



6. Resultados obtenidos

6.1
.....
.....
.....
6.2
.....
.....
.....
6.3
.....
.....
.....

7. Conclusiones a las que abordaste en la práctica.

7.1
.....
.....
7.2
.....
.....
7.3
.....
.....

8 Dibuje el proceso de medida y análisis de la práctica



Segunda unidad

Guía de práctica de Máquinas Térmicas

Práctica N° 8: Curvas características de una planta térmica

Sección: Fecha:/...../..... Duración: 90 min
 Docente: Ing..... Tipo de práctica: Individual () Equipo ()
 Apellidos y nombres:

Instrucciones: Lee detenidamente las indicaciones de la práctica y expresa tus conclusiones pertinentes.

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

- Analizar e interpretar la correcta identificación y valoración de las curvas características que comprenden la operación de una planta térmica.

2. Fundamento Teórico

Nomenclatura requerida:

- **Pg**. Potencia Eléctrica de Salida (kW)
- **a, b** Coeficientes de las curvas de Entrada-salida
- **c** Coeficiente independiente de las curvas de entrada-salida
- **R** Estatismo de la unidad térmica (Hz/MW)
- **Req** Estatismo equivalente del área térmica (Hz/MW)
- **H** Constante de inercia de la máquina sincrónica
- **Δf** Variación de frecuencia
- **D** Amortiguamiento de la carga
- **Pm** Potencia mecánica
- **Pe** Potencia eléctrica
- **Pa** Potencia acelerante
- **B** Factor de conversión de desvío de Frecuencia (MW/Hz)

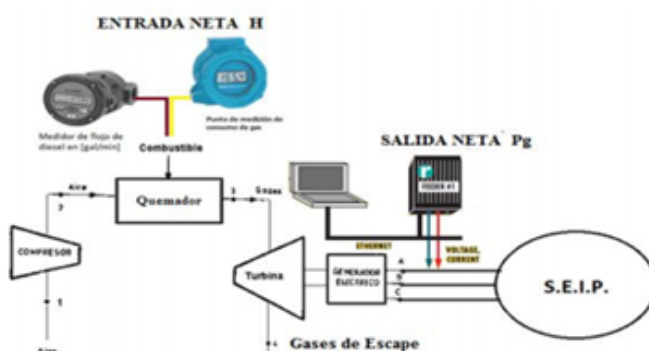


Figura 2: Esquema de Entrada-Salida para una Central Térmica a Gas

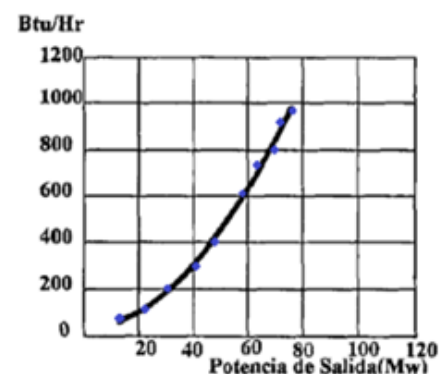


Figura 3: Curva Entrada - Salida

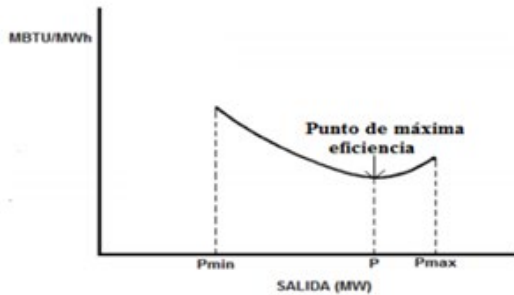


Figura 4: Consumo Específico (Heat Rate) de una Central con Turbina a Gas

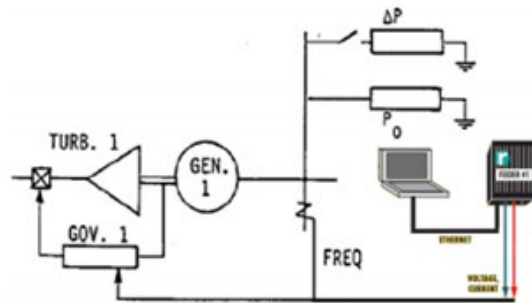


Figura 5: Esquema de componentes de la prueba de toma o rechazo de carga

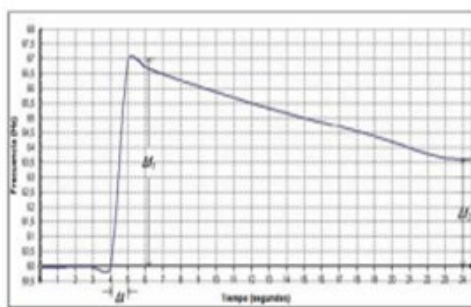


Figura 6: Respuesta de la frecuencia frente a la prueba de rechazo de carga

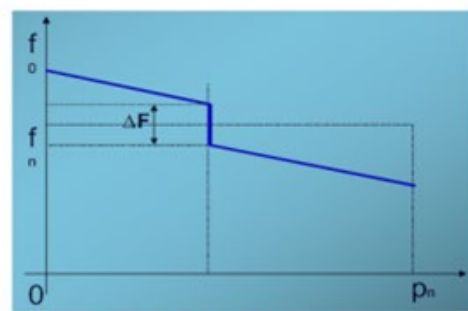


Figura 7: Banda Muerta de Regulación de frecuencia

3. Equipos, Materiales y Reactivos

a. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	laptop	Windows 10	1

b. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Hojas cansón	A4	10
2	Rapidograf	Tinta líquida	3
3	Reglas graduadas	De pvc	1
4	transportador	Común	1
5	Corrector de tinta	Común	1
6	borrador	común	1

4. Indicaciones/instrucciones:

1. El alumno debe traer los materiales, pudiendo hacerlo en grupos de máximo 4 integrantes.
2. Un representante de grupo solicitará al encargado de laboratorio los equipos necesarios para realizar la práctica.
3. El equipo a utilizar en el laboratorio por grupo es una laptop.
4. El estudiante deberá ingresar al laboratorio con su EPP (Equipo de Protección Personal), caso contrario no podrá hacer su ingreso.



5. Procedimientos:

- a. Primero descargar la información de la página oficial del COES SINAC.
<http://www.coes.org.pe/portal/>
- b. Representar las curvas de entrada– salida de las unidades de generación térmica con turbinas a gas del Sistema Eléctrico Interconectado de Petroproducción (SEIP). Dentro de estas curvas se encuentran:
 - curva de costos de generación,
 - curva de energía térmica,
 - curva de costo incremental,
 - curva de consumo específico
 - curva de eficiencia.
- c. Luego proceder a analizar las curvas características que se muestra en una determinada operación del sistema.

6. Resultados obtenidos

6.1
.....
.....

6.2
.....
.....

6.3
.....
.....

7. Conclusiones a las que abordaste en la práctica

7.1
.....

7.2
.....

7.3
.....

8. Representar las curvas características y fundamentar la practica

Referencias bibliográficas

- Chester, D. Electricidad industrial. (Vol. 1 y 2). McGraw-Hill Companies
- Corrales Martín, J., Cálculo Industrial de Máquinas Eléctricas, Tomo II, Marcombo Boixerau Editores, 1982
- CHAPMAN, Stephen J.: Maquinas eléctricas. Segunda edición. México, DF. : McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V., 199
- Fernández I. (2015) termodinámicas y maquinas térmicas
Recuperado de
- Mataix, C. (2015). Turbomáquina térmicas. Madrid, España: ICAI.
- Muños, M. (2016). Maquinas Térmicas. Lima, Perú
- Roldán Viloria, J. "MOTORES ELECTRICOS. VARIACION DE VELOCIDAD". Editorial Paraninfo. Madrid. 1993.

Recurso digital:

- <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Vapor/PDFs/05Tvapor.pdf>
- **THERMOPTIM** (software especializado gratis para termodinámica)
<https://direns.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/es/co/s24es-modelo-una-turbina-es.html>