

13
2 esam



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON

MANUAL DE LABORATORIO DE LA PLANTA DE VAPOR "CUSSONS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ING. MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
MAURICIO EDGAR HERNANDEZ CASTRO

FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CAPITULO	4	PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACION Y PARO DEL EQUIPO.	
	4.1	Precauciones y recomendaciones	49
	4.2	Procedimiento para antes de arrancar	49
	4.3	Procedimiento de arranque	50
	4.4	Procedimiento de paro	52
CAPITULO	5	INSTALACION DEL EQUIPO	
	5.1	Características generales del laboratorio	54
	5.2	Suministros necesarios para la operación del equipo	57
	5.3	Cotización para la instalación del equipo	61
CAPITULO	6	PROPUESTA DEL DESARROLLO DE PRACTICAS EN EL EQUIPO	
	6.1	Práctica No. 1 La eficiencia y Balance de Energía en la Caldera	66
	6.2	Práctica No. 2 Transferencia de Energía al Sistema - - Máquina / Generador y al Sistema del Condensador	75
	6.3	Práctica No. 3 Balance Térmico de la Planta de Vapor	81
		ANEXO : Tablas de Lecturas Experimentales sobre el Equipo y Ejemplo.	86
		CONCLUSIONES	100
		BIBLIOGRAFIA	101

CAPITULO 1

INTRODUCCION

La utilización de la fuerza motriz para ayudar al hombre en sus más duros trabajos ha sido, históricamente, el principal aportador del progreso en la vida humana. En particular refiriéndose al uso del vapor, encontramos su primer aplicación destinada a la obtención de energía; en la turbina de reacción de Hero. Hombres como Thomas Newcomen y James Watt contribuyeron en mucho a perfeccionar los mecanismos que permiten utilizar la energía térmica contenida en el vapor.

Thomas Newcomen, un herrero de gran habilidad, inventó una máquina térmica consistente en un cilindro, abierto por arriba, por cuyo interior se deslizaba un émbolo. Este iba unido por una cadena a uno de los extremos de un balancín fijo por su punto medio, y cuyo otro extremo llevaba un contrapeso capaz de levantar el émbolo. El vapor introducido bajo éste expulsaba el aire, y al consiguiente enfriamiento y condensación del vapor, producido por medio de un chorro de agua, al crear un vacío parcial, permite a la presión atmosférica impulsar el émbolo hacia abajo. Watt vio claramente la necesidad de evitar el alternativo calentamiento y enfriamiento del cilindro y su "innovación" consistió en producir la condensación del vapor en otro recipiente la "cámara de vacío" que redujo el consumo de vapor en un 75%.

Una máquina de vapor con este perfeccionamiento pudo impulsar una bomba hidráulica y mover los fuelles de un horno de fundición.

La invención de la Máquina de vapor propició la transición del trabajo artesanal a la producción masiva y dio origen a una verdadera revolución social y económica a fines del siglo XVIII y principios del XIX así mismo los enormes avances de nuestra época han sido posibles, fundamentalmente, debido al uso de la energía eléctrica, al aprovechamiento del petróleo y más recientemente al empleo de la energía nuclear. Los hidrocarburos y el carbón, que en última instancia son producto de la energía solar, siguen al sol en orden de importancia como fuente de energía térmica, que liberan calor al quemarse.

Una de las principales aplicaciones de la Planta de Vapor es el uso de sus principios fundamentales en la obtención de energía aprovechable para las diversas necesidades del hombre. A lo largo de su historia la humanidad ha ido aumentando el consumo de energía para tener el grado de comodidad de que goza actualmente, pero siempre y parece que ahora más acentuadamente, se ha tenido que enfrentar a la búsqueda de mejores fuentes de energía y sobre todo a buscar la forma óptima de aprovechar tales fuentes. Además el hombre tiene la necesidad de fuentes continuas de energía, pues sólo de esta manera puede producir lo necesario para la cada día más abundante población mundial.

Una vez hechas algunas referencias importantes acerca de la importancia del vapor de agua como fluido de trabajo en una máquina de vapor, prosigo con una breve justificación de este trabajo de tesis que fue realizado tomando en cuenta la necesidad de utilizar un equipo que reafirma los conocimientos teóricos acerca de una planta de generación de potencia mediante vapor, esto se logra con la adquisición de la planta de vapor " CUSSONS " , la cual es un equipo que fue adquirido por la Escuela Nacional de Estudios Profesionales " Aragón " para cubrir dichas necesidades y enriquecer con ello los conocimientos teóricos y prácticos sobre los conceptos generales del vapor de agua ; Así también como el uso y aprovechamiento de esta planta de vapor.

No hay que perder de vista que el apoyo práctico experimental que se realizará en este equipo de procedencia inglesa, promoverá la investigación en las nuevas y futuras generaciones que de esta escuela egresan.

A continuación se da una breve descripción sobre el contenido del presente trabajo.

El Capítulo 1. Contempla una breve introducción, que involucra un panorama general sobre la importancia del vapor y se da así mismo la justificación a la realización del presente trabajo.

En el Capítulo 2. Se manejan los conceptos generales, y trata de la explicación de los conceptos teóricos sobre el vapor de agua, seguido de las definiciones que di

rectamente están involucradas en el comportamiento del mismo, bajo diferentes condiciones de trabajo, además se contemplan los diferentes ciclos que son generados de potencia mediante el vapor.

Se incluyen las aplicaciones directas del vapor en las distintas centrales generadoras de energía eléctrica que utilizan vapor como fluido de trabajo.

Por último en este capítulo se dan los aspectos teóricos sobre los cuales se fundamenta la planta de vapor " CUSSENS " .

En el capítulo 3. Se da la descripción del equipo, en una forma breve, pero comprensible todos los componentes que incluyen la planta de vapor para su buen uso y funcionamiento, una vez que se encuentre operando.

En el capítulo 4. Trata del procedimiento para la operación y paro del equipo en orden secuencial práctico, todo esto hecho bajo recomendación del fabricante.

Se contemplan también los cuidados que se deben tener con el equipo, para lo cual se dan las recomendaciones correspondientes.

En el capítulo 5. Es la instalación y ubicación de la planta de vapor en el laboratorio de térmica y fluidos, este capítulo tiene como finalidad instalar el equipo en el mejor y más adecuado lugar, esto significa que se requiere para su buen funcionamiento de los siguientes suministros como son, agua y gas principalmente y además contar con un espacio adecuado en el cual se pueda operar el equipo sin problemas. Y en consecuencia un mejor desarrollo de las prácticas.

Describo de una manera específica las características generales del laboratorio, ubicación de los equipos y además también el lugar donde se instalara la planta de vapor.

También se da la cotización del material utilizado en la instalación del equipo.

El capítulo 6. Es la propuesta del desarrollo de prácticas con el equipo , esto con el fin de dar un apoyo más a la teoría vista en clase. Esta información será de utilidad en las materias de Termodinámica, Ingeniería Térmica I, II, IV y Laboratorio de Máquinas Térmicas entre otras.

En síntesis este trabajo trata de ser una herramienta más en el laboratorio de térmica que podrá ser utilizada para aumentar la versatilidad en la impartición de prácticas.

CAPITULO 2

CONCEPTOS GENERALES.

2.1 El Vapor de Agua.

El agua es esencial, no sólo para los procesos biológicos, sino también para una mirada de modernas tecnologías tan diversas como la fabricación de papel, la producción de cemento, la meteorología y el procesamiento de alimentos. Es el principal medio de transferencia de calor para los procesos industriales y para la calefacción de estructuras comerciales y residenciales.

Las industrias que actualmente se desarrollan para sintetizar petróleo y gas a partir del carbón y para aprovechar la energía geotérmica no existirían sin el agua. Y para nuestro objeto de estudio el agua es indispensable en la producción del vapor, ya que en la industria eléctrica éste es el fluido de trabajo que impulsa las turbinas.

La energía necesaria para la producción del vapor y la generación de electricidad puede obtenerse de diferentes fuentes, es decir, a partir de la combustién del gas con el aire o de algún combustible o puede ser a partir de la fisión nuclear del uranio, o de algunas otras fuentes naturales como lo es la energía geotérmica y la energía solar.

El uso del vapor para generar fuerza eléctrica es utilizado a gran escala ya que es uno de los servidores más confiables porque con el paso del tiempo el vapor sigue haciendo más y más trabajo para el hombre, por ejemplo, para impulsar buques navales, en muchos procesos industriales, en la calefacción, sin descartar claro, la utilización de este fluido en las plantas generadoras de electricidad.

Las plantas de vapor se clasifican según su capacidad para producir vapor y van desde las pequeñas para alimentar un hogar, hasta las empleadas en las estaciones generadoras de electricidad.

Lo mencionado anteriormente da una clara idea de la importancia que tiene el vapor de agua en la actualidad, razón de más para ampliar un tanto su estudio en cuanto a las propiedades termodinámicas de este fluido de trabajo.

Un método sencillo de análisis es realizando la calorimetría del vapor, para ello existen varios tipos de calorímetros, pero entre los más utilizados

se encuentra el de estrangulamiento.

El laboratorio de máquinas térmicas cuenta con un banco de pruebas de vapor el cual contempla un calorímetro de estrangulamiento.

Un calorímetro es un instrumento que se utiliza para determinar la calidad del vapor. Se fundamenta en el principio de que si al vapor se le estrangula y a continuación se le expande sin realizar trabajo o sin pérdida de calor la energía total del vapor permanecerá invariable.

Algunas definiciones importantes que describen el estado de una sustancia fluida como el vapor de agua y que nos serán de utilidad posterior son :

Calidad del Vapor. Puede ser factor de sequedad o recalentamiento en general, las propiedades de los gases pueden obtenerse de ecuaciones sencillas, como la Ley General de los Gases, usando relativamente pocas constantes.

Entalpía. Es un término que expresa la combinación de la energía molecular interna, trabajo producido por la expansión y trabajo producido por el flujo, se expresa como :

$$h = u + PV$$

Entropía. Mide la fracción de energía calorífica que no se puede utilizar para convertirla en trabajo mecánico.

La entropía no tiene una escala absoluta de valores; pero lo que siempre considera es el cambio de entropía.

Energía Interna. Es la energía que posee un cuerpo simple y sencillamente por estar constituido de materia. Al transferir energía en forma de calor o de trabajo al sistema, la energía interna, se ve alterada. Como la energía transferida en forma de calor es un trabajo microscópico, su efecto sobre un sistema termodinámico es equivalente a la misma cantidad de trabajo transferido.

Calor Sensible. Es definido como el calor que provoca un cambio de temperatura en una sustancia. Como su nombre lo indica, el calor que puede percibirse por medio de los sentidos.

Calor Latente. Es el que se necesita para cambiar un sólido en líquido o un líquido en gas sin variar la temperatura de la sustancia.

La palabra latente significa " OCULTO ", o sea que este calor requerido para cambiar el estado de una sustancia, no es percibido por los sentidos.

Temperatura de Saturación. Saturación es la condición de temperatura y presión en la cual el líquido y el vapor pueden existir simultáneamente. Un líquido o vapor está saturado cuando está en su punto de ebullición.

(para el nivel del mar, la temperatura de saturación del agua es de 100°C)
A presiones más altas la temperatura de saturación aumenta, y disminuye a presiones más bajas.

Vapor Sobrecalentado. Cuando un líquido cambia a vapor, cualquier cantidad adicional de calor aumentará su temperatura (calor sensible), siempre y cuando la presión a la que se encuentra expuesto se mantenga constante. El término vapor sobrecalentado se emplea para denominar un gas cuya temperatura se encuentra arriba de su punto de ebullición o saturación. El aire a nuestro alrededor contiene vapor sobrecalentado.

Líquido Subenfriado. Cualquier líquido que tenga una temperatura inferior a la temperatura de saturación correspondiente a la presión existente, se dice que se encuentra subenfriado. El agua a cualquier temperatura por debajo de su temperatura de ebullición (100°C a nivel del mar) está subenfriado.

Volumen Específico. El volumen específico de una sustancia se define como el número de centímetros cúbicos ocupados por un kilogramo de esta sustancia, y en el caso de líquidos y gases, varía con la temperatura y con presión a la cual se somete la sustancia. Siguiendo la ley del Gas Perfecto, el volumen de un gas, varía tanto con la temperatura como con la presión. El volumen de un líquido varía con la temperatura.

Densidad. Se define como el peso por unidad de volumen y se expresa normalmente en kilogramos por metro cúbico. Puesto que por definición la densidad está directamente relacionada al volumen específico, la densidad de un gas puede variar grandemente con los cambios de presión y temperatura,

2.2 CICLOS GENERADORES DE POTENCIA MEDIANTE VAPOR DE AGUA.

2.2.1 El Ciclo de Vapor de Carnot.

La Eficiencia Térmica de un ciclo motriz alcanza su nivel máximo si todo el calor que se obtiene de fuentes de energía ocurre a la máxima temperatura posible y toda la energía eliminada a sumideros ocurre a la mínima temperatura posible. La eficiencia térmica de un ciclo reversible que opera en estas condiciones es la eficiencia de CARNOT, dada por la relación de.

$$(T_H - T_L) / T_H$$

Un ciclo teórico que satisface estas condiciones es el ciclo de la Máquina Térmica de Calor.

En resumen, un ciclo de Carnot está compuesto de dos procesos isotérmicos reversibles y dos procesos adiabáticos reversibles (o procesos isoentrópicos). Si el fluido de trabajo aparece en las fases líquida y de vapor. Durante diferentes partes del ciclo, los diagramas Ts del ciclo serán entonces similares al que se muestra en la figura (2.1) .

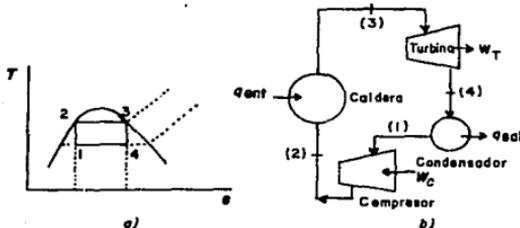


FIGURA: 2.1 EL DIAGRAMA T_s Y EL ESQUEMA DEL EQUIPO DE UN CICLO GENERADOR DE POTENCIA DE CARNOT CON VAPOR.

En este ciclo el fluido de trabajo es agua. En el estado (1) se comprime isoentrópicamente vapor húmedo hasta el líquido saturado del estado (2). A esta presión, se suministra energía a presión constante hasta que el agua se evapora completamente al vapor saturado del estado (3).

Luego se permite que el vapor se expanda isoentrópicamente en una turbina hasta el estado (4). Entonces vapor húmedo que sale de la turbina de vapor se condensa parcialmente a presión constante hasta regresar al estado (1). La eficiencia térmica del ciclo es, por su puesto, la máxima para cualquier máquina que opere entre las temperaturas T_1 y T_2 está dada por $(T_2 - T_1) / T_2$. Sin embargo, el ciclo de Carnot no es de uso práctico con fluidos que sufren cambios de fase, ya que en primer lugar, es difícil comprimir isoentrópicamente una mezcla de dos fases, como lo requiere el proceso (1 - 2). En segundo lugar. El proceso de condensación (4 - 1) debería controlarse en forma precisa para alcanzar la calidad deseada. y En tercer lugar. En la eficiencia de un ciclo de Carnot influye grandemente la temperatura T_2 a la cual se entrega energía.

2.2.2 El Ciclo de Rankine.

Este ciclo es la base de la generación de energía de las plantas Termoeléctricas de nuestro país en la actualidad; También es la base sobre la cual se diseñó la Máquina de Vapor que tan popular fue en las locomotoras. El esquema simplificado de las máquinas que constituyen un ciclo Rankine y su arreglo se puede ver en la figura (2.2).

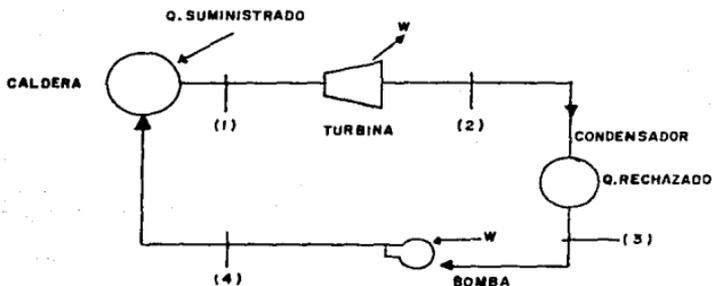


FIGURA: 2.2 ESQUEMA DEL CICLO RANKINE.

Básicamente está formado por una turbina donde el vapor saturado se expande y realiza un trabajo haciendo girar la turbina, un condensador después de la turbina donde el vapor expandido, húmedo y a baja presión se condensa hasta transformarse en líquido saturado completamente y a la misma presión, la condensación se realiza debido a que se retira energía al vapor por medio de agua a menor temperatura.

Después del condensador se tiene una bomba la cual eleva la presión del líquido saturado hasta tener la presión necesaria para que entre a la caldera como líquido subenfriado, en la caldera se suministra calor al líquido subenfriado a presión constante hasta que se transforma en vapor saturado y en condiciones de volver a entrar en la turbina y reiniciar el ciclo. En la figura (2.3) podemos ver los distintos procesos que componen el ciclo Rankine Ideal.

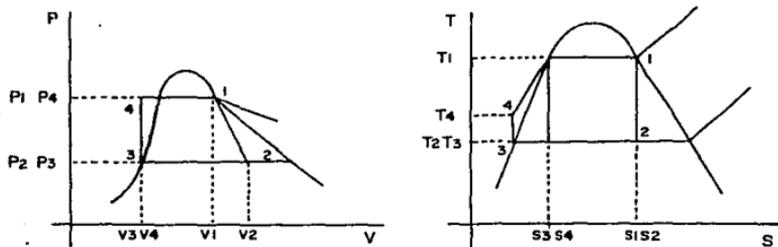


FIGURA: (2.3) DIAGRAMA PRESIÓN-VOLUMEN Y TEMPERATURA ENTROPIA DEL CICLO RANKINE.

Tanto en el diagrama Presión - Volumen como en el Temperatura - Entropía el proceso (1-2) que se lleva a cabo en la turbina es un proceso de expansión inoentrópico, donde la presión baja de P1 a P2, el proceso (2-3) es un cambio de fase y por lo tanto es isotérmico e isobárico y se realiza en el condensador, el proceso (3-4) es un proceso isoentrópico donde la presión del líquido se aumenta de P3 a P4 ; Por último el proceso (4-1) que consta de dos procesos, los cuales se realizan a presión constante por medio de sumi

nistro de calor, llevando primero, el líquido subenfriado hasta su temperatura de saturación y después evaporando el líquido saturado hasta tener vapor saturado y reiniciar el ciclo.

Especialmente en el diagrama T-S se puede ver que este ciclo tiene un gran parecido con el ciclo de Carnot descrito anteriormente, pero su eficiencia es menor, debido a que el proceso de adición de calor no se realiza a temperatura constante, esto último se debe a la imposibilidad de diseñar una bomba que maneje una mezcla de líquido y vapor que resulte práctica, o a diseñar una bomba que eleve la presión del líquido hasta muy altas presiones, lo cual hace que dicha bomba sea de una robustez impráctica.

Ahora bien, mientras más pendiente tengan las líneas de saturación del diagrama T - S de la sustancia, más se podrá aproximar el ciclo de Rankine al ciclo de Carnot, además el fluido debe tener una alta entalpía de vaporización para que la sustancia pueda recibir más energía a la temperatura alta, es por esto, por la abundancia y bajo costo por lo que el fluido que más se usa para este ciclo es el agua, aunque en algunos casos especiales se usan otros fluidos como Mercurio, Sodio, etc.

Para obtener la eficiencia del ciclo ideal basta encontrar el trabajo neto que es la suma del trabajo de la turbina y del trabajo de la bomba mediante la aplicación de la 1 Ley de la Termodinámica, en condiciones de flujo y estado estable, se tiene :

$$W_{tur} = h_1 - h_2$$

$$W_{bom} = h_4 - h_3$$

$$W_{neto} = W_{tur} - W_{bom}$$

$$W_{neto} = (h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)$$

El calor suministrado en la caldera, se obtiene de igual forma que para la turbina y la bomba, es decir :

$$q_{sum} = q_1 = h_1 - h_4$$

Siendo la eficiencia :

$$\eta = \frac{W_{\text{neto}}}{q_{\text{sum}}}$$

Sustituyendo :

$$\eta = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)}$$

Lo cual podemos escribir como :

$$\eta = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_3) - (h_4 - h_3)}$$

Generalmente el trabajo de la bomba es despreciable y finalmente podemos escribir la eficiencia como:

$$\eta = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_4)}$$

Una manera de elevar la eficiencia térmica del ciclo es aumentando la entalpía del vapor saturado de la caldera de modo de obtener vapor sobrecalentado realizando este proceso a presión constante ; este sobrecalentamiento tiene dos ventajas : Aumenta la temperatura media a la cual se suministra calor, aumenta por tanto la eficiencia, la segunda ventaja es que a la turbina entra un vapor sobrecalentado que durante la expansión sigue siendo vapor por evitando así la erosión de las paletas de la turbina que se tiene por las gotas de líquido que entran a la turbina cuando se le suministra vapor saturado el cual empieza a condensarse durante la expansión.

2.2.3 Ciclo con Recalentamiento.

En el ciclo Rankine ideal se logra aumentar la eficiencia mediante el uso de una sección de sobrecalentamiento; En general, este proceso eleva la temperatura promedio a la que se suministra calor al ciclo, aumentando así la eficiencia teórica del ciclo. Se puede lograr una mejoría equivalente en la temperatura promedio durante el proceso de suministro de calor si se aumenta la presión máxima del ciclo, es decir, la presión de la caldera. Esto origina un aumento en el costo inicial del generador de vapor (caldera y sobrecalentador) a causa de la mayor presión que debe contener: Pero en un

período de varios años la mayor eficiencia de toda la unidad puede compensar con creces este factor.

Sin embargo para una temperatura máxima fija en el generador de vapor, un aumento en su presión produce una disminución en la calidad de vapor que sale de la turbina. Para evitar el problema de la erosión y aprovechar las temperaturas más elevadas que se hacen accesibles al aumentar la presión de la caldera se inventó el ciclo con recalentamiento.

En el ciclo con Recalentamiento no se deja que el vapor se expanda completamente en un sólo paso hasta la presión del condensado.

Después de una expansión parcial, el vapor es extraído de la turbina y se recalienta a presión constante: en seguida, se regresa a la turbina para una ex

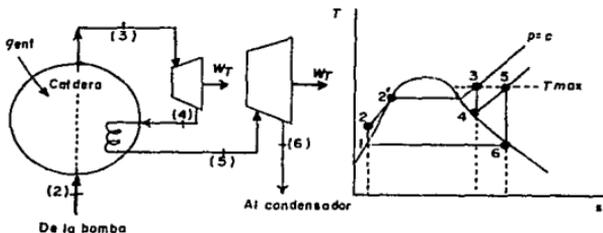


FIGURA: (2.4) ESQUEMA DEL EQUIPO Y DIAGRAMA T_s CON RECALENTAMIENTO

pansión adicional hasta la presión de escape.

Se puede considerar que la turbina consiste de dos etapas, una de alta y la otra de baja presión. La figura (2.4) ilustra el ciclo con recalentamiento en un diagrama T_s y un esquema del equipo.

Generalmente la posición del estado 4 después de la primera etapa de expansión se acerca a la línea de saturación. Tras el recalentamiento hasta el estado 5 de la figura (2.4) la temperatura es igual o ligeramente menor que la temperatura a la entrada de la primera etapa de la turbina.

Al seleccionar la trayectoria 4-5 del recalentamiento se debe tener sumo cuidado, porque puede ocurrir que la temperatura promedio del proceso de recalentamiento sea menor que la temperatura promedio del proceso 2-3 del sumi

nistro de calor.

Por lo tanto, el recalentamiento no necesariamente aumenta la eficiencia térmica del ciclo Rankine Básico. No obstante, el uso correcto del recalentamiento eliminará la inconveniencia del elevado contenido de humo en el escape de la turbina y además aumentará la eficiencia Térmica, más aún una presión del recalentamiento que maximizará la eficiencia Térmica para los valores dados de P₃, T₃, T₅ y P₆ de la figura (2.4) con valores convencionales de estos parámetros la eficiencia máxima del ciclo ideal con recalentamiento suele ocurrir cuando el cociente P₄/P₃ está en la región de 0.15 a 0.35. Al calcular la eficiencia térmica de un ciclo con recalentamiento, tómesese en cuenta la salida de trabajo de las dos etapas de turbina, así como las dos entradas de calor: a la sección de la caldera-sobrecalentador y la de recalentamiento. Con la notación de la figura (2.4) la eficiencia térmica es :

$$\eta_T = \frac{(h_3 - h_4) + (h_5 - h_6) - W_p}{(h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)}$$

2.2.4 Ciclo Regenerativo.

El ciclo de potencia de vapor con regeneración ideal que se muestra en la figura (2.5) se realiza de la manera siguiente :

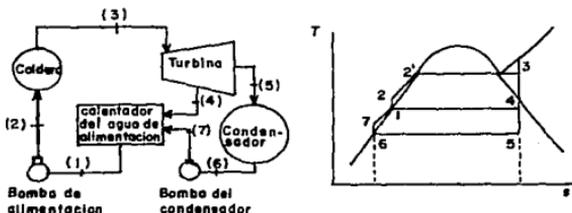


FIGURA: (2.5) ESQUEMA DEL EQUIPO Y DIAGRAMA T_s DE UN CICLO IDEAL CON VAPOR REGENERATIVO CON UN CALENTADOR ABIERTO DEL AGUA DE ALIMENTACION.

Parte del vapor sobrecalentado que entra a la turbina en el estado (3) se extrae de la turbina en el estado (4), que es un estado intermedio en el proceso de expansión en la turbina. El vapor extraído se conduce a un inter cambiador de calor, que recibe el nombre de calentador del agua de alimenta ci ón. La porción del vapor que no se extrajo se expande completamente hasta la presión del condensador (estado 5) y se condensa a líquido saturado en el estado (6). En seguida, una bomba aumenta isoentrópicamente la presión del líquido que sale del condensador hasta la misma presión del vapor pre viamente extraído. Luego, el líquido comprimido del estado (7) entra al calentador de agua de alimentación, en donde se mezcla directamente con la corriente que se extrajo de la turbina. A causa de este proceso de mezcla di recto, el calentador de tipo abierto o de contacto directo: En la si tuación ideal, los flujos de las dos corrientes que entran al calentador se ajustan de manera que el estado de la mezcla que sale de él sea un líquido saturado a la presión del calentador (estado 1) una segunda bomba aumenta isoentrópicamente la presión del líquido hasta el estado (2), que corres ponde a la presión del generador de vapor.

2.2.5 Ciclo Binario.

De acuerdo con la ecuación de la eficiencia de Carnot para la conversión de energía térmica en mecánica, es evidente que el suministro de calor al fluí do de trabajo debe ocurrir a la máxima temperatura posible.

Sin embargo debe tomarse en cuenta que el uso de altas temperaturas depende de la disponibilidad de materiales que pueden soportar dichas condiciones. La tecnología de los materiales ha limitado el ciclo de potencia de vapor a unos 560°C (1050°F) y el ciclo de turbina de gas industrial a unos 1000 a 1200°C (1800 a 2200°F) cuando la tecnología perfecciona materiales que re sisten temperaturas más altas, podrá ser posible operar un ciclo del tipo Rankine a temperaturas que actualmente están reservadas al ciclo de turbina de gas. En tal caso, sería preferible usar un ciclo distinto al del agua. La gran desventaja del agua es su temperatura crítica. Al usar una caldera, el calor se suministra al fluido a temperatura constante y relativamente ba ja. Esta entrega de calor a baja temperatura podría mejorarse parcialmente si se utilizara una sustancia a una temperatura crítica más elevada.

Se ha descubierto que las propiedades de los metales alcalinos son muy apropiados para los ciclos Rankine de alta temperatura, los más promisorios son el potasio, sodio y sus mezclas. Además de sus propiedades termodinámicas convenientes como su presión de vapor y capacidad calorífica, tienen coeficientes de transferencia de calor razonablemente altos. En consecuencia, el tamaño de cualquier intercambiador de calor se reduce considerablemente. Este ciclo se ha propuesto para la generación de energía (Eléctrica) en vehículos espaciales.

Por ejemplo, la temperatura máxima de un ciclo Rankine que opere con potasio podría alcanzar los 1200 C ó (2200 F). El grado de sobrecalentamiento a la entrada de la turbina podría ser de 30 a 80 C ó (50 a 150 F). La presión de vapor del potasio a 1150 C es de aproximadamente 13.5 Bar (200 lb/pulg² a 2100 F).

La temperatura de condensación puede bajar a los 600 C , (1100 F), con una presión de vapor de (0.17 bar) lo cual equivale a (1100 F) y una presión de vapor de (2.5 lb/pulg²). Estos límites de temperatura dan una relación de expansión en la turbina de 80, que es relativamente alta cuando se usan sólo dos etapas de expansión. Por lo tanto, la relación de expansión impone un límite inferior práctico a razón de temperaturas (mínima entre máxima) del ciclo. Los ciclos Rankine de potencia típicos para operar en el espacio están limitados por las temperaturas del ciclo las cuales son del orden de 0.65 a 0.75. En consecuencia, su eficiencia es bastante baja, de aproximadamente 25% menor.

En cuanto a las aplicaciones espaciales, la razón de las temperaturas del ciclo tienen una ventaja; como la temperatura de condensación es elevada, la del fluido en el circuito de inyección de calor también es alta. Una temperatura elevada del radiador de eliminación produce un radiador de tamaño pequeño, por la transferencia de calor radiante por unidad de área varía con la temperatura.

El uso de metales alcalinos en un ciclo Rankine de alta temperatura para aplicaciones espaciales ha renovado el interés por los ciclos de potencia con vapor binarios. Un ciclo binario es aquel en el cual el calor extraído durante el proceso de eliminación de calor de un ciclo de potencia se usa como la entrada de calor para otro ciclo. Anteriormente se observó que la temperatura de condensación de un ciclo con potasio oscila con una temperatura de aproximadamente 600 °C ó (1100°F).

El calor que se extrae a esta temperatura se podría proporcionar a un ciclo Rankine que opere con vapor y que deseché el calor a la temperatura atmosférica. Como un ciclo funciona a temperaturas superiores a las del otro, con frecuencia al ciclo de alta temperatura se le llama ciclo superior o de cubierta.

La figura (2.6) muestra un esquema del equipo y el diagrama T_s de un ciclo binario que usa potasio y agua. En el diagrama T_s sólo se indica una parte de la curva de saturación del potasio y los procesos están idealizados. De hecho, en el ciclo del potasio se desprecia el trabajo de la bomba. En la práctica, debe tomarse en cuenta la operación irreversible, así como la posible presencia de una sección de recalentamiento y calentadores del agua de alimentación en el ciclo con vapor. Además, el suministro de calor en el ciclo con vapor podría ser supercrítico.

En la figura (2.6) se observa que hay una diferencia finita entre la temperatura de la caldera-sobrecalentador del ciclo con vapor.

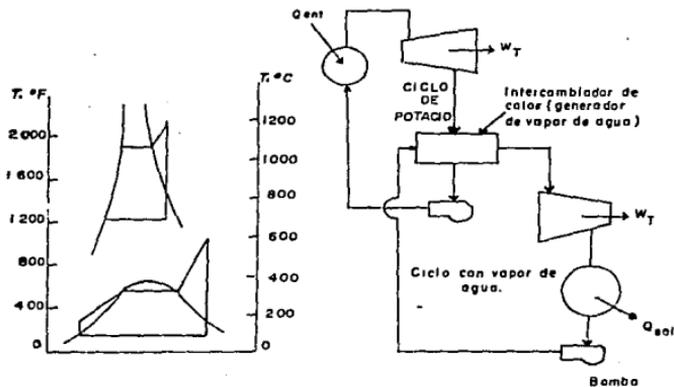


FIGURA: (2.6) ESQUEMA DEL EQUIPO Y DIAGRAMA T_s DE UN CICLO DE POTENCIA BINARIO CON VAPOR EN EL QUE PARTICIPAN VAPOR DE AGUA Y .. POTASIO .

Con valores razonables de las temperaturas y de las eficiencias de la turbina y la bomba, la eficiencia térmica predicha en un ciclo de potasio fluctúa entre un 20 30 % cuando se usa un ciclo de potasio como ciclo superior de un ciclo con vapor, la eficiencia térmica del ciclo binario completo puede aceg car se al 50 ó 60 %. Sin embargo existe una desventaja del ciclo binario que es el alto costo de la inversión lo cual resulta despreciable conforme amen ta el costo de los combustibles.

2.3 CENTRALES ELECTRICAS QUE UTILIZAN VAPOR

El descubrimiento de que el vapor de agua podía mover también una rueda de aspas, incrementó de manera decisiva las posibilidades de generar energía eléctrica, sin más límite que la posibilidad de obtener la energía térmica necesaria para la producción de vapor.

El objeto de una central de fuerza motriz es la producción de energía con el máximo rendimiento posible, compatible con las condiciones económicas existentes, esta es la finalidad, tanto si la energía se produce quemando directamente un combustible, como ocurre en los motores de combustión interna.

El tipo de central que proporcione mejores condiciones económicas será pues, el que deberemos considerar preferentemente.

2.3.1 CENTRALES TERMOELECTRICAS.

La finalidad de una planta térmica, es convertir la mayor cantidad posible de la energía calorífica producida en ella en energía mecánica y eléctrica.

La energía térmica se obtiene de la combustión, que es una reacción química de naturaleza exotérmica. Actualmente las centrales termoeléctricas suministran alrededor del 60 % de la electricidad que se consume en el país.

El vapor se produce en grandes recintos cerrados denominados calderas cuyas paredes, pisos y techos se encuentran cubiertos por tubos llenos de agua.

En el interior del recinto se quema algún combustible, y el calor que se desprende hace hervir el agua en el interior de los tubos produciéndose el vapor de agua que mueve a la turbina y que posteriormente es condensado y regresado a la caldera.

Existen dos tipos de Centrales Termoeléctricas:

1. Las que utilizan Carbón y
2. Aquellas que consumen gas natural o petróleo.

En nuestro país se han empleado casi exclusivamente las del segundo tipo, debido a la carestía del carbón mineral y a la conveniencia de destinar nuestras reservas para fines más productivos.

En la fig. (2.7) se muestra el proceso que se lleva a cabo para la generación de la energía eléctrica.

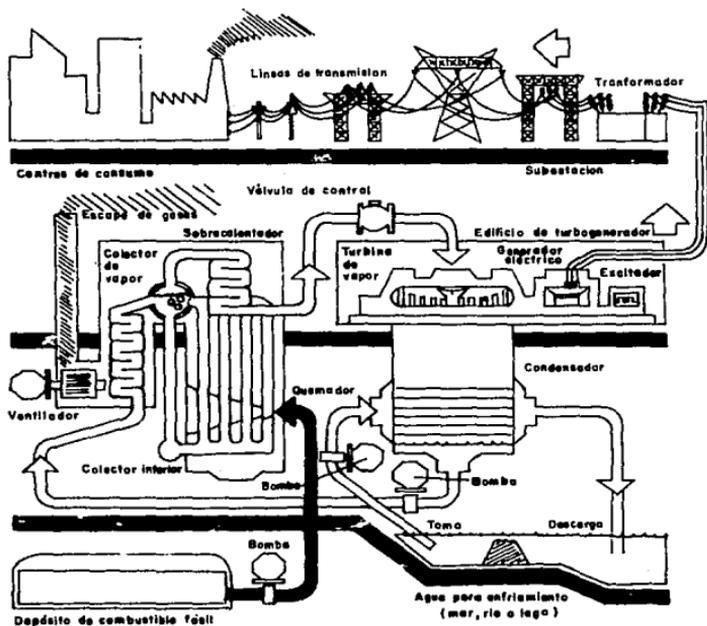


FIGURA: 2.7 DIAGRAMA DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA.

2.3.2 CENTRALES GEOTERMoeLECTRICAS.

En algunas regiones es posible obtener energía calorífica directamente del subsuelo, a la cual se le denomina energía geotérmica. Las centrales que utilizan dicha energía reciben el nombre de geotermoelectricas. Ver la figura (2.8).

Un aprovechamiento geotérmico está constituido por un conjunto de elementos cuya interacción determina el rendimiento que de él pueda esperarse. Para comprender como interactúan dichos elementos es necesario entender cuáles son ellos y como funcionan. En términos generales puede decirse que son tres a saber: El yacimiento, el equipo de superficie y los pozos que ligan a uno y otro.

El equipo de superficie está formado por la turbina y sus accesorios, así como por todos los dispositivos que llevan hasta la turbina la parte del fluido térmico que ésta máquina puede aprovechar para generar energía eléctrica. Entre estos dispositivos se encuentran los separadores, los silenciadores, los equipos de vaporización ó " Flasheadores " , las válvulas, las tuberías y los aforadores.

Los pozos, que se perforan hacen contacto con mantos o estratos saturados de agua, que muestran una presión aproximadamente igual a la de una columna hidrostática, de altura similar a la profundidad del manto. Normalmente basta la columna de agua para equilibrar dicha presión; en consecuencia con el propósito de que el pozo inicie el flujo de vapor, se requiere " aligerar " la columna, lo cual puede lograrse utilizando diferentes técnicas.

Para poder utilizar la energía contenida en la mezcla de agua y vapor es necesario separar ambas fases utilizando un separador centrífugo instalado en cada pozo, enviando el vapor a la central geotermoelectrica por medio de ductos de vapor, en cuyas trayectorias se han instalados válvulas de corte, trampas de agua y separadores de humedad, localizados estos últimos inmediatamente a la central.

El agua separada, se descarga a una laguna en la cual una parte se evapora, o bien através de un silenciador de descarga, a la presión atmosférica, los silenciadores, además de disminuir el ruido, reducen al mínimo la energía cinética del agua en donde, una vez separadas las fases agua-vapor se mide el gasto de la fase líquida.

Actualmente se tiene instalada una central en Cerro Prieto, Baja California y otra en los Azufres Michoacán; se han encontrado otras regiones como los - Humeros Puebla, y la Primavera Jalisco, y se llevan a cabo estudios para determinar la conveniencia de utilizar estos y otros sitios.

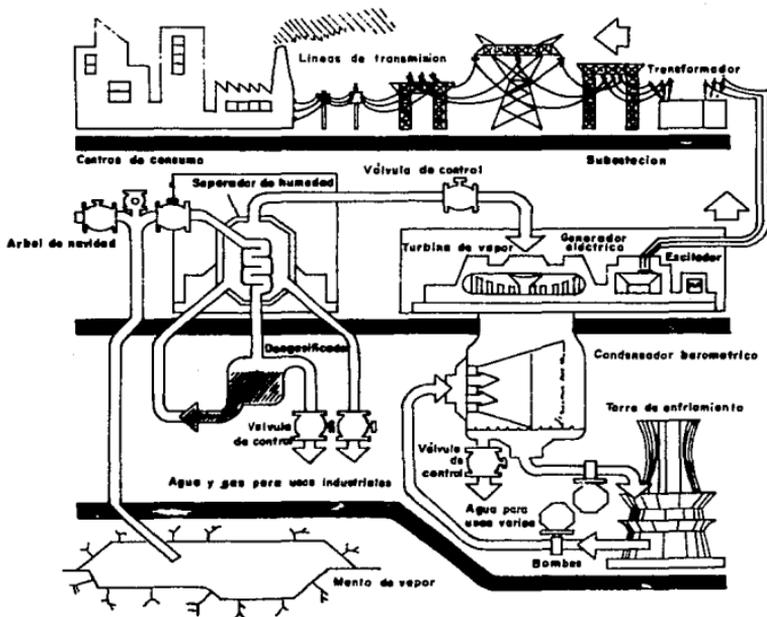


FIGURA: 2.8 DIAGRAMA: DE UNA CENTRAL GEOTERMICA.

2.3.3 Centrales Nucleoeléctricas.

Las Centrales Nucleoeléctricas funcionan con el mismo principio que las centrales Térmicas convencionales : Se utiliza calor para producir vapor. En las Térmicas convencionales el calor se obtiene de la combustión de carbón o de hidrocarburos: Combustóleo y gas. En las Nucleoeléctricas el calor se obtiene de la fisión del uranio.

Como se mencionó al hablar de las fuentes de energía térmica, el procedimiento más reciente para producir grandes cantidades de energía, consiste en partir o fisiónar núcleos de un tipo de uranio que tiene 235 partículas en su núcleo, llamado Uranio 235.

En las Centrales Nucleoeléctricas se aprovecha la energía producida en el reactor.

La energía de las fisiones que ocurren en el reactor, hace que se caliente el agua en la vasija. Esta agua, lo mismo que sucede en otras centrales Térmicas de carbón o combustóleo, se convierte en vapor para mover una turbina e impulsar al generador donde se produce electricidad.

Las Centrales Nucleoeléctricas resultan muy rentables, ya que es muy poca la cantidad de combustible que necesitan, debido al elevado contenido energético del uranio enriquecido. Por ejemplo, una central Nucleoeléctrica necesita 27 toneladas de combustible, mientras que harían falta 3,950.000 toneladas de carbón, 10'540,000 barriles de combustóleo ó 1,668 millones de metros cúbicos de gas para generar la misma cantidad de energía anuales. El poder energético de una pastilla de combustible cuyo peso sea de 10 gramos equivale al de 3.9 barriles de combustóleo.

En la actualidad se tienen avances notables en cuanto a la primera central nuclear de este tipo en el país.

Con base en las consideraciones anteriores y en los objetivos y estrategias que señala el Programa Nacional de Energéticos, con respecto a la necesidad de diversificar el aprovechamiento de las fuentes de energía y de lograr un ahorro en la utilización de recursos no renovables, así como de usar eficientemente la capacidad instalada para la producción de electricidad, queda claro que la alternativa más adecuada para un país como el nuestro es la última; Es decir, optar por una solución mixta. Ello le confiere a la central de Laguna Verde una excepcional importancia, ya que los resultados que arroje su operación y la experiencia que se obtenga de ella, contribuirán a delinear el futuro del programa nucleoelectrico. Ver la figura (2.9) .

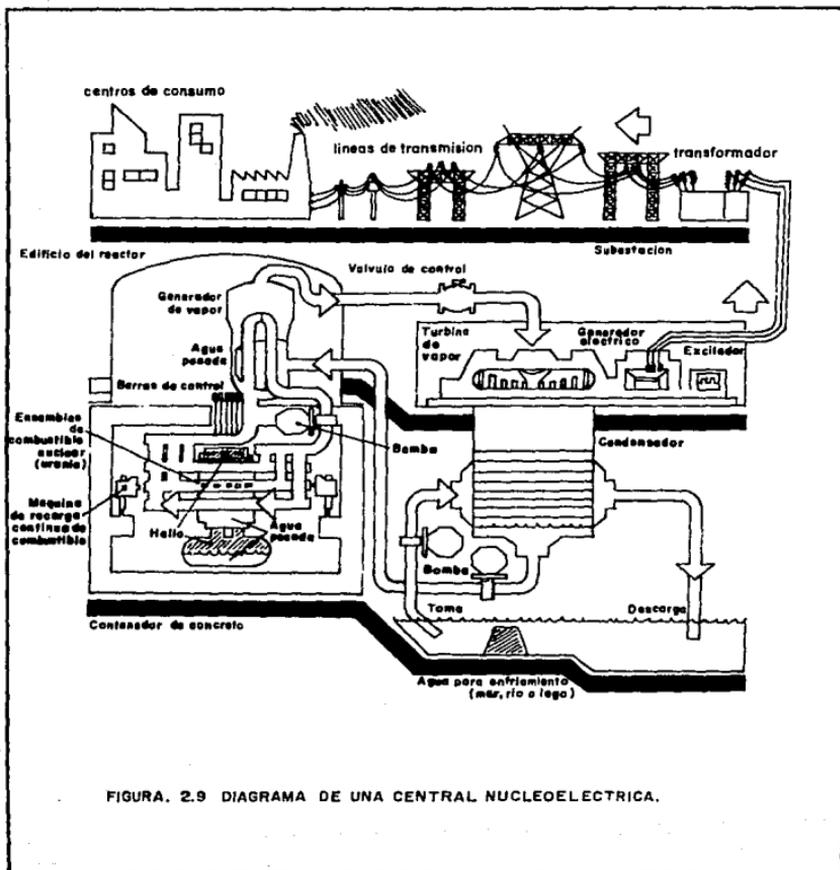


FIGURA. 2.9 DIAGRAMA DE UNA CENTRAL NUCLEOELECTRICA.

2.4 ASPECTOS TEORICOS DE LA PLANTA DE VAPOR " CUSSONS "

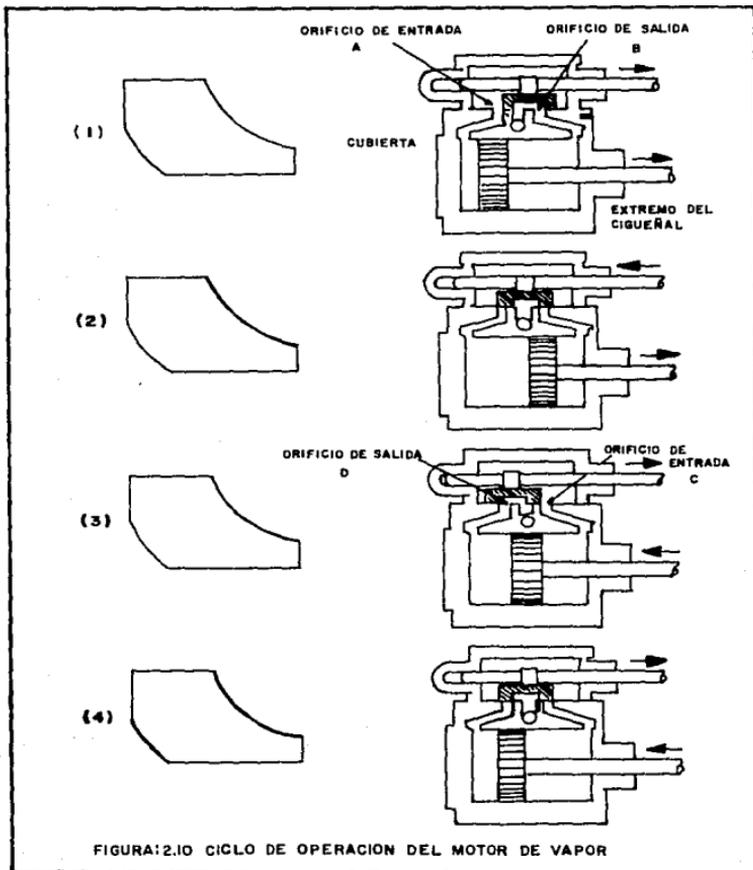
La información que se presenta tiene la finalidad de proporcionar todos los elementos teóricos de la planta de vapor " Cussons " es decir, se presentan ciclos de operación, diagramas, y expresiones para el cálculo de los parámetros importantes. Se pretende que esta información también sea de mucha utilidad en el desarrollo de las prácticas que se proponen en el presente trabajo.

2.4.1 CICLO DE OPERACION DEL MOTOR DE VAPOR.

La función del motor es convertir la energía calórica contenida en el vapor en energía de rotación en la flecha. El vapor se expande en el cilindro del motor realizando trabajo sobre el pistón del motor, el motor es de doble acción, es decir el vapor es admitido en ambos lados del pistón. La admisión del vapor es controlada por una válvula la cual cierra y abre los orificios de admisión. Ver la figura (2.10).

El Ciclo de Operación es el siguiente:

1. El movimiento de la válvula abre el orificio de entrada "A" y el orificio de salida "B" el vapor es admitido en la parte superior del pistón empujándolo hacia abajo.
2. Otro movimiento de la válvula cierra el orificio de entrada interrumpiendo el suministro de vapor. El vapor se expande en el cilindro, empujando el pistón hacia abajo del cilindro con una caída de presión resultante, el vapor en el cilindro, en la otra cara del pistón es forzado a salir por el orificio de salida.
Cerca del final de la carrera el orificio de salida es cerrado, y queda atrapada una cantidad de vapor en el cilindro, este vapor es comprimido para dar doble efecto para el movimiento reciprocante.
3. Cuando el pistón alcanza el extremo de su carrera el movimiento de la válvula abre el orificio de entrada "C" y el orificio de salida "D" , y los eventos descritos en el punto (1) se repiten.
4. Los eventos descritos en el punto (2) se repiten pero con el vapor actual do sobre el pistón y este a su vez sobre el cigüeñal.



Trabajo realizado en el cilindro.

Esta cantidad sería el trabajo realizado por el recorrido si la presión del vapor permaneciera constante.

A través de la longitud del recorrido. El mantener una presión constante es anti-económico. En la práctica el suministro del vapor es interrumpido a una fracción de la carrera y se deja que se expanda como se muestra en los diagramas de las figuras (2.11) (a-b), y su expresión es :

$$P \times A \times L$$

Donde :

P = Presión del vapor

A = Area de la Sección transversal del pistón.

L = Longitud de la carrera

Presión x área = fuerza ejercida sobre el pistón.

El trabajo realizado es = Fuerza x Distancia media en la Línea de Acción.

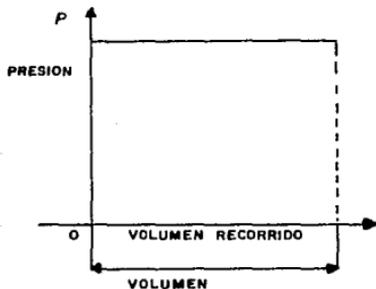


FIGURA: (2.11)(a)
DIAGRAMA DE PRESION CONSTANTE

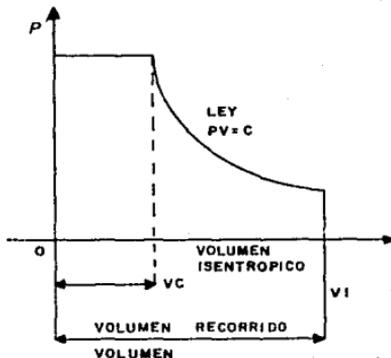


FIGURA: (2.11) (b)
DIAGRAMA DE EXPANSION ISENTROPICA

Esta es una gráfica que representa la relación entre la presión del vapor y su volumen durante una carrera.

El área contenida por la curva es el trabajo realizado durante una carrera. El trabajo realizado está representado por el área bajo las curvas, la expansión teórica del vapor en la figura (2.11) . b) es hiperbólica es decir la línea de expansión sigue la ley matemática $PV=C$ comparando los diagramas, el área bajo la curva en la figura (2.11) (b) es aproximadamente 3/4 del área en la figura (2.11) (a) pero aproximadamente a sólo 1/3 de la cantidad del vapor que es usado.

2.4.2 DIAGRAMA TEORICO.

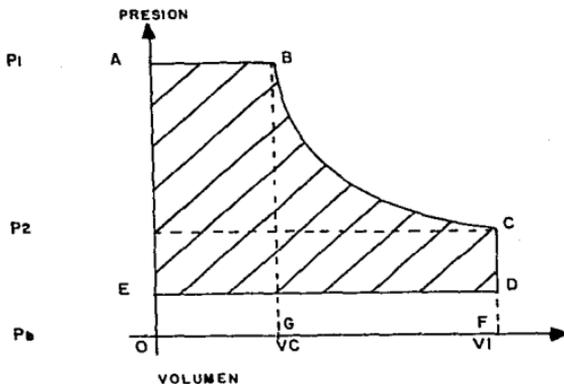


FIGURA: (2.12) DIAGRAMA TEORICO

El vapor es admitido en " A " a una presión P_1 , en el punto " B " el suministro de vapor es interrumpido. El vapor se expande de " B " hasta " C " . La relación entre la presión y el volumen sigue la ley matemática $PV=C$. En el punto " C " hay una caída de presión instantánea. El vapor es entonces desalojado a una presión constante P_b .

El trabajo total ideal realizado esta representado por el área sombreada en la figura (2.12) .

El trabajo ideal realizado es igual al área A,B,G,O + área B,C,F,G, - área E,D,F,O .

$$\text{El área A,B,G,O} = P_1 \times V_c$$

El área B,C,F,G, puede ser mostrado, que el área bajo la curva de la Ley $PV=C$ es igual $PV_1 \log_e r$;

Donde :

r = Es el radio de expansión:

Es decir, V_1/V_C

$$\text{El área B,C,F,G} = P_1 V_c \log_e \frac{V_1}{V_c} \text{ y}$$

$$\text{el área E,D,F,O} = P_b V_1$$

es decir :

$$\begin{aligned} \text{El trabajo ideal realizado es} &= P_1 V_1 + P_1 V_c \log_e \frac{V_1}{V_c} - P_b V_1 \\ &= P_1 V_c (1 + \log_e \frac{V_1}{V_c}) - P_b V_1 \end{aligned}$$

2.4.3 Presión Media Efectiva (P.M.)

La presión media efectiva (P_m) está definida como aquella presión la cual, actúa sobre el pistón. A través de una carrera completa y que producirá la misma transferencia de trabajo. y está dada por la expresión:

$$P_m V_1 = P_1 V_c (1 + \log_e \frac{V_1}{V_c}) - P_b V_1$$

$$P_m = \frac{P_1 V_c (1 + \log_e V_1/V_c) - P_b V_1}{V_1}$$

$$\text{Desde } \frac{V_1}{V_c} = r \quad \frac{1}{r} = \frac{V_c}{V_1}$$

$$P_m = \frac{P_1 (1 + \log_e r)}{r} - P_b$$

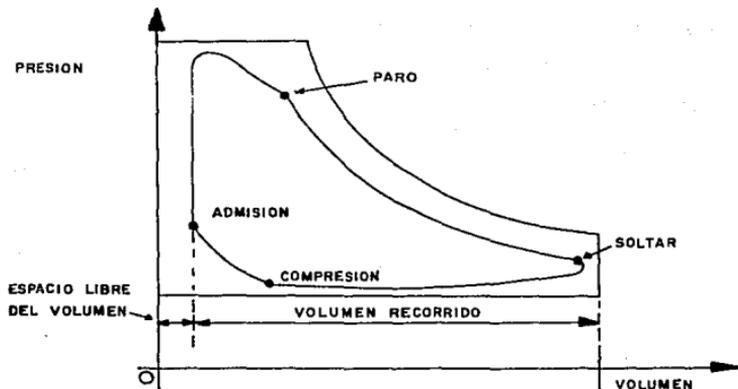


FIGURA: 2.13 DIAGRAMA REAL .

2.4.4 DIAGRAMA REAL.

El diagrama del indicador obtenido de un motor real diferirá del ideal en la siguiente forma :

1. Existe siempre un volumen muerto en un motor real.
2. Debido a la caída de presión en la línea de vapor y al doble efecto de las válvulas , la presión del vapor es menor que la presión en la caldera y este disminuye ligeramente hasta que ocurre la interrupción del suministro de vapor.
3. El cierre de la válvula no es instantáneo, sin embargo el paro no es un punto definido.
4. La curva real es menor que la ideal debido a la condensación de una parte del vapor sobre las paredes del cilindro.
5. Al soltarse toma tiempo para abrir la válvula, esto produce la parte redondeada del diagrama.
6. La contrapresión real es siempre más alta que la ideal.
7. La válvula de descarga cierra antes del final de la carrera del pistón, y queda atrapada una cantidad de vapor en el cilindro. Este vapor actúa como un amortiguador relevando de esta forma los esfuerzos en la flecha de pistón.

8. El vapor que queda es admitido antes del final de la carrera.

Las limitaciones anteriores tienen el efecto de reducir el área efectiva del diagrama. Esto significa que el trabajo neto realizado y la presión - media efectiva son menores que los valores ideales.

2.4.5 Factor de Diagrama K_d

$$K_d = \frac{\text{AREA DEL DIAGRAMA REAL}}{\text{AREA DEL DIAGRAMA IDEAL}}$$

Es decir: $P_m \text{ REAL} = K_d \times P_m \text{ IDEAL}$

Donde: ($K_d = 0.8$ para efecto de está máquina).

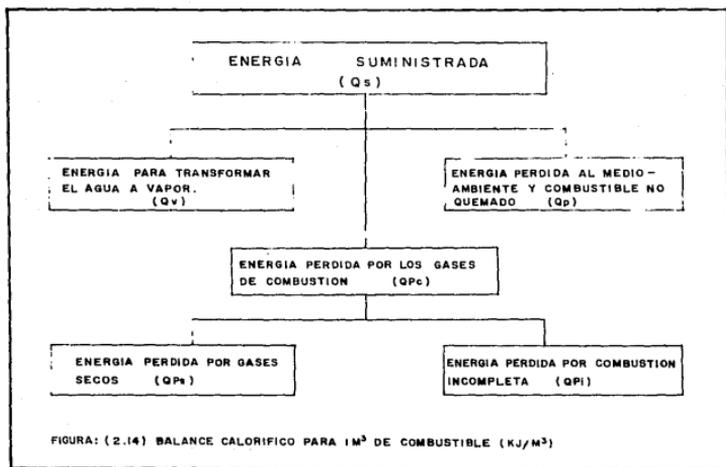
A continuación tenemos en la figura (2.14) el cuadro representativo del - balance calorífico para 1 m^3 de combustible.

Este cuadro clasifica las pérdidas que tiene la energía suministrada para la generación del vapor, la clasificación se hace con referencia a los diferentes tipos de transmisión de energía a su paso, para realizar un trabajo.

Al finalizar esta clasificación se hace referencia a ellas sin tener que - utilizar todo el enunciado por el cual se clasificó, esto es.

Energía suministrada (Q_s), energía perdida por gases secos (Q_{ps}).

Ahora, al enunciarlos únicamente se dira (Q_s , ó Q_{ps}) en este caso sabremos a que se refiere.



(Q_s)

Este valor en (kJ/m³) es la energía suministrada por (1m³) de combustible y se obtuvo de la tabla de datos publicada por el proveedor, o es obtenida de los resultados de un experimento con el calorímetro "BOMBA" (P6310 para hidrocarburos sólidos y líquidos ó P5615 arreglo de calorímetro de gas para un combustible gaseoso), o puede ser calculado usando los resultados de un análisis químico del combustible junto con los valores caloríficos publicados para los elementos del combustible.

(Q_v)

La energía para transformar el agua de alimentación en vapor es la entalpía del vapor generado, menos la entalpía del agua de alimentación.

$$Q_v = m_v (h_v - h_L) \left(\frac{Kj}{Kg} \right)$$

(Q_{ps} + Q_{pi})

La energía cedida a los gases de combustión se obtiene del flujo de gas, el calor específico promedio, la temperatura media del flujo de gases y el aire circundante, esta dado por :

$$Q_{pi} + Q_{ps} = M_c C_g (T_{fl} - T_{at}) \left(\frac{Kj}{Kg} \right)$$

El calor específico promedio incluye el contenido de agua.

(Q_p)

La energía perdida es calculada de la ecuación :

$$Q_s = (Q_v + Q_{ps} + Q_{pi}) \left(\frac{Kj}{Kg} \right)$$

2.4.6 Eficiencia de la Caldera (η_c)

Se define como :

$$\eta_c = \frac{\text{Energía ganada por el fluido}}{\text{Energía total de entrada}}$$

La energía total de entrada está dada por el flujo de combustible multipli cada por el valor calorífico del combustible.

Es decir , la energía total es igual = $M_f \times CV_f$

La energía ganada por el fluido es :

$$= \dot{m}_v (h_v - h_L)$$

$$= \dot{m}_v h_v - C_p (t_{fw} - 0)$$

Donde :

\dot{m}_v Es el flujo de vapor,

h_v Es la entalpía del vapor a las condiciones de salida de la caldera.

h_L Entalpía del agua de alimentación a la temperatura T_{fw} y calor específico C_p .

Note que la presión absoluta del vapor, está dada por la lectura del manómetro más la presión atmosférica.

Esto es, para convertir la lectura barométrica de la presión atmosférica a Bars.

$$P_{at} = \frac{H \times 13600 \times 9.81}{10^5} = 1.334 \quad (\text{Bars})$$

Donde:

H es la lectura barométrica en (metros)

13600 Densidad del mercurio en (kg/m³)

9.81 Aceleración debida a la gravedad en (m/s²)

10⁵ Nw/m² = (Bars)

NOTA:

\dot{m}_v y \dot{m}_f en unidades compatibles.

Es decir,

$$\eta_c = \frac{\dot{m}_v (h_v - h_L)}{\dot{m}_f \text{ cvr}}$$

2.4.7 Evaporación Equivalente

Ya que las características de operación de la caldera, es decir rango de evaporación, presión de vapor, temperatura, etc. Puedan variar de alguna forma se ha tomado una base común de comparación. Esta base común es la evaporación equivalente de y a 100 °C básicamente es la evaporación a la cual sería obtenida si el agua de alimentación de la caldera fuera suministrada a 100 °C y convertida en vapor a 100 °C .

Así, para generar (1kg), de vapor es necesario únicamente suministrar la entalpía específica de evaporación y ésta es obtenida de las tablas de vapor. Es decir:

$$h_{100} \text{ °C} = 2257 \text{ (kj/kg)}$$

La energía para generar (1 kg) de vapor en cualquier caldera está dada por ($h_v - h_L$) (kj/Kg) y de aquí con el flujo de masa del vapor por unidad de combustible usada de (\dot{m}_v), la evaporación equivalente de la caldera es:

$$\dot{m}_v = \frac{(h_v - h_L)}{2257} \text{ (kg / Unidad de Combustible)}$$

Donde la unidad de combustible puede ser en : Kg , m³ ó litros

CAPITULO 3

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

3.1 DESCRIPCION GENERAL.

La planta de vapor Cussons modelo P7669, se encuentra completamente a esca la, y está montada sobre un vastidor donde sus componentes se encuentran a una altura aproximada de 1.50 metros como se muestra en la figura (3.1). Las dimensiones totales son, 600 x 600 x 1725 mm y tiene un peso aproximado de 94 kq.

La caldera suministra vapor sobrecalentado a una máquina de vapor la cual es monocilíndrica, de doble acción y del tipo reciprocante. La flecha de es ta máquina tiene acoplada una polea para transmitir la potencia a un peque ño generador de corriente directa (C.D.) por medio de una transmisión de banda, el generador será en este caso la carga aplicada en el motor de va por. El vapor que sale de la máquina es conducido hacia el condensador don de se condensa al ponerse en contacto con un sistema de enfriamiento (agua a la temperatura ambiente de la línea de laboratorio). El vapor condensado puede ser colectado en un vaso graduado con la finalidad de determinar el flujo másico del vapor de agua.

En cuanto a las mediciones el equipo cuenta con varios instrumentos como son para medir la presión del vapor, consumo de combustible, flujo de agua de en friamiento, temperatura, así como el voltaje y la corriente generada.

La planta está diseñada para llevar a cabo una serie de experimentos que nos permiten evaluar las características o el comportamiento de sus componentes (caldera, motor de vapor, etc.) .

Es importante hacer mención que los resultados obtenidos en esta planta gene radora de vapor pueden no ser representativos comparados con los que existen para una planta generadora de Energía Eléctrica real, es decir, este tipo de planta ha sido ensamblada para dar un conocimiento dentro de los factores de diseño de dicha unidad. Por lo que no intenta ser un sistema con una ole vada eficiencia térmica.

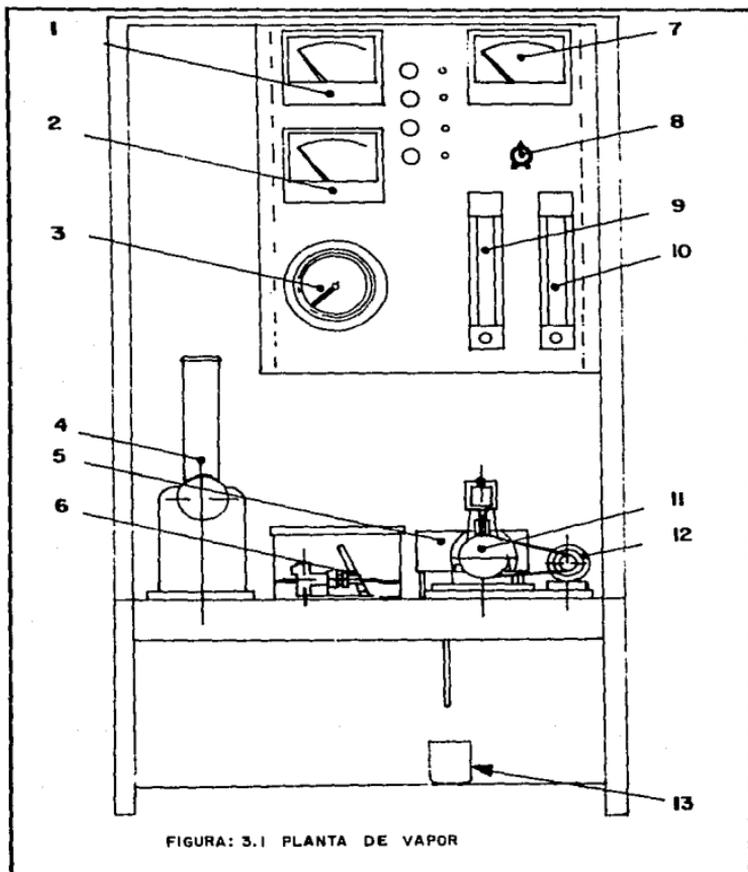


FIGURA: 3.1 PLANTA DE VAPOR

COMPONENTES DE LA PLANTA DE VAPOR.

1. VOLTIMETRO (0 - 10 CD)
2. AMPERIMETRO (0 - 1 A CD)
3. MANOMETRO (0 - 6 BAR)
4. CALDERA
5. CONDENSADOR
6. BOMBA DE AGUA (OPERACION MANUAL)
7. TERMOMETRO ELECTRONICO (0 - 250 °C)
8. SELECTOR DE TEMPERATURA
9. ROTAMETRO (MEDICION DEL FLUJO DE AGUA CM^3/MIN) (50-800 CM^3/MIN)
10. ROTAMETRO (MEDICION DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE CM^3/MIN)
11. MAQUINA DE VAPOR
12. GENERADOR DE (C.D.)
13. MEDICION DEL VOLUMEN DE VAPOR CONDENSADO

(DE LA FIGURA 3.1)

3.2 DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES.

3.2.1 Unidad de la Caldera. (Modelo STUART TURNER No. 501)

El agu que alimenta a la caldera debe ser tratada con la finalidad de proteger el equipo. La caldera puede quemar gas natural o carbón de gas, Butano o Propano: Tiene una presión de trabajo de 4bar y su evaporación es de aproximadamente de 24.5 kg/m^3 de vapor a las condiciones de $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los quemadores de gas estan dispuestos para ser abastecidos con gas natural, ó gas butano (trabajan a una presión de 27 mB) y el propano (trabaja a una presión de 35 mB) , Nota, estos quemadores no deben ser intercambiados entre diferentes tipos de gas, o en estado de presión excedida.

La válvula de seguridad debe estar en la posición correcta cuando se opere - la caldera.

Cuando la caldera este funcionando normalmente, el nivel de agua deberá ser visible en el medidor de cristal ó bien si la caldera está en funcionamiento continuo será necesario utilizar la bomba para mantener el nivel de agua a tres cuartos de su capacidad (Ver la figura 3.1).

La bomba de alimentación de la caldera está localizada entre el depósito del agua y la caldera y tiene un pistón de 9.5 mm de diámetro y una carrera de - 15.8 mm. Dando así un desplazamiento por carrera de 1120 mm^3 . Para realizar algunos de los experimentos, sin embargo, no es posible bombear agua a la caldera durante la prueba ya que esto alteraría los parámetros involucrados. En estos casos, la prueba incidiría con un nivel en el indicador máximo y se debera tener cuidado en no continuar el experimento ya que, el agua no sería visible en el indicador de nivel.

3.2.2 Unidad de la Máquina.

Esta máquina es del modelo, Stuart Turner No. 10 V. Y del tipo reciprocante, de un cilindro de simple efecto y doble acción. El pistón se encuentra montado verticalmente y su diámetro es de 19.05 mm. Su carrera también es de 19.05 mm^3 . El volumen total del cilindro es de 5430 mm^3 , la potencia nominal de salida es de 3.3 Watts a condición de 1200 RPM. El consumo de vapor por esta máquina es de 33 g/min.

3.2.3 Unidad del Condensador.

El condensador es del tipo de casco con tubo atmosférico, el gasto mínimo del condensador es de 0.5 lt/min. El condensado cae dentro de un vaso de metal el cual se pesa antes y después del experimento para determinar el flujo de vapor condensado.

El condensador tiene una doble función, que consiste en:

1. Reducir la presión a la salida de la máquina, obteniendo con ello un mayor trabajo por kilogramo de vapor utilizado. Esta reducción de la presión a la salida del motor es resultado del cambio rápido de volumen que ocurre cuando el vapor cambia de fase.
2. Retener en el sistema tanta energía como sea posible, con el propósito de mantener una eficiencia óptima.

Idealmente, el enfriamiento del agua debe extraerse únicamente de la entalpía de evaporación del vapor, la temperatura de saturación del condensador corresponde a la presión de salida. Esto no es posible en la práctica, por eso el condensado debe estar subenfriado. El grado de subenfriamiento es la diferencia entre la temperatura del vapor a la entrada del condensador y la temperatura del condensado a la salida, (ver la figura 3.2 de la Unidad Condensadora).

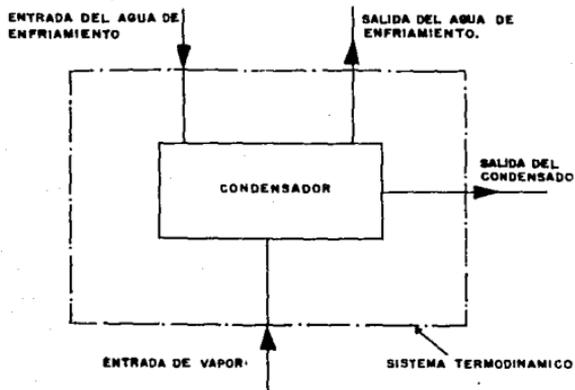


FIGURA: 3.2 UNIDAD CONDENSADORA

3.2.4 Generador de Corriente Directa.

La máquina está acoplada a un pequeño generador de corriente directa por medio de una banda elástica. El generador (CD) . Modelo 141 / 4 V Stuart Turner tiene una eficiencia del 70 % , además cuenta con una resistencia de 20 Ohms trabajando con una carga nominal a la salida del generador de las siguientes características.

Cada fusible tiene un rango nominal de 6 V 0.30 A (es decir 20 OHMS) . Dando una potencia eléctrica de 1.8 WATTS.

A un voltaje de 2.5 la potencia de salida del generador puede ser variado aproximadamente 0.3, 0.6, 0.9 y 1.2 WATTS.

3.3 INSTRUMENTACION.

3.3.1 Barómetro.

Tiene una escala de 0-6 BAR es del tipo de tubo de Bourdon, el principio de este tipo depende de la tendencia que tiene el tubo curvo para enderezarse cuando está sujeto a una presión interna. Este movimiento del tubo es trasladado a un indicador en la escala por medio de una articulación, el indicador en el equipo mide la presión de vapor en la caldera.

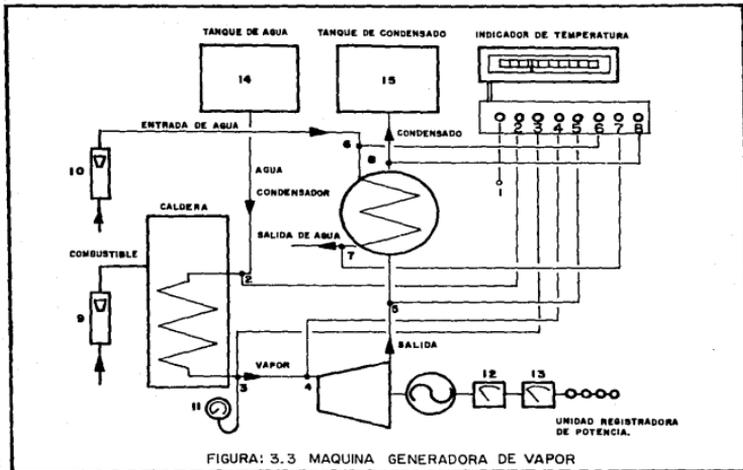
3.3.2 Termopar.

Si dos metales diferentes se unen para formar un circuito, y los 2 puntos unidos están a diferentes temperaturas, entonces fluirá una corriente alrededor del circuito debido al efecto SEEVECK*.

La fuerza eléctrica motriz, se da en el circuito cuando una unión es mantenida a temperatura constante y la otra es calentada, o es usada para medir la temperatura de la última en un Milivoltímetro de Corriente Directa, sensible con una escala de valores de temperatura.

Los termopares son de una masa relativamente pequeña de ahí que tiene una constante térmica de tiempo corta.

La cual asegura que pueden responder rápidamente a cambios de temperatura. la (figura 3.3) muestra las temperaturas que pueden ser medidas en el equipo, estas temperaturas son el aire ambiental, el agua de alimentación del boiler el vapor del boiler a la entrada y a la salida de la máquina también, mide la temperatura del agua del condensador a la entrada y a la salida.



PLANTA DE VAPOR

1. TEMPERATURA AMBIENTAL.
2. TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION A LA CALDERA.
3. TEMPERATURA DEL VAPOR DE LA CALDERA.
4. TEMPERATURA DEL VAPOR A LA ENTRADA DE LA MAQUINA.
5. TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA DE LA MAQUINA.
6. TEMPERATURA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO A LA ENTRADA DEL CONDENSADOR.
7. TEMPERATURA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO A LA SALIDA DEL CONDENSADOR.
8. TEMPERATURA DEL CONDENSADO.
9. FLUJO DE COMBUSTIBLE.
10. FLUJO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.
11. PRESION DEL VAPOR EN LA CALDERA.
12. VOLTAJE.
13. CORRIENTE

(De la Figura 3.3)

Efecto Seebeck .

Se produce debido a que, los electrones del extremo caliente tienen mayor - energía cinética que los del extremo frío por lo que la diferencia de los - electrones en dirección del extremo frío dan origen a una mayor intensidad - que en la dirección opuesta.

3.3.3 Voltímetro y Amperímetro.

El voltímetro es un aparato destinado a medir las diferencias de tensión en corriente continua y en corriente alterna y al que se le añaden los elementos necesarios para que pueda también funcionar como ohmetro.

El voltímetro y amperímetro consisten, en un imán permanente que mueven el enbobinado que responde al estímulo de diferentes valores de voltaje y corriente.

La planta de vapor cuenta con sus propios instrumentos de medición como los descritos anteriormente y otros, cuyas características y descripción se dan en el apartado correspondiente.

En este caso en particular la función del voltímetro y el amperímetro se encargan de registrar los valores de voltaje y corriente que son obtenidos del generador de (C.D.) y además con esto se podrá tener un registro y control de las dos variantes.

3.3.4 Rotámetro.

(Medidor de flujo de área variable). Ver la figura (3.4) . El instrumento opera sobre el principio de una caída de presión constante a través del área transversal por la cual pasa el fluido del gas. El instrumento consiste de un tubo de vidrio montado verticalmente con su diámetro mayor en la parte superior.

Dentro de este tubo hay un flotador que tiene un diámetro máximo, ligeramente menor, que el diámetro más pequeño del tubo de vidrio. Cuando pasa un flujo de gas o de fluido, el flotador subirá hasta que su peso aparente se equilibra.

La presión diferencial es causada por el flujo que pasa por el orificio any lar formado entre el flotador y el tubo de cristal.
La escala de los instrumentos es determinada por el tipo de gas usado, es decir :

<u>TIPO DE GAS</u>	<u>ESCALA</u>
Butano	400-2000 cm ³ / min.
Propano	300-2800 cm ³ / min.
Gas Natural	1 - 7 litros/ min.
Gas L.P.	1 - 10 litros/ min.

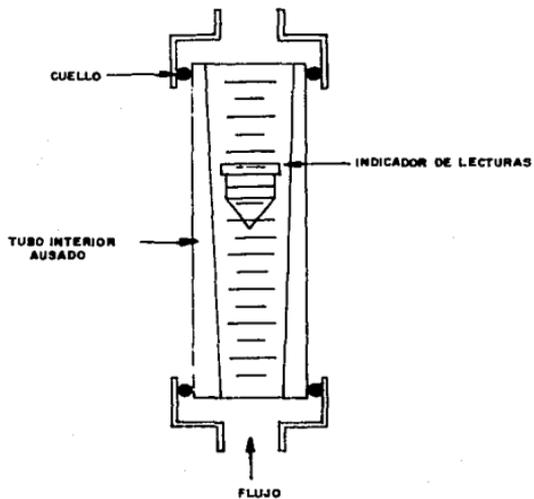


FIGURA: 3.4 ROTAMETRO.

CAPITULO 4

PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACION Y PARO DEL EQUIPO.

4.1 PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES

Este equipo trabaja con vapor de agua a altas temperaturas y presiones, por lo cual antes de abrir o cerrar alguna de las válvulas de control se deberá tomar en cuenta las precauciones necesarias.

En general, se debe evitar el contacto con alguna de las secciones de la planta de vapor, ya que la tubería de trabajo se encuentra a altas temperaturas.

4.2 PROCEDIMIENTO PARA ANTES DE ARRANCAR.

Para dar inicio al movimiento o funcionamiento, de un conjunto de elementos cuya interacción dé como resultado un determinado efecto, siempre será necesario verificar aquellos componentes que se involucren, para que se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento y operación.

Esto se logra a través de una inspección lógica secuencial que requiere de un recorrido desde el inicio de la operación hasta el final del posible funcionamiento del equipo en conjunto, una vez hecho todo lo anterior se estará dando inicio al procedimiento de Pre-Arranque:

1. El tanque de alimentación de agua de la caldera debe ser llenado con agua tratada, para protegerlo de la incrustación de sales minerales. El agua de alimentación del condensador deberá estar conectada al sistema de agua del laboratorio. Así también, como el suministro de gas. Además también el quemador deberá ser checado.
2. Asegúrese que las siguientes válvulas se encuentren abiertas :
Válvula de control de flujo de vapor.
Válvula de lubricación del cilindro.
Válvula de vapor de la máquina.
Esto, es para permitir que el aire sea descargado libremente cuando la caldera se llene posteriormente con agua.

3. Después de abrir la válvula de lubricación, quite el tapón del lubricador y llénelo con el aceite adecuado hasta que toda el agua haya sido descargada. Y el aceite corra libremente por la válvula.
Cierre la válvula de lubricación y coloque el tapón del lubricador una vez lleno. Gire la válvula de control de lubricación una vuelta completa en sentido de las manecillas del reloj, y ajústela finalmente cuando la máquina esté funcionando.
4. Lubricar con el aceite adecuado los siguientes componentes.
Los cojinetes de la Máquina.
La Válvula del engrane.
Cruceta y Perno de la Viela.
Los cojinetes del Dinamómetro. (CD)
5. Coloque la banda en las ruedas de la polea de la máquina y del dinamómetro. Asegurese que la banda no este demasiado floja, de ser así reemplazarla por una nueva.
6. Ajuste el indicador de temperatura, Amperímetro y Voltímetro según se requiera.
7. Llene la caldera, operando la bomba de alimentación hasta que el agua se observe en el indicador del nivel, la altura del agua en el indicador debe ser de aproximadamente de 3/4 partes del nivel en el cristal indicador.

4.3 PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE.

Para el arranque de un equipo siempre será necesario empezar por el principio ya que esto será la base para un buen funcionamiento de todo el sistema en general.

A dicho funcionamiento se le conoce como procedimiento de arranque, y esto no es más que el seguir las recomendaciones del fabricante, para poder lograr las condiciones óptimas de funcionamiento de la planta de vapor.

1. Abra la llave del gas y encienda el quemador. Asegúrese de utilizar el gas adecuado. Ajuste a una flama baja que le permita a la caldera calentarse lentamente y uniformemente. La flama debe estar estable y no levantarse fuera del quemador porque esto puede causar temperaturas altas y con esto depósitos excesivos de hollín.
Checar la cantidad y presión del gas, si las condiciones óptimas del quemador no pueden ser obtenidas.
2. El agua ascenderá por el Rotámetro a un nivel más alto que la altura original, debido a la expansión.
Checar que el nivel de agua suba hasta lo alto de la conexión del medidor de agua.
3. Abra el agua del condensado y ajuste el fluido alrededor de 300 gramos/minuto.
4. Incrementar el flujo de gas al quemador.
5. La presión del vapor admitido ascenderá aproximadamente a 2 bar como se debe leer en el Manómetro instalado en el panel de instrumentos.
6. Con la válvula de vapor cerrada, abra lenta y completamente la válvula de la caldera, una vez hecho esto repetirlo nuevamente para evitar que la válvula se trabase.
7. Abra la válvula de vapor de la máquina y deje que el vapor condensado se descargue a través de las válvulas purgadoras del cilindro de la máquina. Cuando la máquina está totalmente caliente y sólo descarga vapor, cierre las válvulas purgadoras del cilindro.
Ahora, la máquina debe funcionar de no ser así, poco a poco de vuelta a la polea de la máquina para ayudarla a iniciar su funcionamiento.
Se debe tener cuidado de que no vaya a agarrarle la ropa o los dedos.

8. Con la máquina funcionando regule la velocidad del motor de vapor, auxiliándose para ello de la válvula reguladora de flujo de vapor, ajuste también el grado de lubricación al motor, la presión de la caldera debe ser aproximadamente de 4 bar.

A toda la información secuencial, expuesta anteriormente se le conoce como procedimiento de arranque; Este procedimiento a su vez se complementa con otro que se le llama de operación y que además es la consecuencia de los dos anteriores, ya que para lograr el funcionamiento óptimo del sistema, siempre es necesario seguir las indicaciones que se dan, para así poder sacar de la planta de vapor el mayor provecho posible y en consecuencia tener un mínimo de fallas en el sistema durante el tiempo que esté funcionando el equipo.

De tal forma se puede decir que para iniciar la operación de la planta es necesario hacer lo siguiente :

1. Se da inicio a los experimentos, llenando la caldera con agua hasta el nivel máximo, entonces se puede realizar el experimento en el tiempo que sea necesario, además para que el nivel de agua provoque una caída hasta el fondo del manómetro. Usando este método la presión del vapor de la caldera no puede mantener " fría " el agua que está a la entrada de la caldera.
2. A la máquina de vapor, se le aplica una carga por medio del generador de corriente directa (CD). Las resistencias disponibles son nominales, y equivalen a 20, 10, 6 y 2/3 de OHM.
En el panel de control se encuentra un Voltímetro y un Amperímetro para hacer las mediciones precisas de la potencia de salida del generador.

4.4 PROCEDIMIENTO DE PARO.

Como para el inicio del funcionamiento del equipo se requieren instrucciones, lo mismo pasa con el paro del sistema.

En este apartado se da la secuencia que se debe llevar para dar la salida en orden de todos los componentes de la planta de vapor, esto no implica que tenga unos elementos más importantes que otros, si no establece que el

seguir esta secuencia dará como resultado una mayor eficiencia en las futuras pruebas que se hagan sobre el equipo.

1. Mueva la carga del generador (CD), desconectando los resistores.
2. Cierre la válvula de alimentación del gas a la caldera.
3. Permita a la máquina continuar hasta que la presión de la caldera haya caído a un nivel seguro.
4. Cierre la válvula de vapor de la caldera.
5. Deje condensar y circular agua fría para que todo el calor se disipe y entonces cierre la válvula del agua.

Cuando el sistema este completamente frío proceder en el siguiente orden.

Vaciar : la caldera, el tanque y los lubricadores.

Abrir : el cilindro de la máquina hasta que se vacíe.

Mover : la polea del cigüeñal de la máquina.

Cerrar : el suministro de gas.

Aceitar: todas las partes mecánicas.

El cambio de aceite con vapor de la máquina es conveniente para el cilindro de la máquina, y la lubricación de los cojinetes.

El aceite que se recomienda es : " Multigrado " .

CAPITULO 5

INSTALACION DEL EQUIPO

5.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL LABORATORIO

Tomando como base las características de operación de la planta de vapor, se hace necesario hacer ciertas observaciones, condicionantes con las que se deben cumplir, entre otras la zona donde se encuentre trabajando.

Sabemos que esta planta de vapor, trabaja con altas presiones y temperaturas, por lo cual es necesario que la zona donde se encuentre instalada tenga una buena ventilación, esto es para la disipación propia del calor que se concentra debido al funcionamiento de la planta.

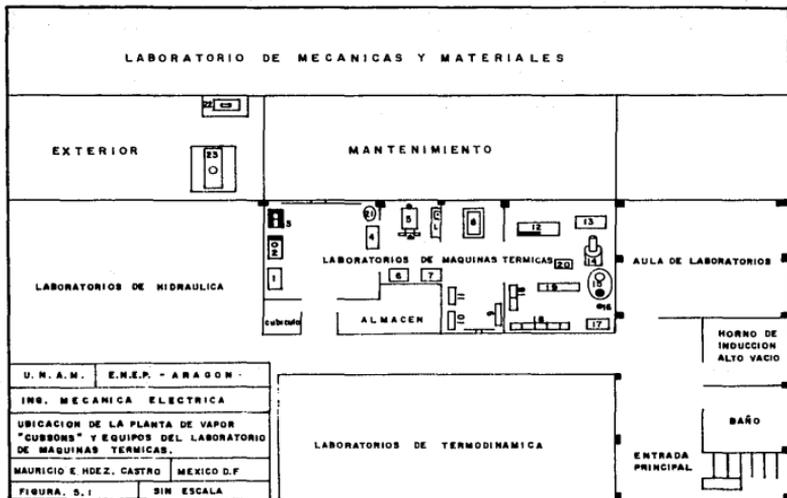
Además, también, para evitar concentraciones de gas en la zona de trabajo y con esto reducir los riesgos de intoxicación.

Otra condicionante que se debe tomar en cuenta y que sobre todo se debe cumplir, es lo concerniente a la visibilidad del equipo, ya que se trata de una planta prototipo cuyos componentes están a escala, y por tal razón se requiere de una buena apreciación a toda la planta de vapor en general.

La planta de vapor " CUSSONS " se instaló en la sección de térmica y fluidos en el laboratorio de máquinas térmicas.

La ubicación que tiene este equipo se encuentra representada en la figura (5.1), es lógico pensar que el equipo debe estar situado donde pueda disponerse de todos los servicios que se requieren : Suministro de agua, gas eléctrico, el sitio destinado para este equipo reúne las características antes mencionadas.

En el plano de ubicación de la figura arriba señalada se puede apreciar que la planta de vapor cuenta con el espacio necesario para poder hacer observaciones al equipo, además de que se tendrá la seguridad de que las personas que estén en la zona de trabajo no sufrirán riesgos de algún accidente como quemaduras, etc.



UBICACION DEL EQUIPO DE MAQUINAS TERMICAS

1. INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO
2. EQUIPO DE RADIACION Y CONVECCION
3. TORRE DE ENFRIAMIENTO
4. UNIDAD DE TRASNFERENCIA DE CALOR
5. UNIDAD DE COMBUSTION CONTINUA
6. UNIDAD DE DEMOSTRACION DE REFRIGERACION
7. BOMBA MECANICA DE CALOR
8. MOTOR DE COMBUSTION INTERNA
9. UNIDAD DE LABORATORIO DE REFRIGERACION
10. COMPRESOR DE AIRE
11. COMPRESOR DE AIRE
12. TURBINA DE VAPOR
13. TANQUE DE CONDENSADOS
14. GENERADOR DE VAPOR
15. TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUA
16. TANQUE DE COMBUSTIBLE DIESEL
17. INTERCAMBIADOR DE CALOR WARDS
18. BANCO DE PRUEBAS DE VAPOR
19. UNIDAD DE LABORATORIO DE AIRE ACONDICIONADO
20. UNIDAD DE PLANTA GENERADORA DE VAPOR
21. PLANTA DE VAPOR " CUSSENS "
22. TANQUE DE GAS
23. TANQUE DE COMBUSTIBLE

(DE LA FIGURA 5.1)

En la misma vista de planta se aprecian los equipos que también forman parte del laboratorio, y de aquellos otros que son parte del funcionamiento de la planta de vapor. Así mismo se muestra el esquema de instalación de los componentes que conforman la planta. Figura (5.2) .

Además también se proporciona el diagrama eléctrico del generador y de las diferentes medidas de temperatura que se pueden realizar con el selector del mismo. Figura (5.3) .

5.2 SUMINISTROS NECESARIOS PARA LA OPERACION DEL EQUIPO.

La planta de vapor " CUSONS " requiere para su buen funcionamiento de dos suministros necesarios que son : Combustible (gas L.P.) y agua.

1. Combustible Gaseoso (gas L.P.) . Será suministrado como se indica en la figura (5.4) . Esta figura nos muestra el digrama tanto de suministro de gas, como la alimentación de agua al equipo.

La instalación correspondiente a la línea de gas se realizó con tubería de cobre, ya que según especificaciones, para la instalación del equipo que utiliza gas como combustible de trabajo es el material más recomendable por sus características de resistencia al desgaste y a la corrosión propia del medio ambiente.

La tubería es de un diámetro ($\phi = 1/2$ ") . Igual a media pulgada y se tomó de la línea principal de alimentación a los equipos.

El tanque estacionario está situado en el espacio exterior próximo a la nave del laboratorio de térmica y fluidos, la capacidad del tanque es de 300 litros.

2. El suministro de agua (agua tratada) según recomendaciones del fabricante se realizó por medio de la tubería de alimentación a los equipos que requieren de este servicio.

Los equipos son alimentados por medio de una cisterna que, lo mismo que el tanque de gas, se encuentra en el exterior de los laboratorios, y la cual suministra agua a toda la escuela.

La tubería es de cobre, por las razones ya mencionadas, el diámetro de la tubería principal es igual a ($\phi = 2$ ") . Un diámetro igual a dos pulgadas y para la alimentación secundaria se utiliza un ($\phi = 1/2$ ") . Diámetro de media pulgada, que es el diámetro de la tubería que alimenta a los equipos de máquinas térmicas. Ver la figura (5.4) .

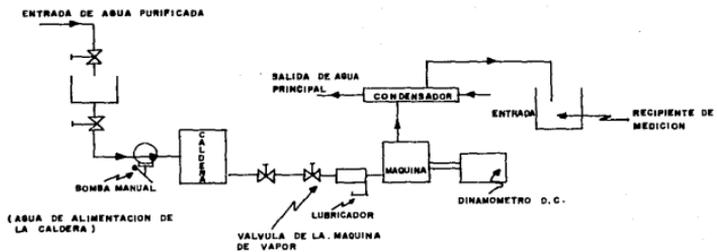
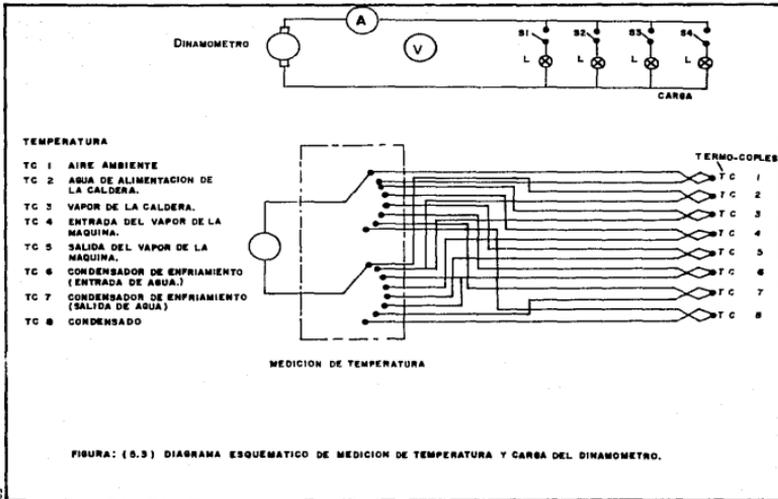
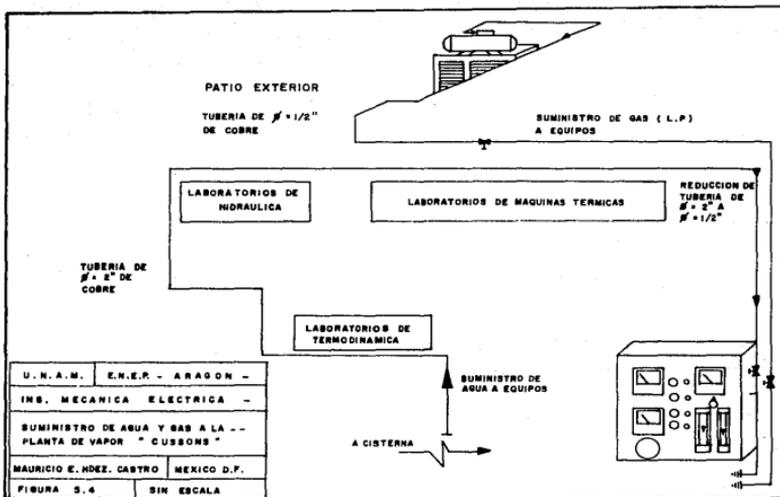


FIGURA (5.2) DIABRAMA ESQUEMATICO DE TUBERIA PARA LA PLANTA DE VAPOR "CUSONS"





5.3 COTIZACION PARA LA INSTALACION DEL EQUIPO.

México, D.F., a 2 de febrero de 1989.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Rollo de soldadura marca " ZETA "	15,000.00	15,000.00
1	Bote de pasta para soldar, de 1/4 marca " SILER " .	3,500.00	3,500.00
2	Metros de lija marca " FANDELI "	2,000.00	4,000.00
3	Tubos de cobre de 1/2 " marca " NACOBRE "	34,000.00	102,000.00
2	TEE de cobre de 1/2" marca " NACOBRE " .	900.00	1,800.00
7	Codos de cobre de 1/2" marca " NACOBRE " .	900.00	6,300.00
2	Válvulas de globo de 1/2" soldables Mca. " URREA "	9,500.00	19,000.00
1	Cople soldable de cobre de 1/2" gal vanizado Mca. " NACOBRE "	1,300.00	1,300.00
2	Niple galvanizado de 1/2" Marca " H H " .	2,500.00	5,000.00

1	Llave de globo de 1/2 " galvanizada, Marca " H H " .	9,500.00	9,500.00
1	Codo galvanizado de 1/2 " Marca " H H " .	900.00	900.00
1	Regulador de Gas , Marca " BARO " .	27,000.00	27,000.00
			<hr/> \$ 195,300.00 =====

NOTA: ESTE PRESUPUESTO TENDRA UNA VIGENCIA DE 15 DIAS, A PARTIR DE LA FECHA DE SU ELABORACION.

La cuantificación del material, para la instalación de la planta de vapor, fue la mínima indispensable que se requería para poner en servicio el sistema.

Es de citarse, que se están aprovechando al máximo las condiciones generales del laboratorio.

Esto se aprecia directamente en la reducción de los costos, ya que se está utilizando la instalación de la tubería de suministro de agua, porque el lugar de la instalación, anterior a ésta, ya contaba con este servicio. En cuanto al sistema de suministro de gas no hay mucho de donde hacer referencia, ya que el laboratorio no contaba en buena forma con este servicio.

Por suministro de la instalación del servicio de gas, se tenía tubería galvanizada. De un diámetro igual a ($\phi = 1/2"$) media pulgada, esto por motivos de seguridad se tuvo que cancelar toda la red en general, y cambiarla por tubería de cobre de un diámetro igual al anterior. Esta visto que esta tubería cubre las necesidades mínimas que se requieren, por sus características y tipo de servicio.

Sin hacer más referencia en cuanto a la instalación de los dos servicios requeridos, podemos ahora ya hablar en general que el laboratorio cuenta con estos servicios, los cuales son elementales y representativos del funcionamiento en general de casi el 70% de los equipos de la sección de térmica y fluidos.

CAPITULO 6

PROPUESTA DEL DESARROLLO DE PRACTICAS EN EL EQUIPO.

Como una breve síntesis y tratando de hacer de una forma introductoria, el contenido de este capítulo presento a continuación los nombres de las prácticas que se proponen con la finalidad de introducirnos en el contenido de ellas.

Como propuesta de la práctica No. 1 es, la eficiencia y balance de energía en la caldera, práctica No. 2, transferencia de energía al sistema máquina/generador y al sistema del condensador y por último la práctica No. 3 balance térmico de la planta de vapor.

En la propuesta del desarrollo de las prácticas es pertinente hacer la observación que todos los experimentos propuestos se pueden realizar con el equipo, sin necesidad de recurrir a otros complementos o partes externas al sistema con excepción del tacómetro digital.

La realización de las prácticas, se dan como una secuencia lógica para su desarrollo práctico.

Como punto No. 1, el título, que es la base para saber de que se está hablando. Seguido de un objetivo para tener un fundamento de lo que se pretende alcanzar, si las condiciones son las óptimas.

Posteriormente se dan las actividades, de trabajo sobre el sistema en estudio y partes involucradas, esto es con el fin de alcanzar el objetivo.

Del equipo y material simplemente basta con enunciarlo.

Dentro de la parte introductoria tal como se especifica en las prácticas, se pretende dar la información mínima más elemental para así de una forma sencilla irse componiendo de que es lo que se pretende realizar, toda esta información es teórica. Es importante hacer la aclaración que al hablar de lo elemental no se pierda de vista lo específico, que es lo que maneja los parámetros involucrados.

Por último del desarrollo de prácticas, se realizan los cálculos, los cuales la mayoría se exponen, en el capítulo No.2, que son conceptos generales y en el cual se manejan todos los puntos que se desarrollan aquí.

EFICIENCIA Y BALANCE DE ENERGIA EN LA CALDERA

OBJETIVO. Determinar el balance de energía en la caldera, su evaporación equivalente y la eficiencia térmica.

ACTIVIDADES. Del generador de vapor en estudio se determinará lo planteado en el objetivo, esto es.

- 1) La eficiencia térmica.
- 2) Su evaporación equivalente.
- 3) El balance térmico.

EQUIPO Y MATERIAL.

1. Planta de vapor " CUSSONS "
2. Tacómetro digital.
3. Cronómetro.
4. Vaso de precipitados.

INTRODUCCION.

La utilización del vapor como fluido de trabajo, ya sea para transmitir calor o para producir trabajo mecánico (expandiéndose en una máquina o turbina), es muy común debido a su alta capacidad térmica, la facilidad que presenta para su manejo y la disponibilidad de grandes cantidades de agua a muy bajo costo.

En la actualidad los ciclos de vapor son ampliamente usados en procesos industriales en los que se requiere, transmisión de calor a temperatura constante en la generación de energía eléctrica, así como en hoteles, hospitales, etc. El término generador de vapor ha alcanzado la aceptación general y

reemplazó al término de caldera.

La definición de un Generador de Vapor de acuerdo con el código " ASNE " es una combinación de dispositivos para producir suministrar o recuperar calor, en conjunto con dispositivos para transferir a un fluido de trabajo el calor, el cual queda disponible para su utilización. Sin embargo el término caldera ha sido usado por mucho tiempo y se aplica indistintamente generador de vapor o caldera. Es conveniente indicar que la caldera es una porción del generador de vapor por donde el líquido saturado es convertido en vapor seco saturado. Un generador de vapor es un conjunto de equipos y aparatos que se combinan para producir vapor. Los componentes principales son :

- CALDERA
- HORNO
- QUEMADORES
- CHIMENEA
- VENTILADORES
- BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION
- SOBRECALENTADOR
- ATEMPERADOR
- CALENTADOR DE AIRE
- ECONOMIZADOR
- PRECALENTADOR DE COMBUSTIBLE

CLASIFICACION GENERAL DE LAS CALDERAS.

- TUBOS DE HUMO (PIROTUBULARES)
- TUBOS DE AGUA (ACUOTUBULARES)
- TIRO FORZADO
- TIRO INDUCIDO
- TIRO BALANCEADO
- TIRO NATURAL

SISTEMA TERMODINAMICO. Es la porción limitada del espacio, de volumen no necesariamente constante, en la que se estudian las variaciones de energía y/o masa para el análisis de un problema. La estructura de un análisis ter

modinámico está basada en un sistema de contabilidad que toma en cuenta las cantidades de energía dentro o fuera del sistema. Entonces es necesario es coger un sistema definido y mantenerlo bajo una vigilancia rigurosa durante el curso de la operación que se analiza, para que todas las cantidades de energía involucradas se contabilicen debidamente.

FRONTERA Y MEDIO AMBIENTE. Es conveniente al visualizar un sistema conside rarlo encerrado dentro de una envolvente imaginaria, la cual puede cambiar su forma, tamaño o posición pero que siempre contiene al sistema y sólo al sistema. A esta envolvente se le denomina Frontera del sistema. Todo aquello que queda fuera de la frontera del sistema se llama medio ambiente.

DESCRIPCION DE LOS TRES MODOS DE TRANSMISION DE CALOR.

El calor se propaga de unos cuerpos a otros de 3 maneras :

- CONVECCION
- CONDUCCION
- RADIACION

CONVECCION. Se basa en el principio de que, al disminuir la temperatura de un fluido, aumenta su densidad y tiende a bajar en el seno del fluido en que se encuentra. Si por el contrario una porción del fluido se calienta, al di latarse se hace más ligero y en virtud del principio de Arquímedes tiende a elevarse.

CONDUCCION. En esta clase de transmisión de calor ya no se mueven las parti culas del cuerpo en una forma visible la energía cinética de las moléculas se va transmitiendo de unas a otras.

RADIACION. En este tipo de conducción no se requiere que haya algún ma terial para que la energía calorífica pasa de un lugar a otro. Inclusive se propaga en el vacío. Se dice que el calor se trasmite por radiación en forma de ondas caloríficas.

SUPERFICIE DE CALEFACCION. Es aquella que trasmite la energía en forma de calor de los gases calientes al agua y al vapor, y para su cuantificación se habrá que analizar cada una de las partes que lo constituyen.

EFICIENCIA DE LA CALDERA. Es la relación del calor que se aprovecha, o sea, el que toma el fluido desde que entra como agua hasta que sale como vapor, entre el calor liberado por la oxidación del combustible dentro del horno.

VAPORIZACION EQUIVALENTE. Es la relación entre el calor total absorbido por el agua de alimentación de la caldera y el calor necesario para evaporar un kilogramo de agua a la presión atmosférica al nivel del mar (1.033 kg/cm^2)

BALANCE TERMICO. Es una relación de energías ; energía suministrada, energía aprovechada, y pérdidas (varias) .

DESARROLLO. Antes de cada experimento se deben tener en cuenta los siguientes puntos.

- Empleando la bomba manual llene la caldera hasta que el nivel de agua en el indicador sea de aproximadamente $3/4$ partes.
(recuerde que la caldera utiliza agua tratada para mayor protección del equipo) .
- Abrir la válvula de flujo de agua de circulación hacia el condensador.
El flujo que circula en el condensador debe ser de aproximadamente de $450 \text{ cm}^3/\text{min}$. regule este valor en el rotámetro localizado en el panel de instrumentos.
- Encienda el quemador de gas de la caldera, y ajuste el flujo de gas de tal forma que fluya a razón de $1500 \text{ cm}^3/\text{min}$, regule este valor en el rotámetro.
- Permita que la presión del vapor dentro de la caldera alcance un valor de 4 bar, una vez que esto suceda abra la válvula de vapor para que circule vapor hacia el motor. Deje que las condiciones se estabilicen, una vez hecho esto la presión será de aproximadamente 2.5 bar.

- Ajuste el flujo de vapor hacia el motor de tal manera que se obtengan las condiciones de voltaje y corriente deseadas en el generador de corriente directa (C.D.) .
- Una vez que el equipo se encuentre en condiciones estables de presión, temperatura, velocidad del motor, etc. se procede a tomar las lecturas requeridas, y se anotarán en la tabla de registro y resultados.

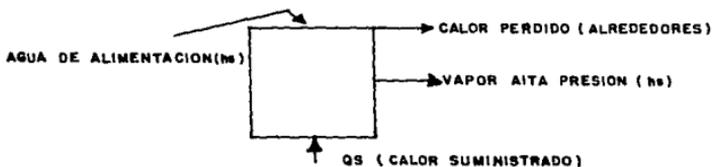


FIGURA: 1.

CALCULOS.

1. EFICIENCIA DE LA CALDERA (η_c)

$$\eta_c = \frac{\dot{m}_v (h_v - h_L)}{\dot{q}_B} \quad (*)$$

$$\dot{q}_B = \dot{m}_g P_C$$

Donde : \dot{q}_B = Calor suministrado a la caldera.

\dot{m}_g = Flujo volumétrico del gas.

P_C = Poder calorífico del combustible.

h_L = Entalpía del líquido.

h_v = Entalpía del vapor.

Para determinar el flujo de vapor (\dot{m}_v), se determina colocando un vaso de precipitados graduados a la salida del condensador, y además también, tomando el tiempo en que se incrementa un determinado volumen.

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{m}_c}{t} = \frac{\text{MASA DEL CONDENSADO}}{\text{TIEMPO DE CONDENSADO}} \quad \left(\frac{g}{\text{min}} \right)$$

La entalpía del vapor (h_v) se determina de tablas de vapor sobrecalentado con los promedios de presión y temperatura registrados en la caldera.

La entalpía del líquido (h_L) se determina de tablas de vapor saturado a condiciones de : p ó T

$$h_L = C_{p_{\text{agua}}} T_{\text{agua}}$$

2. EVAPORACION EQUIVALENTE (E.Q) :

$$E.Q = \frac{\dot{m}_v (h_v - h_L)}{h_{ve}}$$

Donde :

h_{ve} = Entalpía específica de evaporación.

Es obtenida de tablas de vapor de 100° C.

Es decir :

$$h_{ve} = 2257 \left(\frac{Kj}{Kg} \right)$$

3. BALANCE TERMICO DE LA CALDERA :

Del total de calor suministrado (Q_B), se obtiene el total de energía de entrada al sistema.

$$Q_B = (F_c) (V_{ec}) \left(\frac{Kj}{\text{min}} \right) \quad \text{--- (1)}$$

Donde :

F_c = Flujo de combustible :

$$\left(1500 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right) \text{ ó } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

V_{ec} = Valor específico del combustible :

$$93.15 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{M}^3} \right) \text{ ó } \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Min}} \right)$$

Para el cálculo de la energía para la producción del vapor (Q_v), se obtiene de :

$$Q_v = \dot{m}_v (h_v - h_L) \quad \text{--- (2)}$$

$$h_{v@} = \frac{147}{3.55}$$

La ecuación que determina el cálculo de la energía de salida en la caldera es (E_{sc}) .

$$E_{sc} = M_g C_p (T_{sc} - T_{pa}) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right) \quad \text{--- (3)}$$

Donde :

$$M_g = \left(\frac{\pi \beta^2}{4} \times 10^6 \right) (v_{gc}) (\rho)$$

$$\pi = 3.1416$$

$$\beta = 42 \text{ mm}$$

$$v_{gc} = \text{Velocidad del gas en la caldera} = 0.9 \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad del gas} = 0.747 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) \text{ ó } 1.339 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$C_p = \text{Calor específico} = 1.05 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \right)$$

T_{sc} = Temperatura a la salida del Condensador. °C

T_{pa} = Temperatura promedio del aire. °C

Realizando el balance de energía en la caldera :

$$\text{Total de calor suministrado } (Q_s) ; \left(\frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right) \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{Energía del vapor. } (Q_v) ; \left(\frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right) \quad \text{--- (2)}$$

$$\text{Energía de salida. } (E_{sc}) ; \left(\frac{\text{KJ}}{\text{min}} \right) \quad \text{--- (3)}$$

La energía por pérdidas a los alrededores (E_{pa}) es obtenida de la ecuación.

$$E_{pa} = Q_s - (Q_v + E_{sc})$$

NOTA: Los resultados de las ecuaciones (1) , (2) , (3) también se darán en sus respectivos porcentajes.

$$\text{Donde : } Q_s = (100 \%) ; (Q_v) = (\%) ; E_{pa} = (\%)$$

TABLA DE LECTURAS

TIEMPO		MINS.	0	1	2	3	PROM.
DINAMOMETRO (CONDICIONES DE SALIDA)	V	VOLTS					
	I	AMPS.					
GENERADOR DE VAPOR	PRESION	BARS					
	FLUJO DE COMBS.	$\frac{CM^3}{MIN.}$					
FLUJO DEL CONDENSADOR		$\frac{CM^3}{MIN.}$					
VELOCIDAD DE LA MAQUINA							
TEMPERATURAS							
T1 - TEMPERATURA AMBIENTAL							
T2 - TEMPERATURA DE ENTRADA AL GENERADOR DE VAPOR.							
T3 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA							
T4 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA ENTRADA DE LA MAQUINA							
T5 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA DE LA MAQUINA							
T6 - TEMPERATURA DEL FLUJO DE CONDENSADO A LA ENTRADA							
T7 - TEMPERATURA DEL FLUJO DEL CONDENSADO A LA SALIDA.							
T8 - TEMPERATURA DEL CONDENSADO							
AGUA DE CONDENSADO COLECTADA EN 3 MINUTOS							

CUESTIONARIO

- 1. DEFINA A UN GENERADOR DE VAPOR**

- 2. DEFINA UN SISTEMA TERMODINAMICO**

- 3. EXPLIQUE QUE ES UN BALANCE TERMICO**

CONCLUSIONES

TRANSFERENCIA DE ENERGIA AL SISTEMA MAQUINA/GENERADOR, Y AL SISTEMA DEL CONDENSADOR.

OBJETIVO: Determinar la eficiencia mecánica y térmica del motor de vapor.

- ACTIVIDADES:
1. Determinar la eficiencia mecánica de la máquina.
 2. Determinar la eficiencia térmica del sistema Máquina/Generador.

EQUIPO Y MATERIAL.

1. Planta de Vapor " CUSSONS "
2. Tacómetro Digital
3. Cronómetro
4. Vaso de precipitados

INTRODUCCION.

Los motores de vapor están provistos de órganos dotados de movimiento alternativo con dos inversiones de movimiento por cada revolución en el cigüeñal. Comparadas con las turbinas de vapor son máquinas relativamente lentas, las máquinas de vapor tienen un excelente par motor, el cual les permite arrancar con grandes cargas. Cuando van provistas de mecanismos adecuados para el accionamiento de las válvulas resulta muy fácil invertir el sentido de bombas, ventilador, hogares mecánicos, generadores eléctricos de tamaño limitado y compresores de aire y refrigerantes. Los motores de vapor no pueden trabajar con el vapor a las elevadas presiones y temperaturas empleadas en las grandes turbinas de vapor. La potencia de los motores de vapor resulta pequeña con relación al espacio que necesitan. Sus pérdidas caloríficas son grandes y su contrapresión no puede reducirse mucho por abajo de 100 mm. Hg (4 pulgadas de mercurio) absolutas.

CLASIFICACION DE LOS MOTORES DE VAPOR.

Por la posición de la bancada :

Horizontales

Verticales

Por el mecanismo de las válvulas :

De corredera o " D "

Corliss

Válvula ZETA

Por el número de cilindros para la expansión del vapor.

Monocilíndricas

De dos cilindros

De tres cilindros

Por el sentido de circulación del vapor dentro del cilindro.

A contracorriente

Unidireccional

Por la velocidad de rotación.

Baja

Media

Alta

Por la relación de la carrera y diámetro del cilindro.

Larga

Corta

Por el escape.

Con condensador

Sin condensador

Ciclo de Rankine.

El ciclo de Rankine es usado para expresar el comportamiento ideal de una máquina reciprocante de vapor o de una turbina, que operan en conjunto con otro equipo, forman lo que se llama una planta de vapor.

Prueba en la máquina para determinar la eficiencia.

Potencia indicada (P_i) = P_m ALN

Donde :

$$P_m = K_d \left(\frac{P_1}{r} \right) (1 + \text{Log}_e^x - P_b) \left(\frac{nw}{m^2} \right)$$

P_1 y P_2 Son presiones absolutas es decir, presión calibrado + presión atmosférica.

K_d = FACTOR DEL DIAGRAMA = 0.8

Para la obtención del radio (r) es :

$$\phi = \text{Radio de Expansión} \quad r = \frac{V_1}{V_c} = 2$$

Obtención del Area :

Para el pistón de doble acción " A " como lo es para este caso en particular, el área es la suma del área superior del pistón más el área efectiva de la conexión final del rodamiento esto es :

Conicidad del Rodamiento = ϕ = 4 mm

$$\text{Area del cilindro} = A = \frac{\pi}{4} (d^2 + (d^2 - d_r^2)) \quad (\text{mm}^2)$$

Donde : d^2 = Diámetro del cilindro del pistón 19.05 mm.

d_r^2 = Diámetro de conicidad de rodamiento.

Para determinar la velocidad de la máquina (N) se tiene :

$$N = \frac{\text{RPM}}{t} = (\text{RPM})$$

Donde :

RPM = Es la velocidad promedio de la máquina

L = ϕ del cilindro (19.05 mm)

Por lo tanto la potencia indicada, está dada por .

$$P_i = (P_m) (A) (L) (N) \quad (\text{Watts})$$

$$\text{Potencia al freno} = \text{Entrada al generador} = \frac{\text{Salida del Generador}}{\text{Eficiencia del Generador}}$$

La eficiencia del Generador es de aproximadamente 70 %

$$\text{Potencia al freno de la máquina} = \frac{VI}{(\% \text{ Generador})} \quad (\text{Watts})$$

Donde : V = Voltaje promedio

I = Corriente Promedio

$$\text{Eficiencia Mecánica} = \frac{\text{Poder al Freno} \times 100 \%}{\text{Potencia Indicada}} \quad (\%)$$

TABLA DE LECTURAS

TIEMPO		MINS.	0	1	2	3	PROM.
DINAMOMETRO (CONDICIONES DE SALIDA)	V	VOLTS					
	I	AMPS.					
GENERADOR DE VAPOR	PRESION	BARS					
	FLUJO DE COMBS.	$\frac{CM^3}{MIN.}$					
FLUJO DEL CONDENSADOR		$\frac{CM^3}{MIN.}$					
VELOCIDAD DE LA MAQUINA							
TEMPERATURAS							
T1 - TEMPERATURA AMBIENTAL							
T2 - TEMPERATURA DE ENTRADA AL GENERADOR DE VAPOR.							
T3 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA							
T4 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA ENTRADA DE LA MAQUINA							
T5 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA DE LA MAQUINA							
T6 - TEMPERATURA DEL FLUJO DE CONDENSADO A LA ENTRADA							
T7 - TEMPERATURA DEL FLUJO DEL CONDENSADO A LA SALIDA							
T8 - TEMPERATURA DEL CONDENSADO							
AGUA DE CONDENSADO COLECTADA EN 3 MINUTOS							

CUESTIONARIO

1. COMO SE DETERMINA LA EFICIENCIA TERMICA
2. EXPLIQUE COMO FUNCIONA EL CICLO DE RANKINE
3. DESCRIBA EL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE VAPOR

CONCLUSIONES

BALANCE TERMICO DE LA PLANTA DE VAPOR.

OBJETIVO: El alumno evaluará todas las pérdidas térmicas de la planta; para conocer la pérdida total de la misma.

ACTIVIDADES:

Determinar el coeficiente de transmisión total de la planta de vapor:

EQUIPO :

- 1.Planta de Vapor " CUSSONS "
- 2.Tacómetro DIGITAL
- 3.Cronómetro
- 4.Vaso de precipitados

INTRODUCCION.**ESTUDIO DEL CONDENSADOR.**

El condensador es un intercambiador de calor en el cual se condensa el vapor de escape de la turbina y de donde el aire y otros gases no condensables son evacuados en forma continua.

Dos son las razones principales del uso de condensadores en una planta de vapor.

- a) Disminución de la presión de escape del vapor en la máquina, con el consiguiente aumento de la caída térmica, debido a la disminución del volumen específico.
- b) Recuperación del condensado para utilizarlo como agua de alimentación a la caldera.

Las lecturas que pueden realizarse a fin de hacer un estudio del condensador son :

- Cantidad del condensado (recogido en la descarga de extracción de aire en

un determinado tiempo) .

- Temperatura del agua de circulación a la entrada.
- Temperatura del agua de circulación a la salida.
- Temperatura del condensado a la salida del condensador.

Estas tres últimas lecturas que se toman por medio de termómetros colocados en termopozas especialmente dispuestos para el caso.

El estudio del condensador consiste en :

- 1) Determinar el gasto de agua de circulación.
 - 2) Determinar su coeficiente de transmisión total.
- Para el inciso 1 basta hacer un balance térmico.

Balance Energético y Convenciones de signos.

ENERGIA QUE ENTRA AL SISTEMA = ENERGIA QUE SALE DEL SISTEMA + ENERGIA ACUMULADA EN EL SISTEMA.

Máquina Térmica : Una máquina térmica es un dispositivo que opera continua o cíclicamente y produce trabajo mientras intercambia calor a través de sus fronteras. La restricción a operación continua o cíclica implica que la materia dentro de la máquina se regresa a su estado inicial a intervalos regulares.

ENERGIA TRANSFERIDA AL SISTEMA DEL CONDENSADOR.

A LA ENTRADA.

Entrada al condensador = Salida por la máquina.

Vapor a la condición de la temperatura (T_5) y 1 Bar de presión absoluta, fluyen a razón de 32.67 (gm/min)

Energía a la entrada del condensador (E.E.C.) esta dada por .

$$E.E.C. = \dot{m}_v h \quad h @ T_5$$

$$E.E.C. = \dot{m}_v (h_1 + C_p (T_1 - T_2)) \text{ (watts)}$$

Donde :

$$h_1 @ T_5 \text{ (Promedio)}$$

$$C_p @ T_5$$

$$T_1 = T_5$$

La energía inicial para el enfriamiento del agua es (E i E) = 450 (cm³/min)
23°C

$$E i E = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{t} \times h_2 \times T \quad \text{ (Watts)}$$

Donde : \dot{m}_{H_2O} = flujo másico del agua

T = Tiempo Seg.

h_2 = Entalpía del agua.

T = Temperatura (°C) ambiental.

A la salida

$$E_c = \frac{\dot{m}_v}{t} \times h \times T \quad \text{ (Watts)}$$

\dot{m}_v = Flujo másico del vapor (9m/min) @ 45.7 °C

la energía final para el enfriamiento del agua (450 cm³/m) @ 56.75 °C

$$F_c = \frac{m}{t} \times h \times t_7 \quad (\text{Watts})$$

$$F_c = \text{Flujo de condensado} \times T_7 \text{ Promedio}$$

Energía por Radiación (E.R.)

E.R. = (Energía de entrada al condensador) + (Energía inicial del enfriamiento del agua) - (Energía para el condensador + Energía final en el enfriamiento del agua) ; (Watts)

E.R. = E.E.C. + E.i.E. - (E.C. + F_c) Ver figura 3

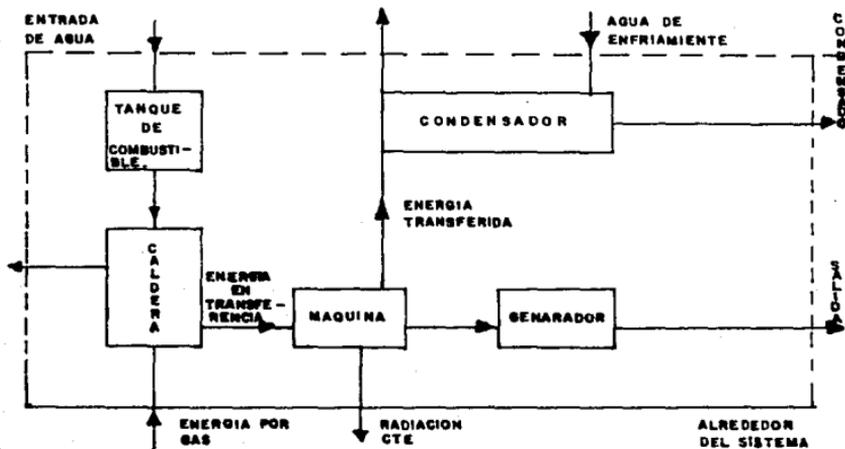


FIGURA: 3. ENERGIA TOTAL DE LA PLANTA.

TABLA DE LECTURAS

TIEMPO		MINS.	0	1	2	3	PROM.
DINAMOMETRO (CONDICIONES DE SALIDA)	V	VOLTS.					
	I	AMPS.					
GENERADOR DE VAPOR	PRESION	BARS					
	FLUJO DE COMBS.	$\frac{CM^3}{MIN.}$					
FLUJO DEL CONDENSADOR		$\frac{CM^3}{MIN.}$					
VELOCIDAD DE LA MAQUINA							
TEMPERATURAS							
T1 - TEMPERATURA AMBIENTAL							
T2 - TEMPERATURA DE ENTRADA AL GENERADOR DE VAPOR.							
T3 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA							
T4 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA ENTRADA DE LA MAQUINA							
T5 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA DE LA MAQUINA							
T6 - TEMPERATURA DEL FLUJO DE CONDENSADO A LA ENTRADA							
T7 - TEMPERATURA DEL FLUJO DEL CONDENSADO A LA SALIDA							
T8 - TEMPERATURA DEL CONDENSADO							
AGUA DE CONDENSADO COLECTADA EN 3 MINUTOS							

CUESTIONARIO

1. DESCRIBA EL FUNCIONAMIENTO DE UN CONDENSADOR
2. QUE ES UNA MAQUINA TERMICA
3. CUAL ES EL OBJETIVO DE ESTA PRACTICA

CONCLUSIONES

A N E X O

TABLA DE LECTURAS

CONDICIONES DE CARGA (1 RESISTENCIA)

TIEMPO		MINS.	0	1	2	3	PROM.
DINAMOMETRO (CONDICIONES DE SALIDA)	V	VOLTS	4.0	4.0	3.9	3.9	3.95
	I	AMPS.	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
GENERADOR DE VAPOR	PRESION	BARS	3.6	3.7	3.7	3.7	3.67
	FLUJO DE COMB.	$\frac{CM^3}{MIN}$	800	750	750	750	762.5
CONDENSADOR (FLUJO DE ALIMENTACION)		$\frac{CM^3}{MIN}$	450	450	450	450	450
VELOCIDAD DE LA MAQUINA		R.P.M.	1150	1170	1120	1100	1135
TEMPERATURAS T1 - TEMPERATURA AMBIENTAL		°C	22	23	23	23	22.7
T2 - TEMPERATURA DE ENTRADA AL GENERADOR DE VAPOR		°C	26	27	28	28	27.25
T3 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA		°C	150	148	148	148	148.7
T4 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA ENTRADA DE LA MAQUINA		°C	116	114	114	114	114
T5 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA DE LA MAQUINA		°C	97	97	98	97	114.5
T6 - TEMPERATURA DEL FLUJO DE CONDEN SADO A LA ENTRADA		°C	22	21	22	22	21.7
T7 - TEMPERATURA DEL FLUJO DEL CONDEN SADO A LA SALIDA		°C	38	38	39	39	38.5
T8 - TEMPERATURA DEL CONDENSADO		°C	37	35	35	35	35.5
AGUA DEL CONDENSADO COLECTADA EN 3 MINUTOS.		Gr.					49

TABLA DE LECTURAS

CONDICIONES DE CARGA (2 RESISTENCIAS)

TIEMPO		MINS.	0	1	2	3	PROM.
DINAMOMETRO (CONDICIONES DE SALIDA)	V	VOLTS	3.4	3.6	3.6	3.6	3.5
	I	AMPERS	0.46	0.47	0.47	0.47	0.46
GENERADOR DE VAPOR	PRESION	BARS	2.75	2.60	2.45	2.40	2.5
	FLUJO DE COMBUST.	CM3 MIN	1500	1500	1500	1500	1500
CONDENSADOR (FLUJO DE ALIMENTACION)		CM3 MIN	450	450	450	450	450
VELOCIDAD DE LA MAQUINA		R.P.M.	1205	1280	1330	1260	1268.7
TEMPERATURAS T1 - TEMPERATURA AMBIENTAL		°C	23	24	24	24	23.7
TEMPERATURA DE ENTRADA T2 - AL GENERADOR DE VAPOR		°C	25	26	27	27	26.2
TEMPERATURA DEL VAPOR T3 - A LA SALIDA		°C	149	147	149	143	147
TEMPERATURA DEL VAPOR A LA T4 - ENTRADA DE LA MAQUINA		°C	121	125	121	120	121.7
TEMPERATURA DEL VAPOR A LA T5 - SALIDA DE LA MAQUINA		°C	100	101	100	100	100.25
TEMPERATURA DEL FLUJO DE T6- CONDENSADO A LA ENTRADA		°C	23	23	23	23	23
TEMPERATURA DEL FLUJO DEL T7 - CONDENSADO A LA SALIDA		°C	56	58	57	56	56.75
T8 - TEMPERATURA DEL CONDENSADO		°C	46	46	46	45	45.7
AGUA DE CONDENSADO COLECTADA EN 3 MINUTOS		Gr					98

TABLA DE LECTURAS

CONDICIONES DE CARGA (3 RESISTENCIAS)

TIEMPO		MINS	0	1	2	3	PROM
DINAMOMETRO (CONDICIONES DE SALIDA)	V	VOLTS	2.9	2.65	2.7	2.8	2.76
	A	AMPS.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
GENERADOR DE VAPOR	PRESION	BARS	2.6	2.57	2.55	2.55	2.56
	FLUJO DE COMB	CM ³ MIN	1550	1550	1550	1550	1550
CONDENSADOR (FLUJO DE ALIMENTACION)		CM ³ MIN	450	450	450	450	450
VELOCIDAD DE LA MAQUINA		R.P.M.	1200	1190	1210	1220	1205
TEMPERATURAS							
T1 - TEMPERATURA AMBIENTAL		°C	23	23	23	23	23
T2 - TEMPERATURA DE ENTRADA AL GENERADOR DE VAPOR		°C	26	26	27	28	26.75
T3 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA		°C	147	144	144	146	145.25
T4 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA ENTRADA DE LA MAQUINA		°C	126	120	121	122	122.25
T5 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA DE LA MAQUINA		°C	100	100	101	101	100.5
T6 - TEMPERATURA DEL FLUJO DE CONDEN SADO A LA ENTRADA		°C	23	23	23	23	23
T7 - TEMPERATURA DEL FLUJO DEL CONDENSADO A LA SALIDA		°C	57	57	57	56	56.75
T8 - TEMPERATURA DEL CONDENSADO		°C	46	45	46	46	45.75
AGUA DE CONDENSADO COLECTADA EN 3 MINUTOS		Gr					101

TABLA DE LECTURAS

CONDICIONES DE CARGA (4 RESISTENCIAS)

TIEMPO		MINS	0	1	2	3	PROM
DINAMOMETRO (CONDICIONES DE SALIDA)	V	VOLTS	2.55	2.4	2.42	2.42	2.44
	I	AMPS	0.76	0.74	0.74	0.74	0.74
GENERADOR DE VAPOR	PRESION	BARS	2.3	2.3	2.25	2.3	2.28
	FLUJO DE COMB.	$\frac{CM^3}{MIN}$	1600	1600	1600	1600	1600
CONDENSADOR (FLUJO DE ALIMENTACION)		$\frac{CM^3}{MIN}$	450	450	450	450	450
VELOCIDAD DE LA MAQUINA		R.P.M.	1140	1100	1085	1136	1115.25
T1 - TEMPERATURAS TEMPERATURA AMBIENTAL		°C	25	24	24	24	24.25
T2 - TEMPERATURA DE ENTRADA AL GENERADOR DE VAPOR		°C	26	26	26	27	26.25
T3 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA		°C	143	142	144	144	143.25
T4 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA ENTRADA DE LA MAQUINA		°C	122	122	122	122	122
T5 - TEMPERATURA DEL VAPOR A LA SALIDA DE LA MAQUINA		°C	102	102	102	102	102
T6 - TEMPERATURA DEL FLUJO DE CONDENSADO A LA ENTRADA		°C	23	23	23	23	23
T7 - TEMPERATURA DEL FLUJO DEL CONDEN SADO A LA SALIDA		°C	59	58	58	58	58.25
T8 - TEMPERATURA DEL CONDENSADO		°C	50	49	49	48	49
AGUA DE CONDENSADO COLECTADA EN 3 MINUTOS		Gr.					106

RESULTADOS DE PRACTICAS CON DATOS EXPERIMENTALES.

PRACTICA No. 1

EFICIENCIA DE LA CALDERA (η_c)

$$c = \frac{\dot{m}v (h_v - h_l)}{q_s} \quad (\%)$$

DONDE :

$$q_s = \dot{m}gP_c$$

q_s = Calor suministrado a la caldera

$\dot{m}g$ = Flujo volumétrico del gas

P_c = Poder calorífico del combustible

h_l = Entalpía de líquido

h_v = Entalpía del vapor

Se determina el flujo del vapor ($\dot{m}v$)

$$\dot{m}v = \frac{\dot{m}c}{t} = \frac{\text{MASA DEL CONDENSADO}}{\text{TIEMPO DEL CONDENSADO}} \quad \left(\frac{\text{gm}}{\text{min}} \right)$$

$$\dot{m}v = \frac{98}{3} = 32.67 \quad \left(\frac{\text{gm}}{\text{min}} \right)$$

h_v Tablas de vapor sobre calentado con promedios de presión y temperatura registrados en la caldera.

h_l Se determina de tablas de vapor saturado a condiciones de :

$$h_l = C_p \text{ agua } T \text{ agua}$$

$$c = \left(\frac{32.67}{10^3} \right) \left(\frac{2747.2 - 109.7}{139.7} \right)$$

$$c = 0.6168 = 61.68 \%$$

EVAPORACION EQUIVALENTE (E. Q.)

$$E. Q. = mv \frac{(h_v - h_l)}{h_{ve}}$$

DONDE : hve = Entalpía específica de evaporación. Tablas de vapor 100°C.

$$h_{ve} = 2257 \left(\frac{kg}{kg} \right)$$

$$E.Q. = \frac{32.67}{10^3} \left(\frac{2747.2 - 109.7}{2257} \right) \left(\frac{kg}{min} \right)$$

$$E.Q. = 38.2 \left(\frac{32}{min} \right)$$

BALANCE TERMICO DE LA CALDERA :

Del total de calor suministrado (Qs), se determina el total de energía de entrada al sistema.

$$Q_s = (F_c) (V_{ec}) \left(\frac{Kj}{min} \right) \dots (1)$$

DONDE : Fc = Flujo de combustible.

$$\left(1500 \frac{cm^3}{min} \right) \delta \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

Vec = Valor específico del combustible.

$$93.15 \left(\frac{Mj}{m^3} \right) \delta \left(\frac{Kj}{min} \right)$$

$$Q_s = \left(\frac{1500}{10^6} \right) \left(\frac{93.15 \times 10^6}{10^3} \right) \left(\frac{Kj}{min} \right)$$

$$Q_s = 139.725 \left(\frac{Kj}{min} \right)$$

Para el cálculo de la energía para la producción del vapor (Qv), se obtiene de

$$Qv = mv \quad (hv - hl) \quad \dots (2)$$

$$hv^{147} \quad 3.55$$

$$Qv = 32.67 \quad (2747.2 - 109.7)$$

$$Qv = 86.2 \quad \left(\frac{Kj}{min} \right)$$

La ecuación que determina el cálculo de la energía de salida en la caldera es, (Esc) :

$$Esc = Mg \quad Cp \quad (Tsc - Tpa) \quad \left(\frac{Kj}{min} \right) \quad \dots (3)$$

DONDE :

$$Mg = \left(\frac{g^2}{4} \times 10^{-6} \right) \quad (Vgc) \quad (\rho) \quad \left(\frac{Kg}{min} \right)$$

$$Mg = \left(\frac{42^2}{4} \times 10^{-6} \right) \quad (0.9 \times 60) \quad 1.339 \quad \left(\frac{Kg}{min} \right)$$

$$Mg = 0.1 \quad \left(\frac{Kg}{min} \right)$$

$$Esc = (0.1) \quad (1.05) \quad (305 - 23.75)$$

$$Esc = 29.531 \quad \left(\frac{Kj}{min} \right)$$

Realizando el balance de energía en la caldera :

$$\text{Total de calor suministrado (Qs) ; } \left(\frac{Kq}{min} \right) \quad \dots (1)$$

$$\text{Energía del vapor (Qv) ; } \left(\frac{Kj}{min} \right) \quad \dots (2)$$

$$\text{Energía de salida (Esc) ; } \left(\frac{Kj}{min} \right) \quad \dots (3)$$

$$Qs = 139.725 = (100 \%)$$

$$Qv = 86.2 = (61.1 \%)$$

$$Esc = 29.531 = (21.1 \%)$$

La energía por pérdidas a los alrededores (E_{pa}) es obtenida de la ecuación :

$$E_{pa} = Q_s = (Q_v + E_{sc})$$

$$E_{pa} = 139.725 - (86.2 + 29.531)$$

$$E_{pa} = 24.0$$

Del total de calor suministrado : 139.7 ($\frac{Kj}{min}$)

Energía del vapor (86.2) (61.1) (%)

Energía de la salida del condensador (29.5) (21.1) (%)

Energía por pérdidas a los alrededores ($\frac{24.0}{139.7}$) ($\frac{17.2}{100}$) (%)

PRACTICA No. 2

Transferencia de energía al sistema máquina / generador, y al sistema del condensador.

Prueba en la máquina para determinar la eficiencia.

Potencia indicada (P_i) = P_m ALN

DONDE :
$$P_m = K_d \left(\frac{P_1}{r} \right)^{1 + \log_e r} - P_2 \left(\frac{N_w}{m^2} \right)$$

P_1 y P_2 Son presiones absolutas es decir.
presión calibrada + presión atmosférica.

K_d = Factor del diágrama (0.8)

$$P_m = 0.8 \left(\frac{1.5}{2} \left[1 + \log_e^2 \right] - 1 \right)$$

$$P_m = (0.216 \text{ bars}) \delta \left(21.00 \frac{N_w}{m^2} \right)$$

Para la obtención del radio (r) es :

$$\delta = \text{Radio de Expansión} : r = \frac{V_1}{V_c} = 2$$

Obtención del Area :

Para el pistón de doble acción " A " como lo es para este caso en particular el - área es la suma del área superior del pistón + el área efectiva de la conexión final del rodamiento, esto es.

Conicidad del Rodamiento = $\delta = 4$ (mm)

Area del cilindro "A" esto es
$$= \frac{\pi}{4} \left[d^2 + (d^2 - dr^2) \right] \text{ (mm}^2 \text{)}$$

DONDE : $d^2 = \delta$ del cilindro del pistón 19.05 (mm)

$dr^2 = \delta$ de capacidad de rodamiento.

$$A = \frac{3.1416}{4} \left[19.05^2 + (19.05^2 - 4.00^2) \right]$$

$$A = 557.5 \text{ (mm}^2 \text{)}$$

$L = \varnothing$ del cilindro

$L = 19.05$ (mm)

Para determinar la velocidad de la máquina (N) tenemos.

$$N = \frac{\text{RPM}}{t}$$

DONDE : RPM. Velocidad Promedio de la Máquina

t Tiempo en segundos

$$N = \frac{1269}{60} = 21.15 \text{ RPM.}$$

Por lo tanto la potencia indicada está dado por:

$$P_i = (P_m) (A) (L) (N) \quad (\text{WATTS})$$

$$P_i = (0.216 \times 10^5) (\frac{557.5}{10^6}) (\frac{19.05}{10^3}) (21.15)$$

$$P_i = 4.85 \quad (\text{WATTS})$$

$$\text{POTENCIA AL FRENO} = \text{Entrada al Generador} = \frac{\text{Salida de Generador}}{\text{Eficiencia del Generador}}$$

$$\text{GENERADOR} = 70 \%$$

$$\text{POTENCIA AL FRENO} = \frac{VI}{(\%) \text{ GENERADOR}}$$

DONDE : V = Voltaje Promedio

I = Corriente Promedio

$$\text{POTENCIA AL FRENO} = \frac{3.55 \times 0.468}{0.7} = 2.37 \quad (\text{WATTS})$$

$$\text{EFICIENCIA MECANICA} = \frac{\text{PODER AL FRENO}}{\text{POTENCIA INDICADA}} \times 100 \%$$

$$\text{EFICIENCIA MECANICA} = \frac{2.37}{4.85} (100) = 48.9 \%$$

$$\text{EFICIENCIA TERMICA AL FRENO} = \frac{\text{PODER AL FRENO}}{\text{ENERGIA SUMINISTRADA}} \times \text{SEG. (ESS)}$$

La energía suministrada por segundo es decir, Watts de entrada.

$$\text{ESS} = (\text{Entalpía del vapor por segundo}) - (\text{Entalpía de salida por segundo})$$

$$\text{Ess} = m v (h_1 - h_v)$$

$$h_1 \text{ @ } T_4 \text{ (Promedio)}$$

$$h_v \text{ @ } T_5 \text{ (Promedio)}$$

Es decir, condiciones del vapor : (0.5 + 1.0) = 1.5 Bar (P ATM.)

$$T_4 = 121.7^\circ \text{C} = 394.7^\circ \text{K}$$

Condiciones de salida = 1 bar (P.A.)

$$T_5 = 100^\circ \text{C} = 373.2^\circ \text{K}$$

$$\text{Ess} = \frac{32.67}{60} \left\{ \begin{array}{l} 2693 + 1.9 \left\{ 121.7 - 111.4 \right\} \\ 2675 + 1.89 \left\{ 100.2 - 99.6 \right\} \end{array} \right\} -$$

$$\text{Ess} = 19.84 \frac{\text{Joules}}{\text{seg.}} \text{ (Watts)}$$

$$\text{POTENCIA AL FRENO} = \frac{2.37}{19.84} \times 100 = 11.94 \%$$

PRACTICA No. 3

BALANCE TERMICO DE LA PLANTA.

ENERGIA TRANSFERIDA AL SISTEMA DEL CONDENSADOR.

A LA ENTRADA

ENTRADA AL CONDENSADOR = SALIDA POR LA MAQUINA

Vapor a condición de la temperatura (T5) y 1 bar de presión absoluta fluyendo a razón de 32.67 $\left(\frac{\text{gm}}{\text{min}}\right)$

Energía a la entrada del condensador (E.E.C.)

$$EEC = \overset{\circ}{m} v h \quad h \quad T5$$

$$EEC = \overset{\circ}{m} v (h1 + Cp (T1 - T2)) \quad (\text{Watts})$$

DONDE :

$$h1 @ T5 \quad (\text{PROMEDIO})$$

$$Cp @ T5 \quad (\text{PROMEDIO})$$

$$T1 = T5$$

$$EEC = 32.67 (2675 + 1.89) (100.2 - 99.6)$$

$$EEC = 1457 \quad (\text{Watts})$$

La energía inicial para el enfriamiento del agua es (Ei E) = 450 $\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{min}}\right)$

$$Ei E = \frac{\overset{\circ}{m} \text{ agua}}{t} \times h^2 \times T \quad (\text{Watts})$$

DONDE :

$$\overset{\circ}{m} \text{ agua} = \text{flujo másico del agua}$$

$$t = \text{Tiempo} \quad (\text{Seg})$$

$$h^2 = \text{Entalpía del agua}$$

$$T = \text{Temperatura} \quad (^\circ\text{C}) \text{ Ambiental}$$

$$EIE = \frac{450}{60} \times 4.18 \times 23 = 721.05 \text{ (Watts)}$$

A LA SALIDA

$$Ec = \frac{\overset{\circ}{mv}}{t} \times h \times T \text{ (Watts)}$$

DONDE : $\overset{\circ}{mv} = \text{Flujo Másico del Vapor (} \frac{\text{gm}}{\text{min}} \text{) } 45.7$

$$Ec = \frac{32.67}{60} \times 4.18 \times 45.7 = 104 \text{ (Watts)}$$

Energía final en el enfriamiento del agua ($450 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}$ 56.75°C)

$$EIE \frac{450}{60} \times 4.18 \times 56.75 = 1779.11$$

Energía por Radiación :

$$E.R = (1457 + 721) - (104 + 1779)$$

$$E.R = 295 \text{ (Watts)}$$

CONCLUSIONES :

Este manual ha sido elaborado con la finalidad de proporcionar una fuente más de información con la cual puedan contar tanto los alumnos como los profesores del área de los laboratorios de Ingeniería de la escuela Nacional de Estudios Profesionales "Aragón" de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al poner en funcionamiento la nueva planta de vapor "CUSSONS", se intenta contribuir en buena forma a fomentar el interés por la investigación en los alumnos.

El uso de esta nueva planta generadora de vapor, trae consigo el no estar dependiendo únicamente de un equipo como fuente experimental del mismo sistema, como hasta la fecha se estaba haciendo.

Se debe tener en consideración que el buen uso y funcionamiento del equipo, depende únicamente de las personas encargadas del manejo del sistema. Así como también del buen mantenimiento que se le proporcione.

En cuanto al uso del manual es pertinente darlo a conocer entre los profesores del área, para que tanto ellos como los alumnos cuenten con la información específica del equipo pues está es la base del buen manejo de la planta, así como de la información necesaria elemental en la cual se fundamenta.

En cuanto al contenido global del trabajo es pertinente mencionar que los seis capítulos que se manejan todos ellos llevan una relación estrecha, al no poderse hablar de ellos en particular sin hacer o tener referencia a los otros como parte complementaria de la información a la cual se hace referencia.

Espero de una forma muy sincera que la realización de este trabajo sirva en realidad como apoyo ya que esa fué la idea con la cual se realizó y esto dependerá únicamente de los compañeros profesores del área que lo comuniquen a las personas que se interesen no únicamente en la planta de vapor "CUSSONS" sino que puede servir de referencia para otros equipos en general del mismo ó similar sistema de funcionamiento.

B I B L I O G R A F I A

ALAN BROWSTER

MAQUINAS DE VAPOR Y CALDERAS.
EDITORIAL GIEM
MEXICO, 1972

THE BABCOCK & WILCOX Co.

THE STEAM, ITS GENERATION
AN USE
U.S.A. 1963

C.F.E.

TECNOLAB - EL GENERADOR DE VAPOR.
FEBRERO, 1978 VOL III No. 13
IRAPUATO, GTO.

C.F.E.

DEL FUEGO A LA ENERGIA NUCLEAR.
MARZO, 1987
MEXICO, D.F.

C.F.E.

CENTRAL GEOTERMoeLECTRICA DE
CERRO PRIETO.
MEXICALI, B.C.
AGOSTO, 1982

D. JOSE RAMIREZ VAZQUEZ

CENTRALES ELECTRICAS
EDITORIAL. CEAC, S.A.
BARCELONA ESPAÑA
1973

E. SANTOS POTESS

CENTRALES ELECTRICAS
EDITORIAL. GUSTAVO GUILLI, S.A.
BARCELONA ESPAÑA
1978

FAIRES V.M.

THERMODYNAMICS
EDITORIAL MACMILLAN
4A EDICION. 1962

G. CUSSENS LTD

MINIATURE STEAM PLANT
INSTRUCTION MANUAL
TSD / MW / BM /
U.S.A. 4183

GORDON J. VAN WYLEN Y
RICHARD E. SONTANG.

FUNDAMENTOS DE TERMODINAMICA
EDITORIAL. LIMUSA
MEXICO, 1980

JOSE LUIS SANCHEZ BRIBIESCA

INTRODUCCION A LA GEOTERMIA
INSTITUTO DE INGENIERIA U.N.A.M.
C.F.E.

KENNETH WARK

TERMODINAMICA
EDITORIAL M^C GRAW HILL
CUARTA EDICION
1987

MORSE F.T.

CENTRALES ELECTRICAS
C.E.C.S.A.
1975

SEVERNS W.H.

ENERGIA MEDIANTE VAPOR,
AIRE O GAS.
EDITORIAL. REVERTE, S.A.
1961

SEVERNS W.H.

PRODUCCION DE FUERZA Y ENERGIA.
EDITORIAL. REVERTE, S.A.
MEXICO, 1984 .

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA

APUNTES DEL LABORATORIO DE MAQUI
NAS TERMICAS.

WOLF GANG PALZ

ESTUDIO ECONOMICO DE LA ENERGIA
SOLAR.
EDITORIAL BLUME
UNESCO