

31
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"

"PROPUESTA DE PRACTICAS Y MANTENIMIENTO
DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL
LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS
DE LA E N E P ARAGON"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n :

① **HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO**

ASESOR: ING. SERGIO ANGELES CRAVIOTO

② **PEREZ LARES, JOSE ALFREDO**



San Juan de Aragón, Edo. de México, 1996.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

TESIS PROFESIONAL

" PROPUESTA DE PRACTICAS Y, MANTENIMIENTO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE MAQUINAS TÉRMICAS DE LA E.N.E.P. ARAGÓN"

PRESENTAN:

HERNÁNDEZ MARTÍNEZ SERGIO Y

PÉREZ LARES JOSÉ ALFREDO.

ASESOR :

ING. SERGIO ÁNGELES CRAVIOTO.

1996.

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO DE TESIS A LO MAS HERMOSO QUE DIOS ME HA DADO : MI FAMILIA.
PORQUE EN CADA UNO DE ELLOS DIOS PUSO ALGO DE MI Y YO TENGO ALGO DE ELLOS. A:

MI PAPA ISIDORO POR SU AMOR Y CONSTANCIA
MI MAMA ALICIA POR SU APOYO Y CARÍÑO
MI TÍO LUPE POR SU SABIDURÍA Y PACIENCIA
MI HERMANO DORO POR SU PERSEVERANCIA Y GRACIA
MI HERMANA OLIVIA POR SU PERDÓN Y TERNURA
MI HERMANA PATY POR SU AMISTAD Y ALEGRÍA

POR SER MI FAMILIA GRACIAS

TAMBIÉN AGRADEZCO POR LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO A NUESTRO ASESOR:
SERGIO ÁNGELES CRAVIOTO

DE UNA MANERA MAS SENCILLA Y ESPECIAL TAMBIÉN AGRADEZCO A :

SERGIO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ
MARISELA CURTIDOR CONTRERAS
MA. GUADALUPE PALACIOS GONZÁLEZ
SERGIO MARTÍNEZ PACHECO

POR SU AMISTAD Y PACIENCIA BRINDADA EN ESTOS AÑOS DE ESTUDIO.

COINCIDIR

" SOY VECINO DE ESTE MUNDO POR UN RATO
Y HOY COINCIDE QUE TAMBIÉN TU ESTAS AQUÍ,
COINCIDENCIAS TAN EXTRAÑAS EN LA VIDA,
TANTOS SIGLOS, TANTOS MUNDOS,
TANTO ESPACIO Y COINCIDIR

SI NAVEGO CON LA MENTE EL UNIVERSO
O SI QUIERO A MIS ANCESTROS RETORNAR
AGOBIADO ME DETENGO Y NO IMAGINO
TANTOS SIGLOS, TANTOS MUNDOS,
TANTO ESPACIO Y COINCIDIR.

SI EN LA NOCHE ME ENTRETENGO EN LAS ESTRELLAS,
Y CAPTURE A LA QUE EMPIEZA A FLORECER,
LA SOSTENGO ENTRE LAS MANOS...MAS ME ALARMA,
TANTOS SIGLOS, TANTOS MUNDOS,
TANTO ESPACIO Y COINCIDIR.

SI LA VIDA ME SOSTIENE POR INSTANTES
Y UN INSTANTE ES EL MOMENTO DE EXISTIR,
SI LA VIDA ES OTRO INSTANTE...NO COMPRENDO...
TANTOS SIGLOS, TANTOS MUNDOS,
TANTO ESPACIO Y COINCIDIR"

DEDICADO A TODAS LAS PERSONAS QUE HE CONOCIDO A LO LARGO DE
TODA MI VIDA PERO ESPECIALMENTE A MI FAMILIA.

JOSÉ ALFREDO PÉREZ LARES

A MIS PADRES :

CRISTINA MARTÍNEZ CRUZ.
MIGUEL ANGEL HERNÁNDEZ ARIZMENDI

LES DEDICO ESTE TRABAJO DE TESIS CON MI SINCERO AGRADECIMIENTO POR TODOS LOS SACRIFICIOS QUE REALIZARON PARA QUE YO PUDIERA CONCLUIR MIS ESTUDIOS.

A MIS HERMANOS :

ROSA MARÍA, JOSÉ MIGUEL, PATRICIA YOLANDA, DAVID, ..., POR EL APOYO QUE ME HAN DADO, PERO SOBRE TODO, POR SU EJEMPLO QUE HA SIDO MI PRINCIPAL MOTIVACIÓN; A MARCO ANTONIO, OSCAR, CARLOS, FERNANDO Y ERNESTO, PARA QUE ESTE TRABAJO SEA UN ESLABÓN MAS EN LA CADENA DE LOGROS PROFESIONALES DE TODOS NOSOTROS.

TAMBIÉN AGRADEZCO :

A NUESTRO ASESOR :

ING. SERGIO ÁNGELES CRAVIOTO, POR SUS COMENTARIOS Y SUGERENCIAS EN LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

A MIS AMIGOS :

JOSÉ ALFREDO PÉREZ LARES, POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS, INTERÉS Y ESFUERZO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

A MI NOVIA MARY SELA CURTIDOR CONTRERAS , POR QUE ESTE LOGRO ES FRUTO DE UN TRABAJO DONDE PUSISTE TU ESFUERZO Y DEDICACIÓN.

A LUPITA PALACIOS GONZÁLEZ, SERGIO MARTÍNEZ PACHECO, SERGIO HIDALGO PÉREZ, ENRIQUE ORTEGA GONZÁLEZ, J. JESÚS TREJO CALVA, POR APOYO, AMISTAD Y COMPENSIÓN.

A MI ESCUELA PROFESIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES "ARAGÓN" Y A TODOS Y CADA UNO DE LOS PROFESORES QUE ME TRANSMITIERON SUS CONOCIMIENTOS A LO LARGO DE MI PREPARACIÓN PROFESIONAL.

PERO SOBRE TODO GRACIAS A DIOS QUE ME PERMITE COMPARTIR ESTA SATISFACCIÓN CON MI FAMILIA, QUE ES LO MAS VALIOSO EN MI VIDA, Y CON MIS AMIGOS.

SERGIO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ.

INDICE

INTRODUCCION	1
------------------------	---

CAPITULO I *CONCEPTOS BASICOS DE TURBINAS DE VAPOR.*

II.1. INTRODUCCION	2
1.2. CLASIFICACION GENERAL DE TURBINAS	3
1.3. CLASIFICACION DE TURBINAS DE VAPOR.	3
I.3.1. Tipos de Turbinas de Vapor.	4
I.3.2. Clasificación de las turbinas de Vapor por la forma de conversión de energía.	5
I.3.2.1. El tipo de Curtis de Impulsión.	5
I.3.2.2. Turbinas de Reacción.	7
I.3.2.3. Turbinas de Impulsión-Reacción, Tipo Parsons.	7
I.3.2.4. Otras combinaciones.	7
I.3.2.4.(a) Tipo Curtis-Rateau.	8
I.3.2.4.(b) Tipo Curtis-Parsons.	8
I.3.3. Otras Clasificaciones de las Turbinas.	8
I.3.4. Principio de Funcionamiento.	9
I.3.5. Dirección del Flujo a través del Rodete.	9
I.3.6. Principios o Bases de Diseño.	15
I.4. CICLO DE RANKINE.	17
I.4.1. Formas en que se puede mejorar la eficiencia del Ciclo.	19
I.4.1.(a) Ciclo Regenerativo.	19
I.4.1.(b) Ciclo con Recalentamiento.	20
I.5. APLICACIONES.	22
I.5.1. Plantas Termoeléctricas.	22
I.5.1.1. Generación de electricidad con Turbinas de Vapor.	23
I.5.1.2. Generación de electricidad con Turbinas de Gas.	23
I.5.1.3. Ciclo Combinado.	23
I.5.2. Sistemas de Cogeneración.	23
I.5.2.1. Turbina de Vapor.	26
I.5.2.2. Turbina de Gas.	26
I.5.2.3. Ciclo Combinado.	26

I.5.3. Otras Aplicaciones.	29
------------------------------------	----

CAPITULO II. TURBINA DE VAPOR COPPUS.

II.1. ESPECIFICACIONES GENERALES.	31
II.1.1. Turbina.	31
II.1.2. Generador C.D.	31
II.1.3. Gobernador Relevador de Aceite RL Coppus.	32
II.1.4. Condensador.	32
II.1.5. Bomba de Vacío.	33
II.1.6. Bomba de Retorno de Condensados.	33
II.2. COMPONENTES PRINCIPALES.	33
II.2.1. Turbina de Vapor.	33
II.2.2. Generador C.D.	36
II.2.3. Gobernador Relevador de Aceite RL Coppus.	36
II.2.3.1. Ajuste de Velocidad del Gobernador.	36
II.2.3.2. Operación del Gobernador.	42
II.2.3.2.(a) Conjunto del Cabezal Esferico.	42
II.2.3.2.(b) Función de la Válvula Piloto.	42
II.2.3.2.(c) Guía Deslizante.	47
II.2.3.2.(d) Ajuste de Caída.	47
II.2.4. Condensador.	47
II.2.5. Bomba de Vacío.	50
II.2.5.1. Descripción General.	50
II.2.5.2. Ciclo de Operación.	50
II.2.6. Bomba de Retorno de Condensados.	51
II.2.7. Gatillo de Seguridad.	52
II.3. ACCESORIOS.	54
II.4. PRECAUCIONES DURANTE EL ARRANQUE Y LA OPERACION.	61
II.5. DISPOSICIONES DE SEGURIDAD QUE DEBERAN TENERSE PRESENTES ANTES DE REALIZAR ALGUNA PRACTICA CON LA TURBINA COPPUS.	62
II.5.1. El Choque Eléctrico.	62
II.5.2. Quemaduras.	63

II.5.3. Lesiones por Causas Mecánicas.	63
--	----

CAPITULO III. PROPUESTA DE PRACTICAS.

III.1 PRACTICA 1: PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y FRENADO EN LA TURBINA DE VAPOR Y CALCULO DE LA POTENCIA ELECTRICA Y POTENCIA AL FRENO.	65
III.2. PRACTICA 2: TOBERAS (MEDICION TEORICA DEL VAPOR UTILIZADO POR LA TURBINA).	79
III.3. OPERACION DEL GOVERNADOR PARA CAMBIOS DE VELOCIDAD EN LA TURBINA.	86
III.4. CALCULO DE RENDIMIENTOS A VELOCIDAD CONSTANTE.	95
III.5. CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL CICLO DE RANKINE MEDIANTE LOS METODOS ANALITICO Y GRAFICO.	104
III.6. ANÁLISIS DEL CICLO RANKINE.	111
III.7. ANALISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL CONDENSADOR.	123
III.8. ANALISIS DE LA CONVERSION DE ENERGIA MECANICA EN ENERGIA EN EL GENERADOR C.D. DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS.	132

CAPITULO IV. MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DEL EQUIPO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS.

IV1. INTRODUCCION.	143
IV.1.1. EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO.	144
IV.1.2. EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	144
IV.1.2.1. Mantenimiento Preventivo Predictivo.	144
IV.1.2.2. Mantenimiento Preventivo Periódico.	145
IV.1.2.3. Mantenimiento Preventivo Analítico.	145
IV.1.2.4. Mantenimiento Preventivo Técnico.	146
IV.1.2.5. Mantenimiento Preventivo Progresivo.	146
IV.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO REALIZADO A LA TURBINA.	147
IV.2.1. Desmontaje del Gobernador.	147
IV.2.2. Ajuste de la Conexión de Estrangulación.	148
IV.2.3. Desensamble del Collarin del Gatillo de Seguridad.	148

IV.2.4. Remoción de la válvula del Gatillo de Seguridad.	150
IV.2.5. Remoción de las válvulas de Estrangulación y de Admisión.	150
IV.2.6. Desmontaje del Soporte del Bastidor y Brida con Rodamiento de la Cubierta de Entrada.	151
IV.2.7. Desmontaje de la Brida y Rodamiento de la Cubierta de Salida.	151
IV.2.8. Desmontaje del Cáster que contiene los Anillos de Carbón.	153
IV.2.9. Reemplazo del Rodete o Flecha de la Turbina.	153
IV.2.10. Limpieza de la Corrosión.	155
IV.3. CORRECCION DE FALLAS.	157
IV.3.1. Corrección de Fallas en la Turbina.	157
IV.3.2. Problemas que se pueden presentar en el Generador C.D. y sus posibles causas.	164
IV.4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	166
IV.4.1. Mantenimiento de la Turbina.	166
IV.4.1.1. Mantenimiento Diario.	166
IV.4.1.2. Mantenimiento Semanal.	166
IV.4.1.3. Mantenimiento Mensual.	167
IV.4.1.4. Mantenimiento Anual.	167
IV.4.2. Mantenimiento del Generador C.D. Scott.	167
IV.4.2.1. Limpieza Habitual.	168
IV.4.2.2. Lubricación.	169
IV.4.3. Mantenimiento de la Bomba de Vacío.	169
IV.4.3.1. Sello Mecánico.	169
IV.4.3.2. Caja del Prensaestopas.	169
IV.4.3.3. Cojinetes.	171
IV.4.3.4. Otros puntos de importancia.	171
IV.4.4. Mantenimiento de la Bomba de Retorno de Condensados Ryvin.	171
IV.4.4.1. Lubricación del Cojinete de Bolas del Motor Eléctrico.	171
IV.3.4.2. Desaereación del Obturador Mecánico.	172
CONCLUSIONES.	173
BIBLIOGRAFIA.	174

INTRODUCCIÓN

La electricidad constituye una forma de energía indispensable en la vida cotidiana. Es uno de los medios más importantes de que se ha valido el hombre para lograr grandes avances científicos y tecnológicos; además de que le brinda comodidad y diversión.

La electricidad que consumimos en fábricas y hogares proviene de la transformación de una fuente de energía primaria; energía cinética y potencial en las centrales hidroeléctricas; energía calorífica de los combustibles en las centrales térmicas. Estas energías son convertidas en energía mecánica disponible en un eje, la cual a su vez es transformada en energía eléctrica.

En las turbinas es donde se lleva a cabo la conversión de la energía primaria a energía de movimiento mecánico, siendo las turbinas de vapor las más utilizadas, porque a través de ellas se produce cerca de las dos terceras partes de la electricidad en el país.

Por lo tanto, las termoeléctricas constituyen un importante campo de trabajo para egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica eléctrica del área energética y por ello es necesario que cuente con una buena práctica profesional.

Consideramos que este trabajo de tesis es un recurso que puede ayudar a conseguir este objetivo, con el apoyo de la enseñanza teórica de las diferentes materias del área energética.

El primer capítulo comprende aspectos generales de las turbinas de vapor que van desde la definición de lo que es una turbina, clasificación, tipos, principio de operación, ciclos termodinámicos utilizados como modelos de estudio para una planta termoeléctrica y diferentes aplicaciones. Esto proporciona bases teóricas fundamentales sobre las turbinas de vapor.

En el segundo capítulo se trata aspectos más específicos de la turbina de vapor Coppus del Laboratorio de Máquinas térmicas. Se da una clasificación de la turbina de acuerdo a la teoría del capítulo uno, se describen los diferentes componentes de la misma los cuales son: condensador, generador C.D., bomba de vacío, bomba de retorno de condensados, regulador de velocidad (governador); se describen además los diferentes accesorios con que cuenta el equipo. También se menciona precauciones y disposiciones de seguridad que se deben tomar en cuenta durante la operación del equipo para su uso eficiente y seguro.

El capítulo tres constituye la parte más importante de este trabajo. En él se proponen ocho prácticas que abarcan temas interesantes como son: el cálculo de las diferentes potencias presentes en la conversión de energía térmica a eléctrica, rendimientos o eficiencias, balances de energía, regulación de velocidad, etc. Al inicio de cada práctica se mencionan las materias que a nuestro juicio les puede ser de utilidad para llevar a la práctica los conceptos teóricos que en ellas tratan.

Para el cuarto y último capítulo se proporciona información relacionada con el mantenimiento preventivo que debe dársele a la máquina. Se da información para realizar un mantenimiento correctivo y se proporciona material de apoyo visual (fotografías).

Con este trabajo de tesis damos a conocer a los alumnos de la carrera de Ingeniería mecánica eléctrica la turbina de vapor y es un apoyo para obtener el máximo beneficio didáctico del equipo.

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS DE TURBINAS DE VAPOR

CONCEPTOS BÁSICOS DE TURBINAS DE VAPOR.

I.1. INTRODUCCIÓN.

TURBINA.

Definición. Es una turbomáquina destinada a transformar en movimiento giratorio de un rodete la fuerza viva o la presión de un fluido¹.

La palabra *turbo* o *turbinis* es de origen latino e implica que aquellas giran. Esencialmente consta de una corona de álabes giratoria o rotor.

TURBOMÁQUINA.

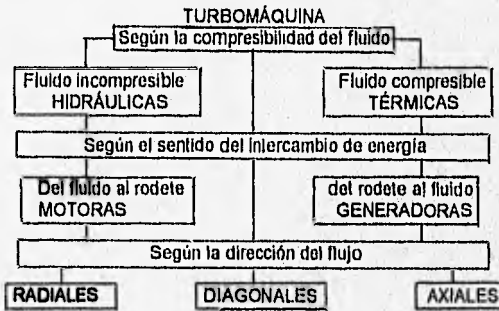
Definición. Las turbomáquinas son máquinas rotativas que permiten la transferencia de energía entre un fluido y un rotor provisto de álabes que giran dentro de una carcasa o cuerpo estructural.

La transferencia de energía tiene su origen en las propiedades elásticas del fluido de trabajo y en los cambios que sufre el momento de la cantidad de movimiento del fluido con relación al tiempo, mientras éste pasa por los ductos que forman álabes y carcasa, sobre los que determina acciones y reacciones equivalentes a fuerzas.

Si la transferencia de energía se hace de máquina a fluido se tiene un compresor, si es de fluido a máquina se tiene una turbina; en los compresores el fluido de trabajo es el aire u otros gases. En las turbinas puede ser el agua, el vapor de agua o gases procedentes de la combustión de combustible, generalmente derivado del petróleo.

Su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler o ecuación fundamental de las turbomáquinas.

A continuación se da una clasificación de las turbomáquinas.



Las turbomáquinas radiales pueden ser centrífugas o centrípetas.

1. Enciclopedia tematica DANAE.

I.2. CLASIFICACIÓN GENERAL DE TURBINAS.

De acuerdo a la compresibilidad del fluido de trabajo se clasifican en *Turbinas hidráulicas* y *Turbinas térmicas*.

Turbinas Hidráulicas. Son aquellas en las que el fluido intercambiador de energía o fluido de trabajo puede considerarse como incompresible, porque su compresibilidad es prácticamente despreciable, por lo que no sufre cambios de volumen dentro de la máquina.

Turbinas Térmicas. Son aquellas en las que el fluido de trabajo a de considerarse como compresible porque sufre cambios importantes de volumen dentro de la máquina.

La importancia de esta distinción es evidente cuando se considera la energía interna.

Las máquinas térmicas son capaces de transformar la energía interna de un fluido en trabajo o convertir trabajo en energía interna en forma disponible. Las máquinas hidráulicas no hacen estos intercambios. Obviamente que todo tipo de máquina es capaz de elevar la energía interna de un fluido por medio de los efectos de fricción. Esta energía no tiene utilidad práctica en los fluidos incompresibles.

Ambos tipos de turbinas son consideradas máquinas motoras debido a que transfieren energía extraída del fluido al ambiente en forma de trabajo mecánico.

Se clasifican también como máquinas dinámicas, porque el flujo del fluido de trabajo es continuo y además ocurren cambios importantes de su velocidad dentro de la máquina.

En las turbinas el rotor o rodete causa cambios importantes en las componentes rotacionales de la velocidad. Según la dirección del flujo en el rodete se clasifican en radiales, axiales y diagonales.

Una última clasificación es de acuerdo al principio impulso y reacción. Cuando el fluido intercambia sólo su energía cinética con el elemento rotativo (rodete) la turbina es de impulso o acción pura. En la turbina de impulso no hay cambio de presión del fluido al pasar por el elemento móvil.

Cuando el fluido intercambia energía con el elemento rotativo mediante una caída de presión, la turbina es de reacción pura.

Existen varios tipos de turbinas en las cuales al pasar el fluido por el rodete sufre tanto un cambio de presión como de velocidad. Estas máquinas usan una combinación de los principios de impulso y reacción.

I.3. CLASIFICACIÓN DE TURBINAS DE VAPOR.

Turbina de vapor. Es una turbomáquina capaz de convertir la energía termodinámica del vapor de agua en energía mecánica en el eje de la máquina. El vapor que sirve de fluido de trabajo, se genera en un generador de vapor mediante agua líquida y calor.

La turbina de vapor es una máquina importante en la actualidad, constituyendo el órgano fundamental de las plantas termoeléctricas.

Como es sabido, el calor constituye hoy en día la principal fuente energética de que el hombre se sirve para operar transformaciones en la materia. Puede decirse que las grandes conversiones del calor en energía mecánica son efectuadas principalmente en este tipo de máquinas, dado que poseen una alta eficiencia. Con excepción de la generada por la fuerza hidráulica, la totalidad de la energía eléctrica que se consume hoy en día en fábricas y hogares de todo el mundo, se produce mediante estas ingeniosas y altamente tecnificadas máquinas.

1.3.1. Tipos de turbinas de vapor.

Las turbinas de vapor pueden ser axiales o radiales, según sea la dirección del flujo a su paso por los ductos entre los álabes de la máquina. Las más generalizadas son las de tipo axial, en las que el flujo tiene lugar en la dirección del eje de la turbina. En las radiales, el flujo sigue la dirección del radio, pudiendo ser hacia dentro o hacia fuera.

Las turbinas axiales pueden ser de impulso o de reacción. En las primeras se aprovecha la energía cinética del fluido obtenido en toberas apropiadas. En las de reacción se utiliza fundamentalmente la energía de presión del fluido, aunque también la cinética. Las turbinas de vapor se componen de varios pasos, escalonamientos o celdillas, agrupándose en un primer cuerpo de alta presión los escalonamientos de impulso, y en uno o varios cuerpos de baja presión, los escalonamientos de reacción.

Por otra parte, según sean las aplicaciones, las turbinas de vapor pueden ser de condensación, cuando descargan el vapor húmedo en un condensador a presiones muy bajas, del orden de 35 a 60 mbar. En otros tipos, la presión de descarga es de algunos bar por encima de la presión atmosférica, para emplear el vapor en otros usos; denominándose a estas turbinas de contrapresión.

En unas y otras pueden realizarse extracciones de vapor a presiones intermedias para producir recalentamientos y mejorar el título de vapor que realiza la expansión, para tener mejores rendimientos y reducir los daños en los álabes.

En las turbinas de condensación es conveniente hacer uso del sistema de regeneración del vapor como medio eficaz, de incrementar el rendimiento térmico.

Las turbinas de vapor pueden ser de alta o baja velocidad, según sirvan para impulsar sistemas mecánicos, compresores, bombas, etc., o sean destinadas a mover alternadores para la generación de energía eléctrica. Estas últimas suelen girar a 3000, 3600, 500 ó 1800 r.p.m., según sea la frecuencia de trabajo y el tamaño de la máquina.

1.3.2. Clasificación de las turbinas de vapor por la forma de conversión de energía.

La turbina de vapor realiza internamente una doble transformación de la energía que recibe como vapor a elevadas presión y temperatura. En primer lugar, la energía térmica es convertida en energía cinética cuando el vapor se expande al pasar por la boquilla y se dirige en forma de chorro contra los álabes del rotor, figura 1.1(a); en segundo lugar, parte de esta energía cinética es transformada en energía mecánica de rotación en el rotor, mediante adecuada dirección del chorro de la boquilla sobre la superficie de los álabes en las turbinas de impulsión. Esta conversión se hace igualmente en las turbinas de reacción o Parsons, por reacción del chorro de vapor al actuar sobre los álabes de tambores estacionarios para poner en movimiento los tambores rotativos o rotores, figura 1.1(b). También pueden combinarse en la misma unidad las acciones de impulsión y reacción. Sin embargo, las turbinas de mediana y pequeña capacidad son siempre de impulsión, por cuanto su generación no permite absorber los costos que implicarían los otros sistemas.

La clasificación más generalmente usada es por la forma de transformación de la energía interna, a la cual hemos hecho referencia, y que permite resumir los tipos más comerciales en la siguiente forma:

Turbinas de impulsión (Curtis)	1. Tipo Laval. 2. Tipo Elliot. 3. Tipo Moore. 4. Tipo Terry.
Turbinas de reacción (Parsons)	1. Tipo Ljungstron.
Turbinas de impulsión- reacción (Compound)	1. Tipo axial o Parsons. 2. Tipo Curtis-Rateau. 3. Tipo Curtis- Parsons.

Algunas características principales de los tipos anteriores son:

1.3.2.1. El tipo Curtis de impulsión de una sola etapa es digno de mención, porque sus características se aprovechan en tipos compuestos económicos y de alto rendimiento. Consta de una sola hilera de alabes en un rodete giratorio y un solo paso de flujo de vapor a través de la hilera de alabes. Es un tipo de turbina de moderada velocidad, con gran calda de presión a la salida de la boquilla y presión

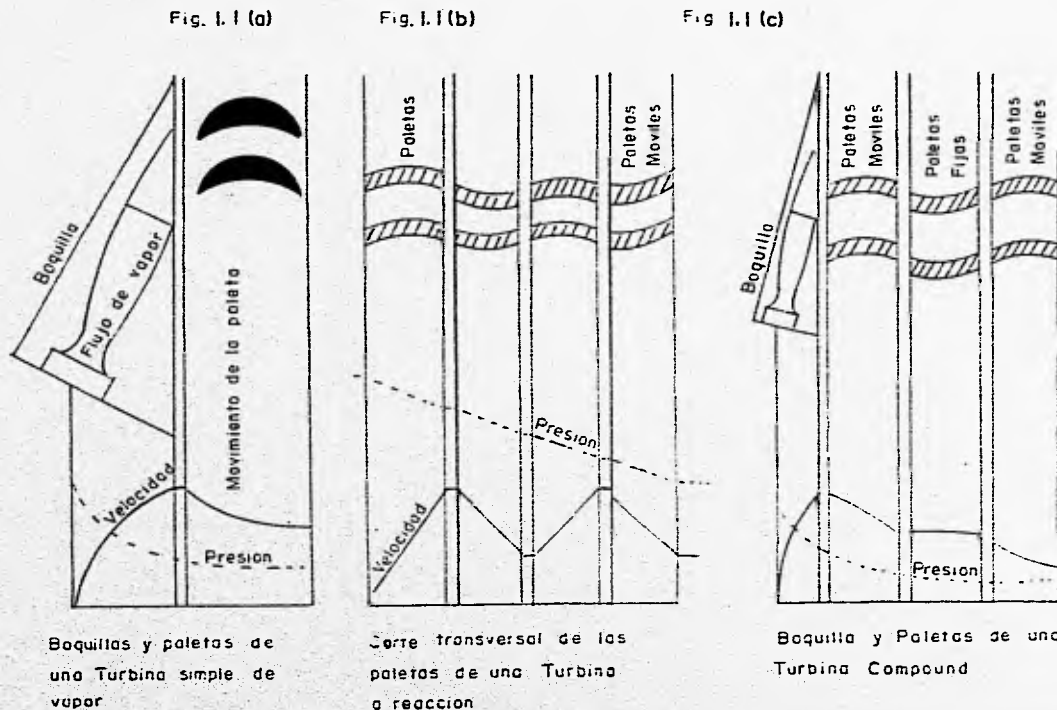


FIGURA 1.1 PRINCIPIO DE IMPULSO-REACCION

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO

uniforme a lo largo de la etapa. A pesar de que es de poco rendimiento, su bajo costo y la relativa gran potencia obtenible en pequeñas unidades lo hace muy comercial para generación eléctrica y sus capacidades y características están estandarizadas. Figura 1.1 (a).

1.3.2.2. Turbinas de reacción. El tipo Ljungstron de doble rotación y flujo radial consiste en dos conjuntos de álabes rotativos entreverados que giran en sentidos opuestos cada dos. Cada conjunto de un solo sentido opera un generador eléctrico, de manera que cada turbina acciona dos generadores eléctricos acoplados a sus extremos. La velocidad relativa de rotación entre los dos conjuntos de rotores es el doble de la correspondiente a un tambor fijo y uno giratorio, obteniéndose así mayores rendimientos y potencia para un diámetro dado.

Cuando la turbina es pequeña va montada directamente sobre su condensador de superficie, con lo cual se logra una unidad compacta y económica que permite usar vapor a alta temperatura.

Las turbinas grandes de este tipo son *no condensantes*, en tanto que las pequeñas son *condensantes*. Una y otra disposiciones son adaptables a grupos turbo-generadores.

1.3.2.3. Turbinas de impulsión-reacción, tipo Parsons. Este tipo es de flujo radial, figura 1.1(c), y consta de uno o varios rodetes giratorios dentro de un cilindro, alternados con rodetes fijos, ambos sistemas de rodetes con hileras de álabes de inclinación alternada de cada rodete fijo al giratorio que sigue. La disposición de los álabes en cada rodete es tal que forman entre sí pasos de vapor u orificios contraídos, produciéndose a la salida de cada rodete una expansión con caída de la presión del vapor.

El rendimiento máximo en estas turbinas se obtiene con una velocidad de los álabes igual al 90% de la del vapor, lo cual impone velocidades moderadas en éste y muchos rodetes giratorios para obtener una capacidad de generación conveniente. Diseños más prácticos y económicos se obtienen, pues, con valores

$$\text{Velocidad de los álabes / Velocidad del vapor} = 0.90$$

con menos hileras de álabes y diseño de turbinas más cortas y económicas.

1.3.2.4. Otras combinaciones. Se sabe que el rendimiento del conjunto térmico en una planta de generación eléctrica se mejora mediante etapas de condensación y recalentamiento, que permitan reducir a un mínimo las pérdidas de vapor y de entalpia. Esta circunstancia permite el diseño de tipos combinados, de los cuales los más notables para operación de alternadores o de acoplamientos turbogeneradores son el Curtis-Rateau de impulsión, de varias etapas, y el Curtis-Parsons de reacción.

En esencia, una turbina de varias etapas consiste en una serie de turbinas simples acopladas al mismo eje, cada turbina constituyendo una etapa en la cual el vapor se expande sólo en una porción del campo total de presión disponible en la boquilla de la primera etapa.

1.3.2.4.(a). Tipo Curtis-Rateau. Esta turbina aúna las características de la Curtis simple de una sola etapa con las de una serie de etapas simples con boquillas propias, resultando una turbina más corta que la de etapas múltiples directas. La caída de presión es bastante apreciable en la etapa inicial, resultando la presión y la temperatura relativamente bajas en las carcasas; Las razones de las velocidades de los álabes en los rotores a las del vapor son favorables para un buen rendimiento. El conjunto es corto y compacto, de construcción robusta y económica, especialmente adecuado para acoplamiento en grupos turbo-generadores.

1.3.2.4.(b). Tipo Curtis-Parsons. Este es una combinación del tipo Curtis de impulsión simple y del Parsons de reacción, en la cual la primera etapa, que es siempre Curtis de alta presión, es seguida de una serie de etapas Parsons de reacción en el extremo de baja presión, con lo cual se ha logrado una unidad más corta y económica que la Parsons, acoplada en un grupo turbo-generador de condensación. Es además más robusta que la turbina Parsons estándar y se obtiene con ella un rendimiento satisfactorio en unidades pequeñas y muy alto en grandes unidades.

1.3.3. Otras clasificaciones de las turbinas es:

Según el número de álabes que reciben el vapor:

1. *Turbinas de admisión total*, cuando el vapor llena totalmente los álabes del rodete.
2. *Turbinas de admisión parcial*, si el vapor, llena solamente una parte de estos álabes.

Y teniendo en cuenta el estado del vapor a la entrada:

1. *Turbinas de vapor vivo*, cuando el vapor de entrada procede directamente del generador de vapor; a su vez, las turbinas de vapor vivo pueden ser:

- a) Turbinas de vapor saturado.
- b) Turbinas de vapor recalentado.

2. *Turbinas de vapor de escape*, cuando utiliza la energía contenida en el vapor de escape de otra máquina térmica (por ejemplo, la máquina de vapor, la turbina de contrapresión, etc.). Casi siempre, estas turbinas son de vapor saturado.

1.3.4. Principio de funcionamiento.

Funciona con un principio muy similar al del rehilete, que gira rápidamente cuando se sopla sobre sus paletas. En la turbina de vapor se dispone una cantidad de aletas curvas llamadas álabes sobre el borde de una rueda. Cuando se dirige contra dichos álabes el vapor proveniente de varias toberas, la rueda gira a alta velocidad (ver figura 1.2). Al abandonar la rueda, el vapor está aún muy caliente. A pesar de haberse expandido algo, puede efectuarse todavía buena cantidad de trabajo. Por ello, casi todas las turbinas se construyen con varias ruedas giratorias montadas sobre el mismo eje de manera que la energía del vapor pueda utilizarse más completamente.

Para conseguir que éste incida sobre cada álabe en el ángulo apropiado y pueda extraerse cuanta energía sea posible, la turbina suele construirse como indica la figura 1.3. Entre las ruedas giratorias de álabes se disponen álabes fijos, según se muestra. El vapor penetra por muchas toberas y choca contra el primer conjunto de álabes giratorios. Puede entrar a una velocidad de aproximadamente 1600 kilómetros por hora y a temperaturas por encima de los 500° C, golpea los álabes curvos y, al rebotar, hace girar la rueda a gran velocidad.

Cuando abandona el primer conjunto de álabes, el vapor a cambiado su dirección. Incide entonces sobre una serie de álabes fijos, que lo devuelven a su dirección anterior. Al dejarlas, choca contra el próximo grupo de álabes móviles y les imparte también un impulso. Así va pasando a través de todos los álabes giratorios y fijos de la turbina. En algunos golpea hasta 5000 álabes en 24 rodetes, en menos de 1/30 de segundo, según los cálculos efectuados, la velocidad tangencial de las ruedas puede estar cercano a los 1600 Km./Hrs.

Es tan grande la fuerza del vapor cuando sale de las toberas y golpea los álabes de la primera rueda, que puede efectuar trabajo ejerciendo gran presión sobre una superficie muy pequeña. Por eso la primera rueda y sus álabes se construyen relativamente pequeños. A medida que el vapor incide sobre los sucesivos álabes de una rueda tras otra, su fuerza se va desgastando en cierta medida. Para utilizar su restante energía tanto como sea posible se recurre al recurso de incrementar el diámetro de las ruedas y el tamaño de sus álabes a medida que se aproxima al extremo de salida de la turbina.

1.3.5. Dirección del flujo a través del rodete.

En las turbinas el rotor o rodete causa cambios importantes en las componentes rotacionales de la velocidad. Es por ello que es útil estudiar como se comporta una partícula de fluido a través del rodete para las tres diferentes direcciones de flujo (radial, axial y diagonal).

Para explicar cada uno de estos tres tipos estudiaremos primero la figura 1.4 donde se ha trazado la trayectoria absoluta de una partícula de fluido en el rodete. En un punto A de esta trayectoria se

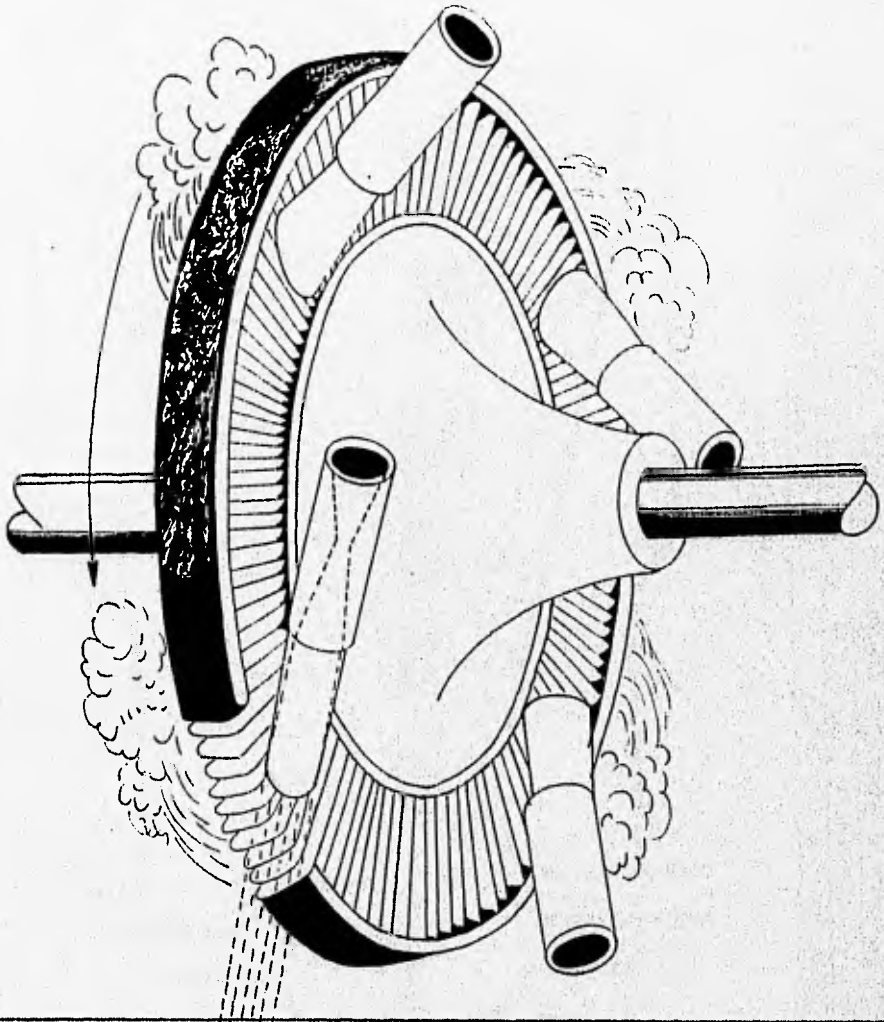


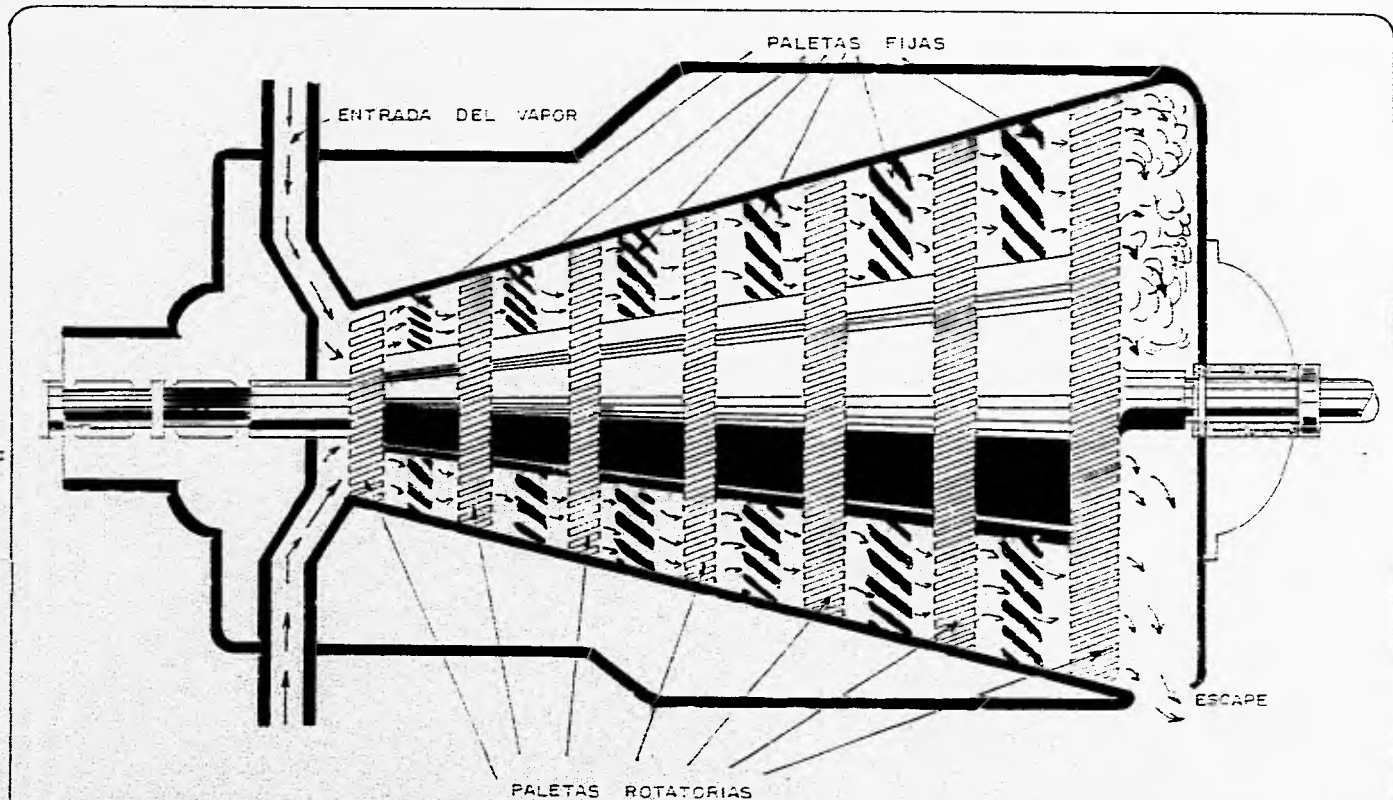
FIGURA 1.2 PRINCIPIO DE OPERACION

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL I PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA
DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.



ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO

FIGURA 1.3 TURBINA DE VAPOR MOSTRANDO LAS PALETAS FIJAS Y ROTATORIAS

Troyectoria absoluta
de una partícula de
fluido (filamento
de corriente)

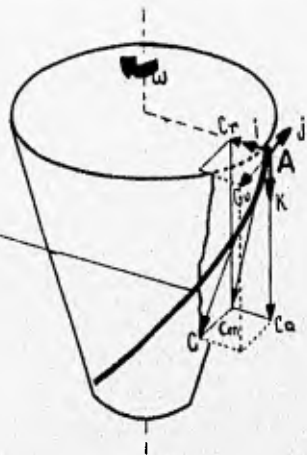


Fig.1.4 Triedra intrínseco de una turbomáquina diagonal cónica (superficie de corriente desarrollable en un plano).

Troyectoria
absoluta

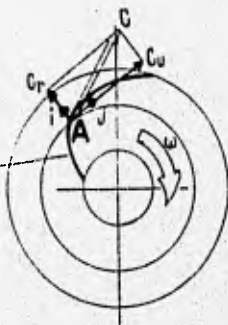


Fig.1.5 Troyectoria absoluta de una partícula en el rodete de una máquina radial, y componentes de la velocidad absoluta del fluido según el triedro intrínseco.

FIGURAS 1.4 Y 1.5 DIRECCION DEL FLUJO A TRAVES DEL RODETE	
ENEP ARAGON UNAM	INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS	
PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.	

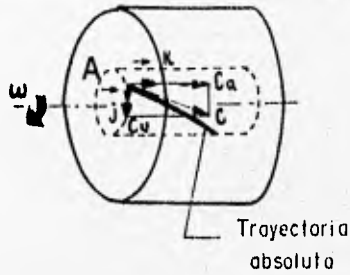


Fig. 3. Trayectoria absoluta de una partícula en el radete de una turbomáquina axial, y componentes de la velocidad absoluta del fluido según el triédro intrínseco.

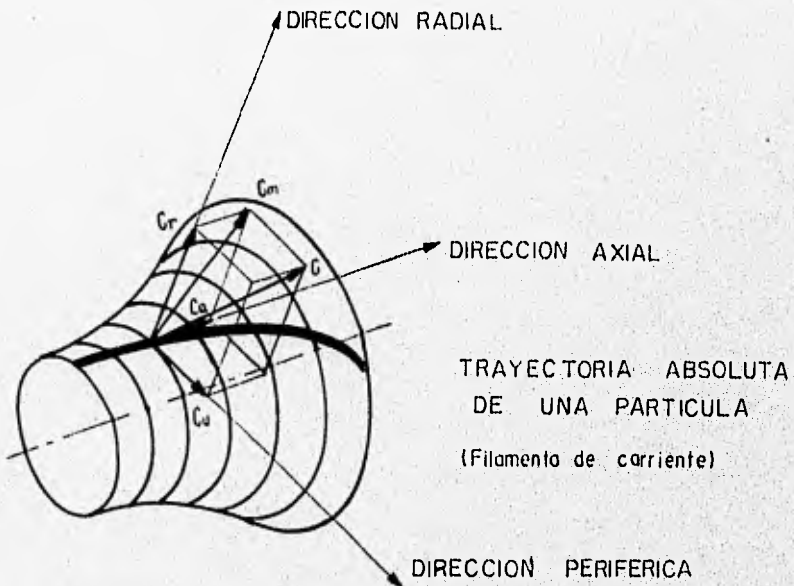


Fig. 4. Trayectoria absoluto de una partícula en el radete de una turbomáquina dioganol, y componentes de la velocidad absoluta del fluido según el triédro intrínseco.

ENEP ARAGON UNAM	INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS	
PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.	
FIGURAS 1.6 Y 1.7 DIRECCION DEL FLUJO A TRAVES DEL RODETE	

definen los vectores, i, j, k , respectivamente en la dirección del radio, de la tangente y en la dirección axial, de manera que formen un triedro dextrogiro, como se indica en la figura. Estos tres ejes que varían su orientación en el espacio, según el punto considerado, constituyen el triedro *intrínseco* de una turbomáquina. En el caso particular de la figura (rodete diagonal cónico) la partícula describe su trayectoria en el rodete en un cono. En general la velocidad del fluido en un punto tendrá componentes según los tres vectores unitarios. En la figura c es la velocidad absoluta del fluido en el punto A , con sus tres componentes: c_r en la dirección del radio, c_u en la dirección de la tangente a un paralelo, y c_a en la dirección del eje.

En las máquinas *radiales* cada partícula del fluido se mueve en el rodete en un plano transversal al eje de la máquina (en un plano i, j). Por lo cual, en todo punto del rodete la velocidad c de una partícula de fluido será:

$$c = i c_r + j c_u$$

La partícula no se desplaza en la dirección del eje, siendo el movimiento de la partícula un movimiento plano. En la figura 1.5 puede verse la trayectoria absoluta de una partícula de fluido en una máquina radial, que gira con velocidad angular w , con las dos componentes de la velocidad absoluta del fluido en el punto A .

En las *máquinas axiales*, figura 1.6, una partícula de fluido se mueve en el rodete de manera que la coordenada radial del vector desplazamiento permanece constante, y por lo tanto, la componente radial de la velocidad de una partícula de fluido $c_r = 0$; es decir, se mueve en un cilindro coaxial con el eje de la máquina (dicho de otra manera, la velocidad se encuentra siempre en un plano j, k). En las máquinas axiales:

$$c = j c_u + k c_a$$

La partícula A se mueve describiendo una hélice en el cilindro. Otra partícula B se moverá en otro cilindro distinto; pero *teóricamente* la velocidad de cada partícula de fluido carece de componente radial: (*Prácticamente* puede existir una pequeña componente radial que generalmente no se tiene en cuenta en el diseño).

Las máquinas axiales constituyen el grupo más importante en las turbomáquinas.

En las máquinas *diagonales* (llamadas también semiaxiales, radio-axiales, o de flujo mixto), (Fig. 1.4 y 1.7) cada partícula del fluido se mueve en el rodete en una superficie de revolución que tiene como eje el eje de la máquina. (Las máquinas radiales y axiales son en realidad casos particulares, en que la superficie de revolución es un *plano transversal* al eje de la máquina en las primeras, y un *cilindro*

cilindro coaxial con el eje de la máquina en las segundas). En las máquinas diagonales la velocidad tiene las tres componentes, es decir:

$$c = i c_r + j c_u + k c_a$$

La fig. 1.4, corresponde a una máquina diagonal en la cual la superficie de revolución es un cono y la figura 1.7 corresponde a una máquina diagonal en la cual la superficie de revolución no es desarrollable en un plano. En ambas figuras 1.4 y 1.7 se ha dibujado también la llamada *componente meridional de la velocidad*, siendo en toda máquina:

$$c_m = i c_r + k c_a$$

donde c_m - vector que tiene la dirección y el módulo de la diagonal del paralelogramo formado por c_r y c_a y se denomina *componente meridional*.

En las máquinas radiales, siendo $c_a = 0$:

$$c_m = i c_r$$

y en las máquinas axiales, siendo $c_r = 0$:

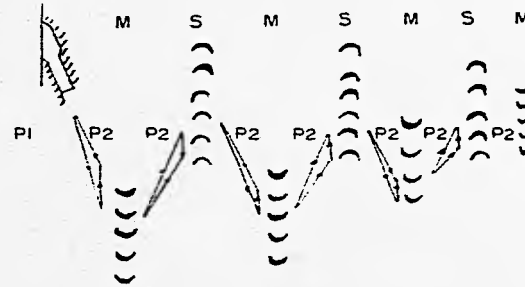
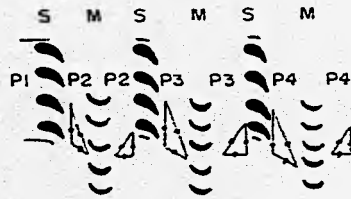
$$c_m = k c_a$$

1.3.6. Principios o bases de diseño.

Una etapa, o paso de turbina, está compuesta de una serie de álabes fijos también llamadas toberas, y una serie de álabes móviles, que se conocen además como cangilones o paletas. Las dos series de elementos actúan en forma conjunta sobre el flujo de vapor para hacer que trabaje el rotor; éste a su vez transmite el movimiento a la carga a través de la flecha sobre la cual está montado.

Son típicos en el diseño de las turbinas dos pasos: "acción" (impulso) y "reacción". En el diseño que utiliza la acción, la caída total de presiones se toma a lo largo de las toberas o elementos fijos, lo que hace que el flujo que pasa a través de los álabes móviles se mantenga a una presión estática constante. Esto puede ampliarse cuando se agrega un grupo adicional de álabes fijos "intermedios" y una hilera de álabes o paletas móviles (Curtis o paso de dos hileras), por las cuales se obliga a pasar al flujo. Véanse los diagramas de velocidades (figuras 1.8 y 1.9).

En el diseño de reacción, la caída total de presión correspondiente a esta etapa se divide por igual entre ambas series de álabes; esto da lugar a un diagrama de velocidad, según se muestra en la figura 1.10. Como puede verse, conforme a las condiciones descritas, se produce una marcada diferencia en las formas de los álabes según el tipo de diseño que se va a emplear. En el paso de acción, los álabes deben hacer que la corriente gire un ángulo mayor, mientras que en el paso de reacción la forma de los álabes es muy parecida a las toberas o paletas fijas.



Simbolos

S, paletas fijas (toberas)
 M, paletas moviles (alabes)
 P, presion

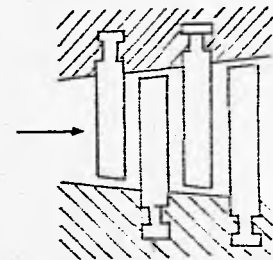
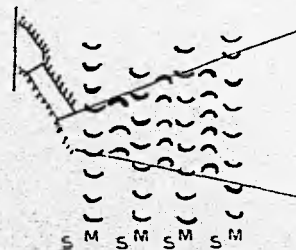
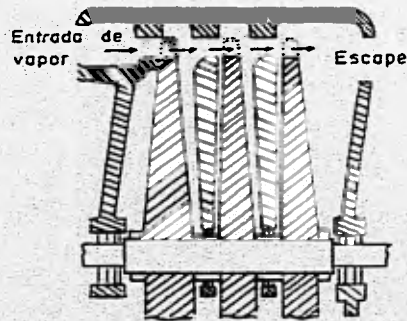
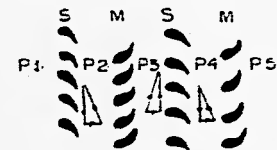


FIGURA 1.8 Turbina de acción con pasos de una sola velocidad.

FIGURA 1.9 Turbina de acción con pasos de velocidad múltiple.

FIGURA 1.10 Turbina de reacción.

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRATICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO

Existen diferencias básicas en la construcción mecánica de los pasos de las turbinas de flujo axial. En general las turbinas de tipo de reacción se continúan construyendo con un "rotor de flujo de tambor" y las paletas fijas sujetas a la caja, en tanto que las del tipo de acción siguen como una construcción de rueda y diafragma. En la práctica los proyectistas emplean la construcción mecánica que consideran más conveniente para obtener la mayor garantía y la más alta eficiencia.

1.4. CICLO DE RANKINE.

Un sistema termomecánico en el cual se emplee una sustancia en estado de vapor como fluido operante, puede funcionar con base en un ciclo de producción, o en uno de consumo, de energía motriz. En un caso o en otro se deben combinar dos o más procesos y usar un ciclo en el que intervenga trabajo o potencia mecánica. Nos limitaremos al empleo del agua como sustancia de trabajo, ya que el vapor de tal sustancia se utiliza y se ha utilizado ampliamente en el funcionamiento de máquinas motrices. Por otra parte, desde los puntos de vista histórico y termodinámico, la "máquina de vapor" fue literalmente el motor o la fuerza motriz de la Revolución Industrial.

En el ciclo de Rankine los procesos de calentamiento y enfriamiento se efectúan a presión constante. La figura 1.11 ilustra en (a) el ciclo de Rankine en un diagrama T-S, y en el (b) se tiene un croquis del que se utiliza en este ciclo.

Al seguir el ciclo desde el estado 1, indicado en (a) y (b) de la citada figura 11, vemos que el agua entra al generador de vapor como un líquido subenfriado (o comprimido) a la presión $p_1 = p_2$. La energía aplicada en el generador de vapor eleva el estado del agua, desde el de líquido subenfriado hasta el de un líquido saturado, y posteriormente, al de vapor saturado en el estado 2. En este último, el vapor sale del generador de vapor y entra a una turbina de vapor donde se expande isentrópicamente hasta el estado 3. En este punto entra al condensador y se convierte en líquido a presión constante, de 3 a 4. En el estado 4, el agua es un líquido saturado a la presión del condensador. El líquido no puede entrar al generador de vapor, que se encuentra a una presión mayor, sino hasta que su presión se iguale a la del generador. Una bomba realiza con gran facilidad esto. El líquido es ahora un líquido comprimido en el estado 1, y el ciclo ha quedado completo. Pero persisten los problemas, ya que si el vapor entrara a la turbina en forma de vapor saturado, como su contenido de humedad sería demasiado alto al pasar por la máquina, resultaría un choque de partículas del líquido y la erosión correspondiente de los álabes de la turbina.

Como el ciclo de Rankine se caracteriza por un calentamiento a presión constante, no hay razón para dejar de calentar el vapor cuando alcanza el estado de vapor saturado. La práctica común consiste en sobrecalentar el vapor, o sea, calentarlo hasta que alcance una temperatura mucho más elevada. La figura 1.12 ilustra la manera en que el sobrecalentamiento desplaza hacia la derecha el

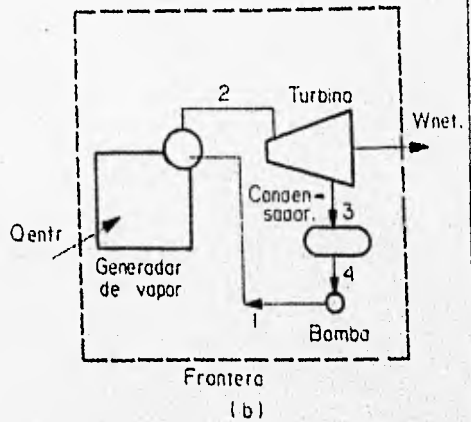
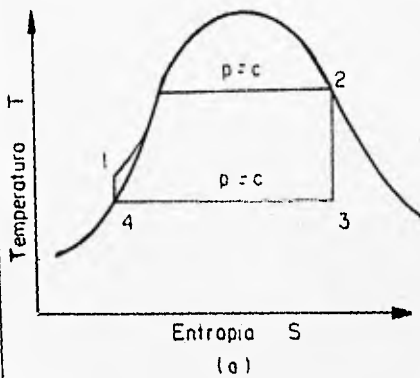
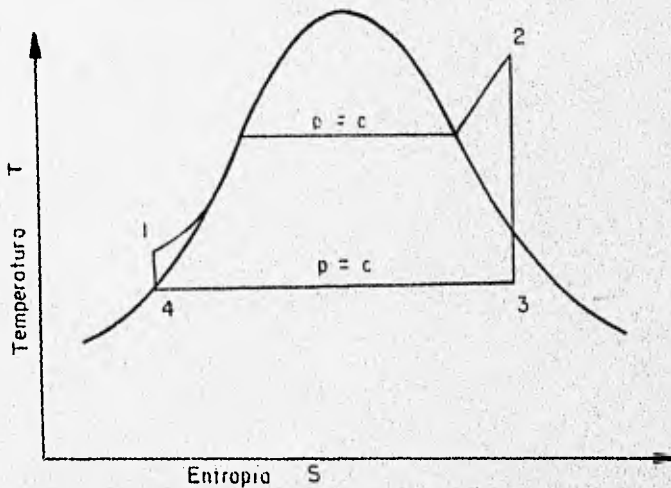


Fig. I.11 (a) Diagrama T-S correspondiente al ciclo de Rankine para un vapor, (b) Croquis de un sistema termomecánico correspondiente al mismo ciclo.

Fig. I.12 Ciclo de Rankine con vapor sobrecalentado en el estado 2.



FIGURAS I.11 Y I.12 CICLO DE RANKINE

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

proceso de expansión isentrópica, evitando así un alto contenido de humedad en el vapor cuando sale de la turbina. Valores característicos de la temperatura del vapor, en el estado 2 son de 485°C a 540°C. Las limitaciones metalúrgicas impiden valores más altos. La presión no se halla limitada y puede encontrarse un más amplio intervalo de presiones.

1.4.1. Formas en que se puede mejorar la eficiencia del ciclo.

1.4.1.(a). Ciclo Regenerativo.

Cuando se piensa en mejorar la eficiencia, puede ocurrirse que si se calentara (es decir, se precalentara) antes de entrar al generador de vapor, entonces no habría que suministrar tanta energía al generador de vapor. Sin embargo, tendríamos que hacer esto de manera que tampoco tuviéramos necesidad de proporcionar energía desde los alrededores. Otro problema es la pérdida de energía en el condensador. Si parte del vapor se toma de la turbina antes que llegue al condensador, y si se utiliza para precalentar el agua de alimentación, entonces se logran dos propósitos: (1), el calor de precalentamiento se obtiene sin necesidad de un suministro adicional de energía, y (2), la entalpía (o calor latente) de evaporación no se pierde al pasar del sistema al condensador. Un ciclo de vapor en donde se emplea este tipo de calentamiento previo del agua de alimentación se denomina *ciclo regenerativo o con regeneración*. La parte (b) de la figura 1.13 ilustra una de estos ciclos, y en (a) se muestra su correspondiente diagrama *T-s*. Observemos que el único flujo de energía térmica a través de la frontera del sistema se produce en el generador de vapor y en el condensador. El calentador regenerativo del agua de alimentación (llamado también regenerador) se halla dentro de la frontera del sistema, de modo que su efecto únicamente ocurre sobre el calor agregado y sobre el trabajo realizado por la turbina.

En el análisis anterior correspondiente a los calentadores regenerativos existen ciertas suposiciones implícitas. La primera es en el sentido de que toda el agua que sale del regenerador lo hace con la entalpía del líquido saturado correspondiente a la presión del vapor de entrada, y que dicho calentador es del tipo de contacto directo.

La eficiencia total de una planta de energía se incrementa cuando se usa un calentador de agua de alimentación. Si uno es conveniente, dos lo serán más, y así sucesivamente. Esto es verdad pero sólo hasta cierto punto. La eficiencia mejorara conforme se utilizan más calentadores de agua de alimentación, pero la ganancia de eficiencia es contrarrestada por el incremento en los costos de mantenimiento y de capital. Generalmente, plantas pequeñas, como las instaladas a bordo de los barcos, cuenta con dos calentadores regenerativos, y las grandes plantas estacionarias llegan a tener seis.

Idealmente, la temperatura del agua de alimentación se eleva en cantidades iguales a través de cada calentador ubicado entre el condensador y la caldera o generador de vapor. La temperatura del vapor saturado del generador de vapor y la temperatura del líquido del condensador son los dos límites que se emplean.

Ubicación óptima del calentador.

Consideremos dos casos, uno en el que un calentador emplea vapor que no a llegado a la turbina, y otro en el que se utiliza vapor que sale de ella. ¿Cuál es la ventaja en cada caso? Ni uno ni otro mejora la eficiencia del ciclo. En el segundo, la temperatura del vapor saliente es la misma que la del líquido que sale del condensador, y no puede ocurrir ninguna transferencia de calor. En el primer caso, el cambiador de calor únicamente actúa como medio de interacción entre el generador de vapor y el regenerador, y no se gana ningún aumento de eficiencia.

En algún lugar entre la entrada y la salida de la turbina se encuentra el punto óptimo para el funcionamiento de un regenerador. Determinar su ubicación constituye un procedimiento de ensayo y error. Por el momento basta darnos cuenta de que el punto óptimo se presenta luego de utilizar vapor en la realización de cierto trabajo, y antes de que lo descargue la turbina. En el caso de un calentador regenerativo para agua de alimentación, el punto óptimo es aquel donde la temperatura de salida del agua calentada se encuentra a la mitad entre la temperatura del vapor saturado del generador de vapor y la temperatura del líquido en el condensador.

1.4.1.(b). Ciclo con Recalentamiento.

La eficiencia térmica de una planta de vapor se mejoró con el empleo del precalentamiento del agua de alimentación, pero, ¿es todo lo que podemos hacer? No. Es posible también volver a calentar el vapor hasta una temperatura elevada después de que se ha expandido parcialmente en la turbina. Una parte considerable del trabajo a realizar por el vapor se ha obtenido ya cuando la presión es tal que el vapor se encuentra saturado o casi saturado. Tal punto es, el lugar adecuado para que el vapor pueda volverse a sobrecalentar. El fluido se lleva luego de nuevo a la turbina, y se expande ahí hasta la presión del condensador. La figura I.14 muestra un croquis (b) y un diagrama T-s en (a) correspondientes al ciclo de recalentamiento. El vapor se expande en la turbina hasta llegar al estado 3, punto en el cual es extraído y resobrecalentado a presión constante hasta el estado 4. La temperatura del vapor en este último estado difiere generalmente en unos 25°C de la temperatura en el estado 2. El vapor vuelve a entrar en la turbina en el estado 4 y se expande hasta la presión del condensador, en el estado 5. El vapor es condensado, y el líquido resultante bombeado nuevamente al generador de vapor, completándose así el ciclo.

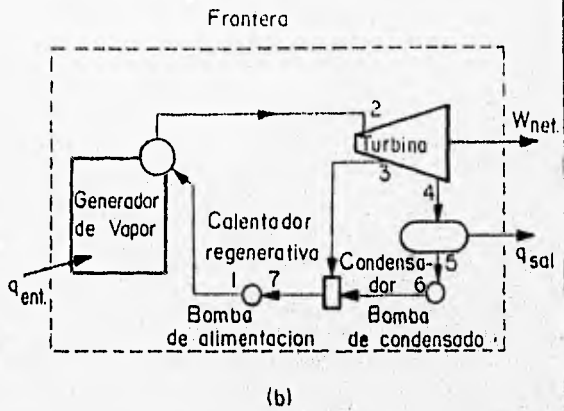
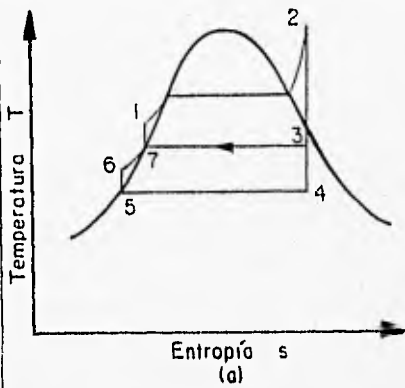
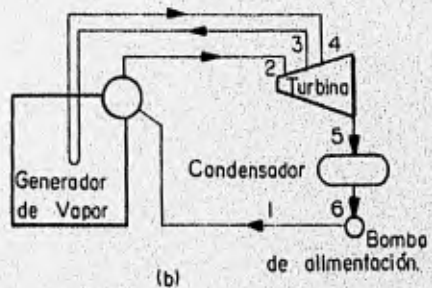
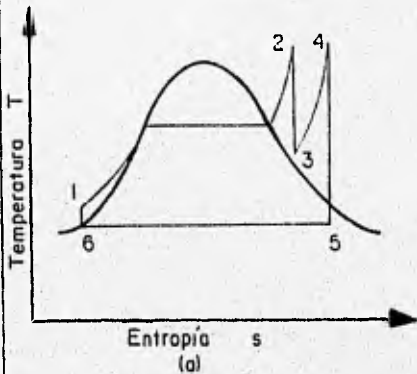


Figura 1.13 (a) Diagrama T-s del ciclo regenerativo con una etapa de precalentamiento del agua de alimentación. (b) Croquis de un ciclo de regeneración con uno etapa de recalentamiento regenerativo.

Figura. 1.14 (a) Diagrama T-s de un planta con una etapa de recalentamiento. (b) Croquis correspondiente a dicho planta.



FIGURAS 1.13 Y 1.14 CICLO REGENERATIVO Y CON RECALENTAMIENTO.

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA.

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

1.5. APLICACIONES.

1.5.1. Plantas termoeléctricas.

Se llama planta de generación a toda estación que transforma una energía primaria dada en otra forma de energía utilizable, eléctrica en nuestro caso, cualquiera que sea la fuente de energía primaria utilizada y la clase de equipo de transformación de energía, llamada comúnmente de generación.

Luego entonces la función primordial de una planta eléctrica consiste en transformar a través de sus máquinas generadoras, una energía primaria que recibe en, energía eléctrica que entrega en los bornes de los generadores. De conformidad con dicha energía primaria, las plantas se clasifican en termoeléctricas, hidroeléctricas y de motor de explosión. Siendo únicamente las primeras objeto de nuestro estudio. Según el fluido de acción en las turbinas y la disposición del equipo de generación; las plantas termoeléctricas se clasifican a su vez en plantas de vapor y plantas de gas.

Las partes esenciales de una planta termoeléctrica son: generador de vapor con una energía termodinámica alta, partiendo del agua líquida y mediante la adición de calor.

La turbina, órgano fundamental que convierte la energía termodinámica del vapor en energía mecánica (trabajo) en su eje, sobre el que también va montado el generador eléctrico. Sigue a la turbina el condensador, donde el vapor con una energía termodinámica residual, vuelve a su estado líquido expulsando calor. Por último, la bomba de alimentación reintegra al generador de vapor el agua líquida que sale del condensador, cerrándose el ciclo.

En forma breve se ha descrito la planta térmica con turbina de vapor con su aplicación más importante, que es la generación de electricidad. Este tipo de planta, según potencia y características, puede servir también para mover un sistema mecánico, ya que se dispone de energía en un eje.

En la actualidad, la electricidad que se consume en el mundo, y que tan variadas y extensas aplicaciones tiene, se genera fundamentalmente en plantas termoeléctricas con turbinas de vapor, ya sean éstas de carbón, petróleo, gas natural, energía nuclear, energía geotérmica o solar; la cantidad de energía producida por este método representa los dos tercios del total de energía eléctrica consumida en el mundo, con una tendencia a aumentar. De aquí la importancia de las turbinas de vapor. Las plantas hidroeléctricas contribuyen con un 30% hoy día, tendiendo a decrecer respecto a valores totales. El resto de energía eléctrica generada corresponde a turbinas de gas, motores diesel y otros.

Sin embargo por regla general la duración del equipo generador en plantas térmicas es inferior al de las plantas hidráulicas. Esto, aunado al costo del combustible y a los mayores gastos de operación y mantenimiento, hace que la energía producida en ellas sea de mayor costo que la

obtenida en alternadores de turbinas hidráulicas. En consecuencia, la aplicabilidad de la generación térmica exige combustible barato en el propio sitio de la planta o cerca de éste, corta distancia de transporte a los sitios de consumo, alto rendimiento térmico, de generación y de transporte y poca disponibilidad de fuentes hidráulicas apropiadas para generación de iguales potencialidad y costo.

1.5.1.1. Generación de electricidad con turbinas de vapor. Las plantas termoeléctricas o más comúnmente llamadas térmicas, son aquellas en que el grupo *turbina-generador* o *turbogenerador* recibe la energía primaria en forma de vapor de agua a altas presión y temperatura, para convertirla en energía mecánica de rotación en la turbina y energía eléctrica a través de la acción conjunta de los campos eléctrico y magnético del generador. La versatilidad de los generadores de vapor para trabajar con varios tipos de combustibles es la principal ventaja de generar electricidad mediante turbinas de vapor. En contraposición, sólo se aprovecha entre el 27 y 35% del total del calor proporcionado por dichos combustibles, debido principalmente a pérdidas en el condensador. Figura 1.15.

1.5.1.2. Generación de electricidad con turbinas de gas. En estos sistemas también el aprovechamiento del calor es bajo, aproximadamente del 30%, debido a las grandes pérdidas que hay a través de los gases calientes de escape de las turbinas. Estas últimas usan como combustible gas natural o destilados ligeros, cuyas propiedades lo hacen más atractivos en otras aplicaciones, por lo cual, en algunos países está prohibido su uso para generar electricidad. Figura 1.16.

1.5.1.3. Ciclo combinado. Este corresponde a una versión mejorada del sistema de generación de electricidad con turbinas de gas, ya que se aprovechan los gases calientes de escape de las turbinas para generar vapor y producir electricidad.

Esto significa que, simultáneamente, se genera energía eléctrica con la turbina de vapor y con la de gas, razón por la cual se le conoce como sistema de ciclo combinado.

La eficiencia en el aprovechamiento del calor del combustible se incrementa hasta un 42%; este es el máximo rendimiento que se puede obtener en su aplicación más común, es decir, en las plantas termoeléctricas. Figura 1.17.

1.5.2. Sistemas de cogeneración.

En la práctica real existen sistemas para ahorro de energía llamados de cogeneración y a continuación hablaremos de ellos.

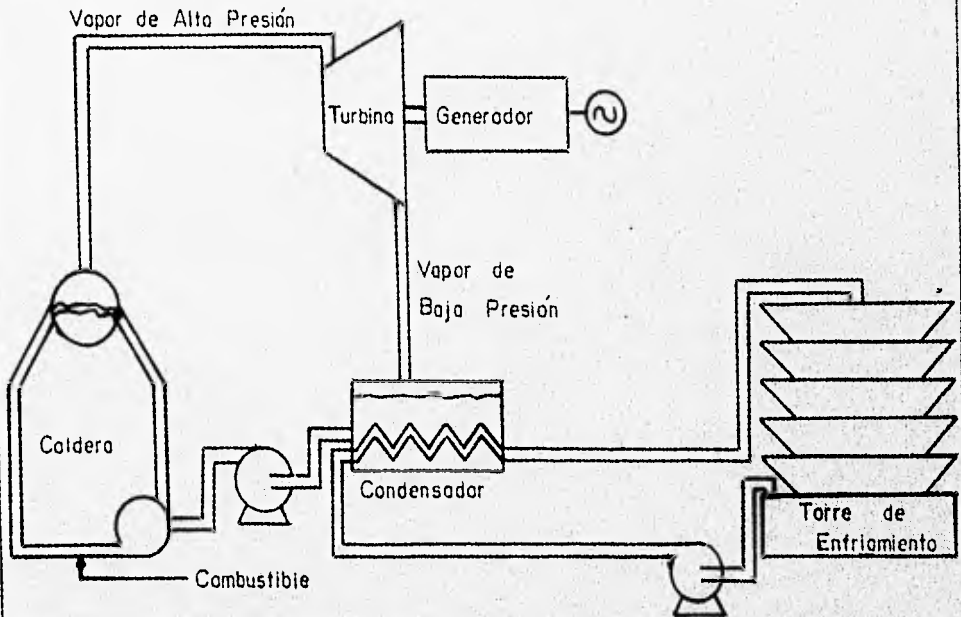
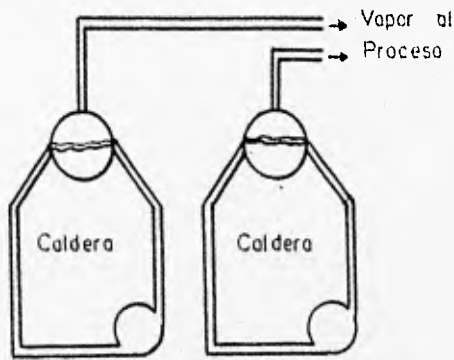


FIGURA 1.15 GENERACION DE ELECTRICIDAD CON TURBINAS DE VAPOR.

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA.

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

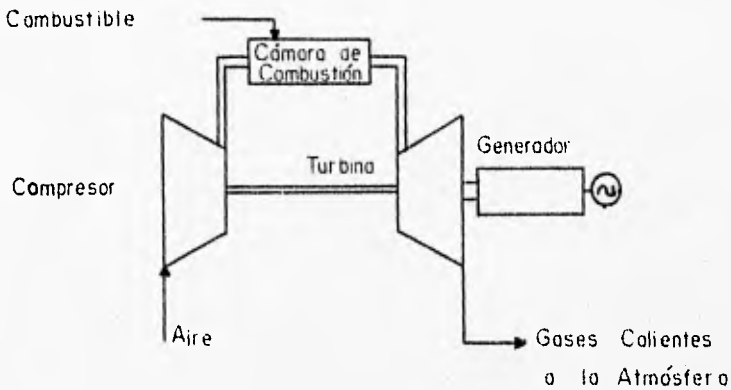
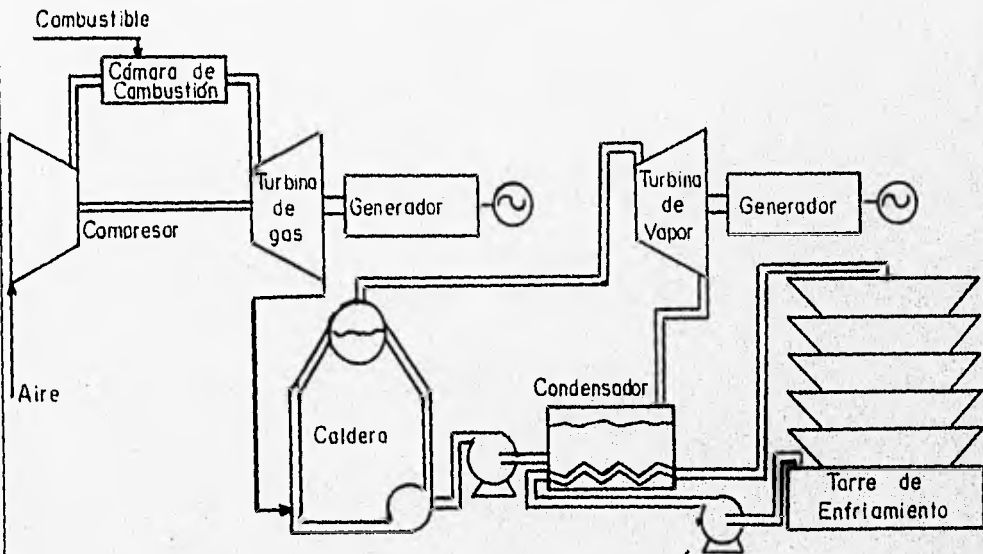


Fig. 1.16 Generación de electricidad con turbinas de gas.

Fig. 1.17 Generación de electricidad con sistemas de ciclo combinado.



FIGURAS 1.16 Y 1.17 CROQUIS DE PLANTAS TERMICAS.

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

El término cogeneración se aplica a la tecnología empleada en la industria para el suministro simultáneo de calor en forma de vapor y energía mecánica.

DEFINICIÓN.

El término cogeneración se aplica a los sistemas que simultáneamente suministran calor en forma de vapor y energía mecánica, para obtener electricidad o movimiento de equipo en forma económica. Su aplicación exitosa en la industria química, refinación del petróleo, minería e industria de los alimentos, indica la amplia aceptación que a tenido este sistema².

Existen numerosos arreglos de sistemas cogenerativos, cuya selección depende entre otros, de factores como: tipo de industria, necesidades de energía e instalaciones disponibles. Su adecuada aplicación no solamente ahorra energía, sino también reduce gastos de inversión. Se analizarán de manera breve los principios básicos de los arreglos más usuales encontrados en la industria.

1.5.2.1. Turbina de vapor. Mediante el uso de este tipo de turbinas se puede tener el sistema más simple de cogeneración. En este caso, en vez de condensarse el vapor de baja y media presión, se envía directamente a intercambiar calor con las corrientes del proceso.

Con ello, la eficiencia en el aprovechamiento térmico puede incrementarse del 35% hasta el 80%. Figura 1.18.

1.5.2.2. Turbina de gas. Con este sistema también es posible incrementar la eficiencia térmica hasta un 80%, mediante el aprovechamiento de los gases de escape de las turbinas, para generar vapor y utilizarlo en el proceso. Figura 1.19.

1.5.2.3. Ciclo combinado. Cuando un sistema cogenerativo de turbina de gas no alcanza a satisfacer las necesidades de vapor y energía eléctrica, existe la posibilidad de emplear combustible adicional para generar vapor de alta presión. Al utilizar éste en una turbina para generar la electricidad requerida, y emplear el vapor de media y baja presión en el proceso, se obtiene un sistema conocido como Ciclo Combinado de Cogeneración.

Su nombre se debe al empleo de turbinas de gas, turbinas de vapor y al envío de vapor al proceso. El ciclo combinado de cogeneración puede presentar diferentes arreglos, su eficiencia se encuentra en el intervalo del 45 al 70% y depende principalmente de las características del vapor de alimentación y de extracción de la turbina de vapor, así como de la capacidad instalada de condensación. Figura 1.20.

2. Cogeneración (CONSERVACION Y AHORRO DE ENERGIA C A E.) PEMEX.

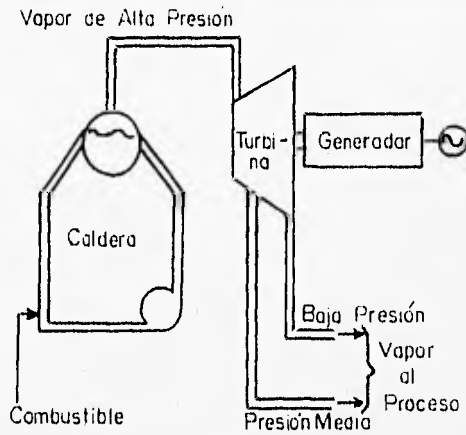
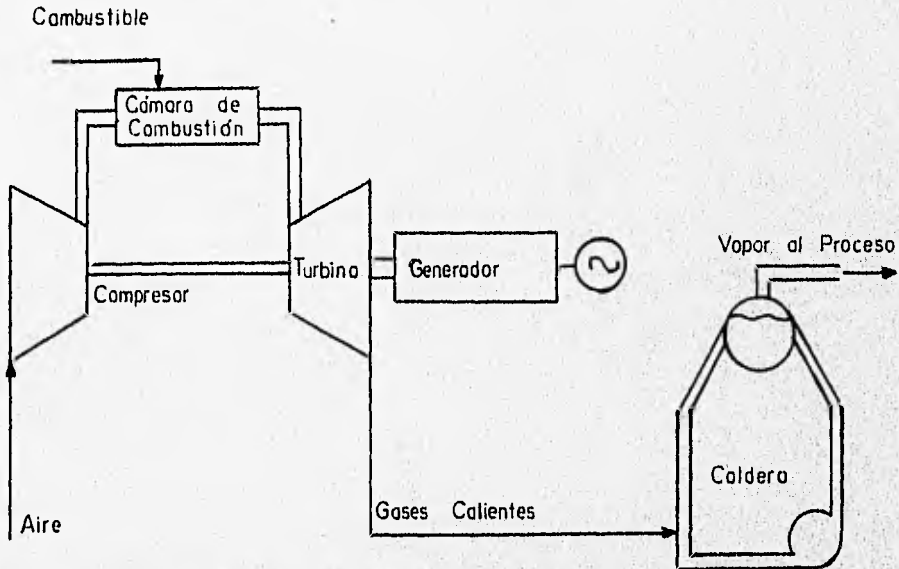


Fig. 1.18 Sistema de cogeneración con turbina de vapor.

Fig. 1.19 Sistema de cogeneración con turbinas de gas.



ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA.
 TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA
 DE VAPOR COPPUS
 PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

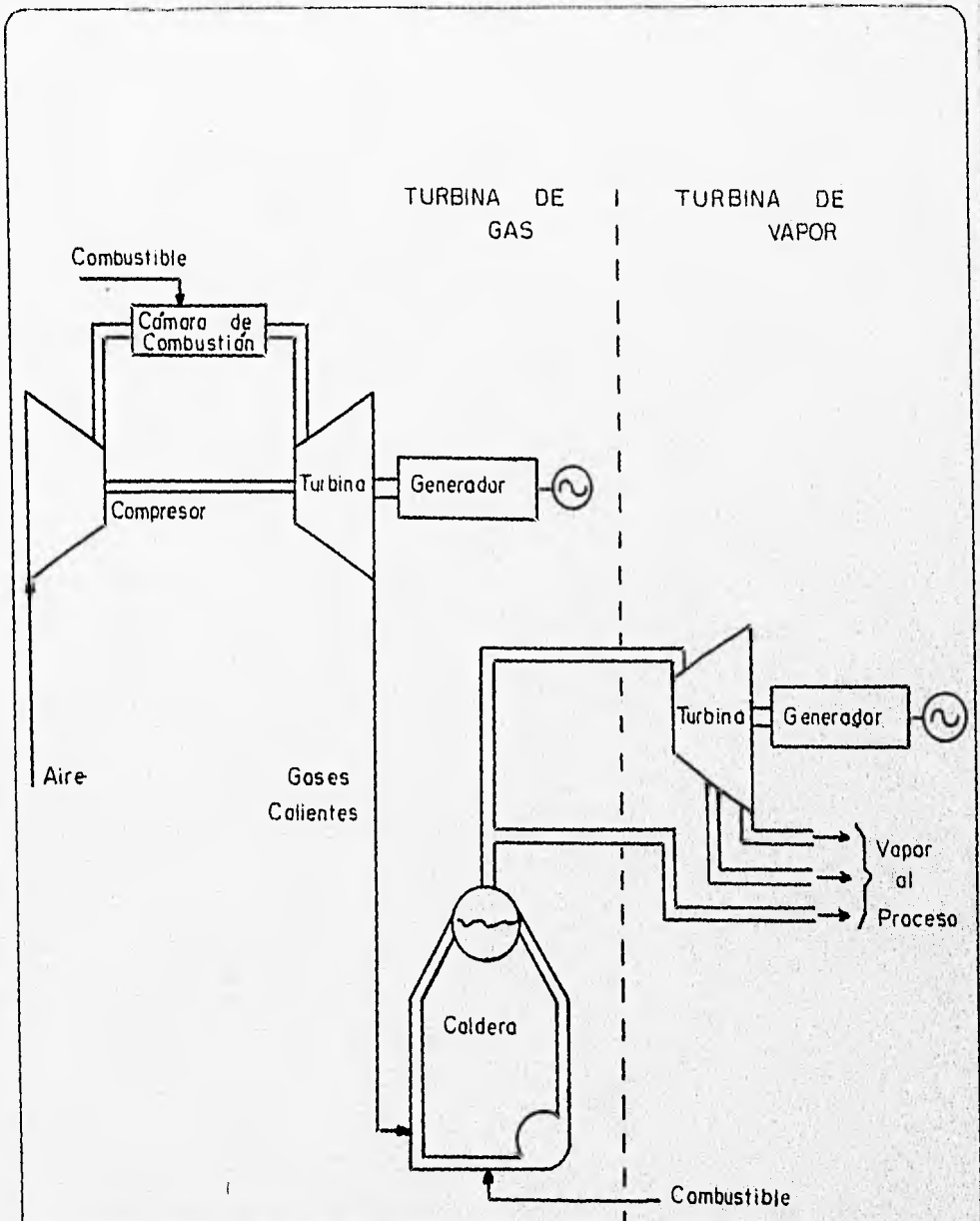


FIGURA 1.20 SISTEMA DE COGENERACION DE CICLO COMBINADO
 ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
 TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS
 PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

1.5.3. Otras aplicaciones.

La velocidad rotacional de la turbina es tan grande que sólo puede acoplarse directamente a ciertos tipos de mecanismos como generadores eléctricos, sopladores centrífugos, bombas centrífugas y ventiladores. En la navegación marítima la turbina de vapor se difunde cada día más, sobre todo cuando se necesitan grandes potencias. en este caso es necesario emplear reductores de velocidad para accionar las hélices, las cuales trabajan más eficientemente a velocidades más lentas. La contramarcha se obtiene mediante etapas especiales, que durante la marcha adelante giran en vacío, o por medio de una turbina especial.

Las turbinas pequeñas se utilizan para distintos servicios y en aplicaciones especiales (iluminación de locomotoras, por ejemplo). Se caracterizan por una gran sencillez constructiva, a expensas del rendimiento y, a veces, de la vida útil de la máquina, pero en beneficio del costo de fabricación y de los gastos de mantenimiento.

Las turbinas de vapor han establecido un campo muy amplio en la industria como máquinas motrices, en la actualidad se fabrican en muchas formas y diferentes distribuciones.

La capacidad de las turbinas de vapor abarca un amplio campo, que va desde unos cuantos caballos de potencia (HP) hasta unos 1000 MW. Los más grandes se usan para mover los generadores de las centrales eléctricas.

CAPITULO II

TURBINA DE VAPOR COPPUS

CAPITULO II.

TURBINA DE VAPOR COPPUS.

II.1. ESPECIFICACIONES GENERALES.

El conjunto denominado "Turbina de vapor Coppus" esta constituido por la turbina propiamente dicha, el generador de corriente directa, gobernador, condensador, bomba de vacio, bomba de retorno de condensados, y toda la instrumentación necesaria para llevar a cabo una amplia gama de experimentos.

A continuación se mencionan las especificaciones generales de cada uno de los componentes antes mencionados.

II.1.1. Turbina.

La turbina Coppus tiene una etapa simple de impulso con dos hileras de álabes rotatorios o etapas de velocidad y una hilera de álabes estacionarios entre las dos hileras de álabes giratorios.

Las condiciones a las que puede operar la turbina de vapor son de 240°C y 10 bar de presión.

La máxima velocidad de operación esta calibrada a 3000 r.p.m.

La turbina operará más eficientemente cuando la presión en la cubierta de entrada del vapor esta en un máximo (aproximadamente 90% de la presión de línea). La más alta presión ocurre cuando el menor número de válvulas de las toberas son abiertas.

La turbina tiene tres toberas para condiciones de vacio, es decir, cuando hace uso de un condensador y, una tobera para contrapresión, es decir, cuando descarga a la atmósfera.

Su sistema de sello requiere de uno a dos bar de presión en los prensaestopos de los anillos de carbón.

El aceite recomendado para la turbina debe ser de una viscosidad de aproximadamente 300 SSU a 38°C (100°F).

II.1.2. Generador C.D.

Se encuentra acoplado a la flecha de la turbina por medio de un acoplamiento flexible y se encarga de transformar la energía mecánica que entrega la turbina en energía eléctrica y sus especificaciones son las siguientes:

Potencia de 5 KW.

Velocidad 3000 r.p.m.

Voltaje de armadura 220 V.

Amperaje de armadura 22.8 A.

Amperaje de campo 0.565/0.31 A.
Grasa recomendada Shell Alvana R3.

II.1.3. Gobernador Relevador de aceite RL Coppus.

Es el dispositivo principal de control de velocidad para la turbina.

Es un gobernador hidromecánico con una capacidad de trabajo máximo de 13.5 Joule (10 ft-lbs).

Es accionado por la turbina a través de un acoplamiento flexible entre ejes. El diámetro de la flecha del gobernador es de 12.7 mm (1/2").

Su rango de velocidad a plena carga es de 2400 a 4000 r.p.m.

Requiere como máximo un 1/2 hp de potencia para poder girar la flecha conductora en un rango de velocidad establecido y una temperatura de operación normal de 45.6° a 68.4° c (120° a 180° F).

Posee un colector de aceite incorporado de una capacidad aproximada de 2 litros (1.5 quarts). El aceite deberá tener una viscosidad de 100 a 220 SSU en temperatura de operación de aproximadamente 65° C (150° F).

El ajuste de la calda interna es de -10% a 45% de la velocidad nominal. El rango recomendado es de 4 a 10% y debe ser colocado de acuerdo a los requerimientos individuales de cada turbina en particular. El gobernador puede desestabilizarse con una calda asentada fuera de los rangos recomendados.

La caja y el alojamiento de la bomba están construidas de hierro colado. La cubierta es de aluminio. Su peso es de 15.42 Kg. (34 lbs).

II.1.4. Condensador.

Este dispositivo se usa para condensar el vapor que sale de la turbina.

El condensador de la turbina es un condensador de superficie. Se le conoce también como intercambiador de calor. Es del tipo de tubo y coraza. La carcasa o coraza está construida de acero con tubos de aluminio-latón. Los tubos muestran un arreglo en cuadro y por ellos circula el agua de enfriamiento mientras que el vapor pasa a través de la coraza.

El condensador es de tres pasos y flujo transversal.

Es un intercambiador con cabezales de tubos estacionarios.

El condensador mantiene un vacío de 660 mm de Hg de presión relativa durante su operación.

II.1.5. Bomba de vacío.

Es una bomba del tipo de desplazamiento centrífugo, consiste de un rotor de etapas múltiples girando en una posición excéntrica relativa a la cubierta de la bomba y al líquido auxiliar o de servicio. Utiliza agua como líquido de servicio.

Las únicas partes móviles de la bomba son el rodete, flecha y cojinete de rodillos.

El funcionamiento óptimo se obtiene cuando el agua sellante no excede de 60° F y el vacío no excede de 736.6 mm de Hg (29 plgs de Hg), y el líquido sellante pasa a través de la bomba con una rapidez de 9 lts/min.

Es accionado por un motor trifásico conectado en delta de 2.2 KW, 220 V, 3 hp, 60 hz, y 3400 r.p.m.

II.1.6. Bomba de retorno de Condensado.

Es una bomba centrífuga de una sola etapa diseñada para trabajar con el motor en posición horizontal.

Es accionada por un motor que cuando esta conectado en estrella tiene 380 V, y conectado en delta tiene 220 V y 0.45 A; además es de 2 hp, 90 W, 60 hz, y 1725 r.p.m.

II.2. COMPONENTES PRINCIPALES.

Los componentes que se describen a continuación van montados sobre un rígido bastidor, el cual tiene todas las interconexiones necesarias para tubería y conexiones eléctricas.

II.2.1. Turbina de vapor.

La turbina esta constituida por dos glándulas o cubiertas; una contiene las conexiones de entrada y la otra las conexiones de escape del vapor. Dentro de las dos mitades o cubiertas (carcasa), se aloja el rotor donde van montadas las dos hileras de álabes móviles y entre estas dos hileras se localiza una hilera de álabes fijos o estacionarios sujetos a la carcasa.

La turbina Coppus es una turbina de acción con un arreglo de dos hileras de velocidad (o dos etapas de velocidad tipo Curtls) y consiste en un conjunto de toberas, dos hileras de álabes móviles y una de álabes fijos. Las toberas de la turbina no cubren la totalidad de la periferia del rotor, por cuya razón en un momento dado solamente parte de los álabes reciben la acción de los chorros de vapor por lo que la turbina se considera de admisión parcial y toda la calda de presión tiene lugar en las toberas. Es además una turbina de tipo axial donde el vapor se mueve dentro del rodete en dirección aproximadamente paralela al eje de la turbina. Es una turbina de condensación, donde la presión de escape del vapor es inferior a la atmosférica. Es además una turbina de vapor vivo sobrecalentado,

en cuanto que el vapor procede directamente del generador de vapor y pasa a través del sobrecalentador. El suministro es realizado para medir temperatura y presión a la entrada de las toberas, y en este sitio el vapor está en un estado saturado seco.

El vapor es acelerado sobre un grupo de toberas fijas adquiriendo energía cinética en gasto de disminución de entalpía. La alta velocidad del flujo de vapor descargado desde las toberas cambia de dirección mientras cruza por las paletas curvas sujetas al rotor, y la fuerza ejercida en las paletas es igual al índice de cambio de velocidad del vapor. El trabajo útil es así producido en el rotor de la flecha.

Ahora la velocidad de flujo de vapor directo a la turbina es muy alta, y así el proceso puede suponerse adiabático. Sin embargo, debido a la fricción entre el vapor, los álabes rotatorios y toberas, el proceso es irreversible y por lo tanto no isentrópico. Esto se puede demostrar a partir de la ecuación de energía de flujo estable de que el trabajo hecho por el rotor de la flecha es igual a la velocidad del flujo masa de vapor multiplicada por la caída de entalpía a través de la turbina.

Después de la expansión en las toberas y pasando directamente a la turbina, el vapor es expulsado al interior del condensador el cual tiene un vacío de 660 mm de Hg. de presión relativa mantenido por medio de una bomba de aire.

La turbina Coppus está provista con un freno de aro el cual es parte integral de la cubierta que contiene las conexiones de entrada. En el caso de una condición de desbocamiento en la que todos los dispositivos de sobrevelocidad y gobernador son inoperantes, el rotor de la turbina se estrechará ligeramente y rozará contra el aro del freno creando una acción de frenado evitando así la sobrevelocidad.

Posee una válvula centinela de alivio para advertir de una contrapresión excesiva en la cubierta de salida. Esta condición de peligro potencial puede deberse a que está cerrada una válvula en la línea de salida del vapor. Es importante dejar bien claro que la válvula centinela no está en condiciones de corregir el exceso de contrapresión.

El vapor entra a la turbina pasando primero por la parte que contiene el filtro de vapor, válvula del gatillo de seguridad para exceso de velocidad, y válvula de estrangulación. Encapsulada dentro de la cubierta de entrada de la turbina está la caja de vapor la cual contiene varias toberas individuales. Estas toberas son controladas por válvulas manuales.

El flujo de vapor pasa a través de las toberas, se expande y es dirigido a una alta velocidad contra los álabes rotatorios de la primera hilera del rotor de la turbina. Después de pasar por la primera hilera los álabes estacionarios redirigen el vapor contra la segunda hilera de álabes rotatorios. El vapor es entonces descargado dentro de la cubierta de salida de la turbina y desde aquí aspirado hacia la línea de escape por el sistema de presión de salida. Ver figura II.1.

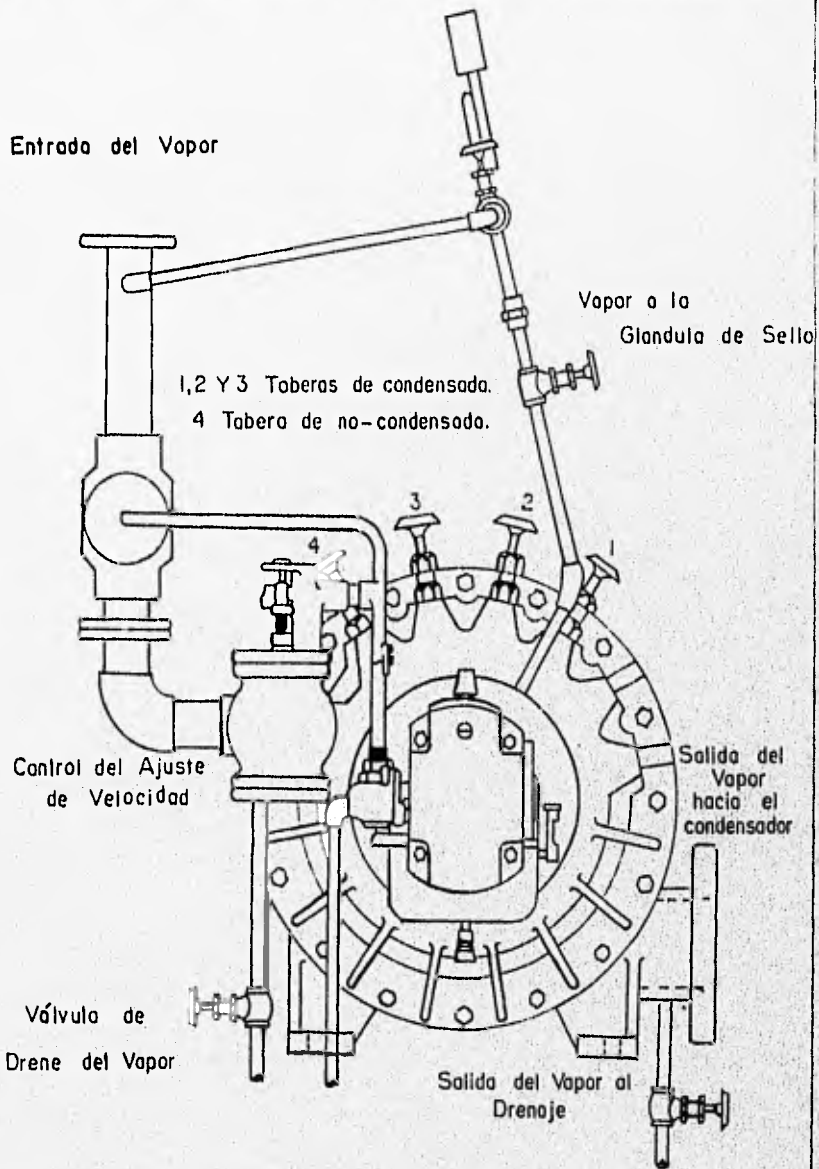


FIGURA II.1 TURBINA COPPUS

ENEP ARAGON UNAM INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

La potencia de salida de la turbina es transmitida al generador de corriente directa que va unido a está por medio de un acoplamiento flexible entre ejes, los cuales están dispuestos en una posición perfectamente horizontal.

II.2.2. Generador C.D.

El generador se encarga de transformar la energía mecánica a eléctrica por la acción conjunta de campos electromagnéticos, y posteriormente la disipa en un banco de resistencias eléctricas.

El generador funciona auxiliándose con los siguientes instrumentos de medición: un dinámometro, amperímetro, voltímetro, tacómetro e interruptores para incrementar la carga eléctrica a la turbina.

II.2.3. Gobernador Relevador de aceite RL Coppus.

Es accionado por la turbina por medio de un acoplamiento flexible. Opera con una caída de velocidad para estabilizar el control.

Es accionado hidráulicamente en ambas direcciones para una respuesta rápida y precisa.

Posee una válvula de estrangulación que actúa dependiendo de las posiciones de salida, para obtener el control de velocidad.

Un corte seccional cruzado de la turbina, toma de vapor, y escape de seguridad es mostrado en la fig. II.2. Las partes externas del gobernador RL son también mostradas en este dibujo.

II.2.3.1. Ajusto de velocidad del gobernador.

Con todas las válvulas abiertas y la carga normal aplicada se ajusta el gobernador a la velocidad de operación requerida. Para ello deberá cerrarse una válvula en un solo tiempo hasta que la velocidad de la turbina baje rápidamente.

No dejar ninguna válvula parcialmente abierta porque puede resultar un corte de vapor lo que provocará un daño a la válvula y su asiento. Estas deben estar completamente abiertas o completamente cerradas.

La velocidad de operación de la turbina se ajusta por medio del tornillo que se encuentra en la parte frontal de la cubierta del gobernador.

El mecanismo de dicho tornillo es proporcionado con suficiente fricción interna para eliminar el problema de atascamiento externo del mismo. Un desarmador, cuña o llave pueden ser usados para ajustar la velocidad, y solo un ligero torque es requerido para girar dicho tornillo.

Girando el tornillo ajustador de velocidad en sentido horario incrementa la regulación de velocidad de la turbina. En sentido antihorario decrece dicha regulación de velocidad.

Vista de un Corte Seccional Transversal

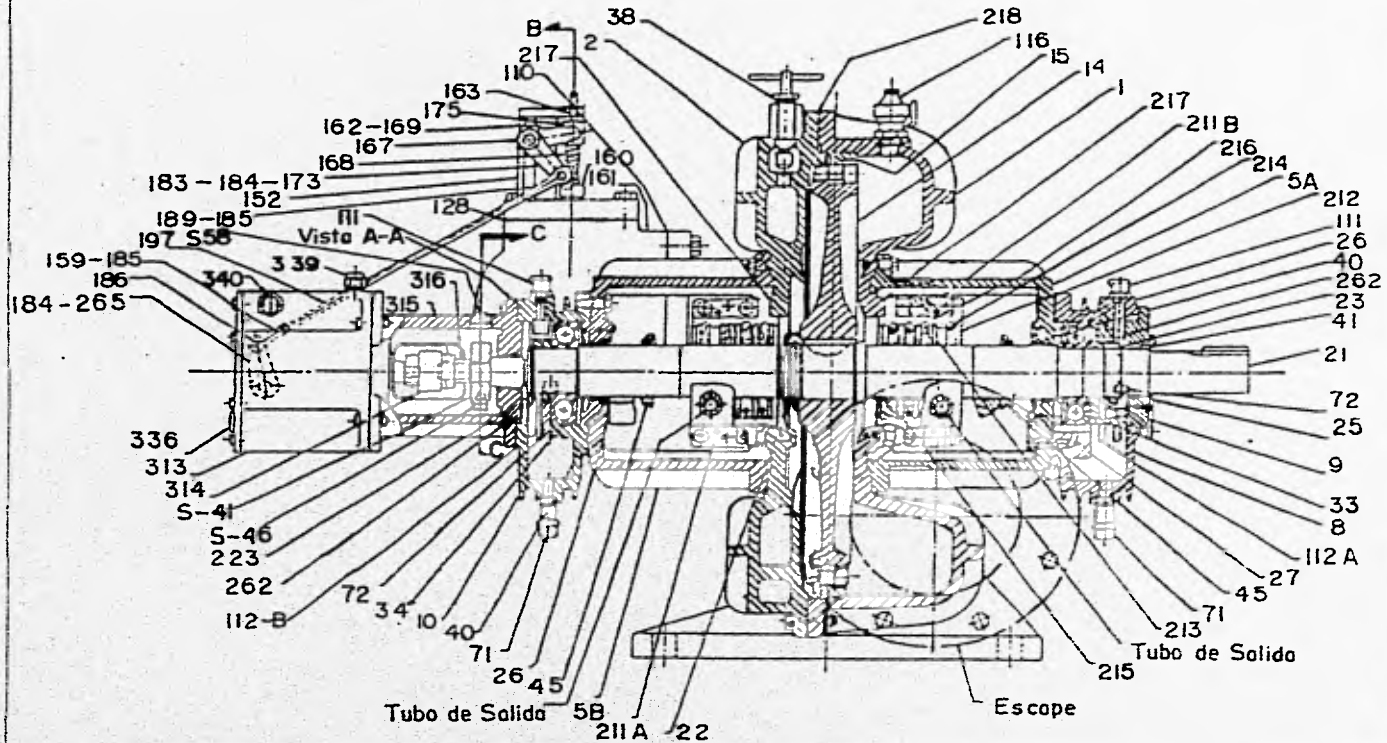


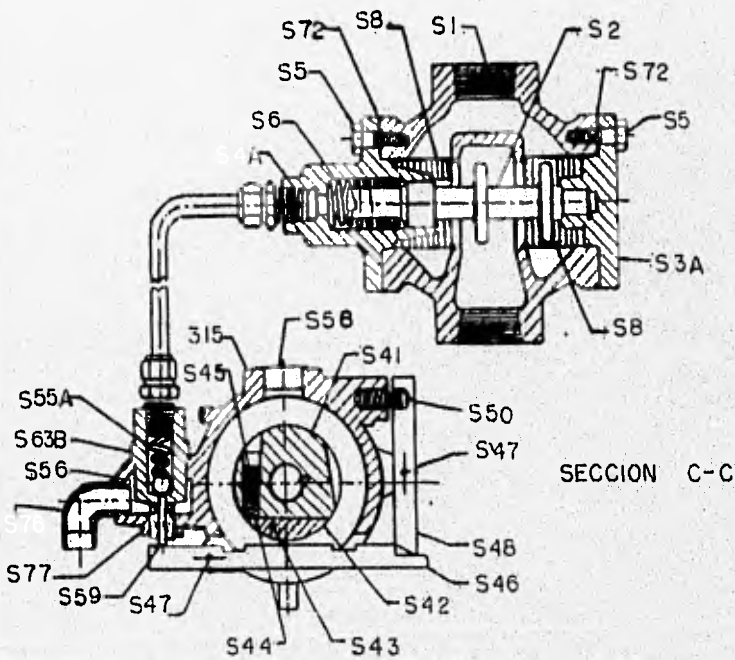
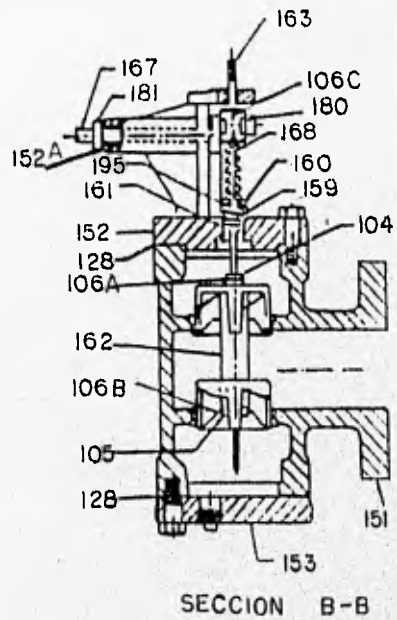
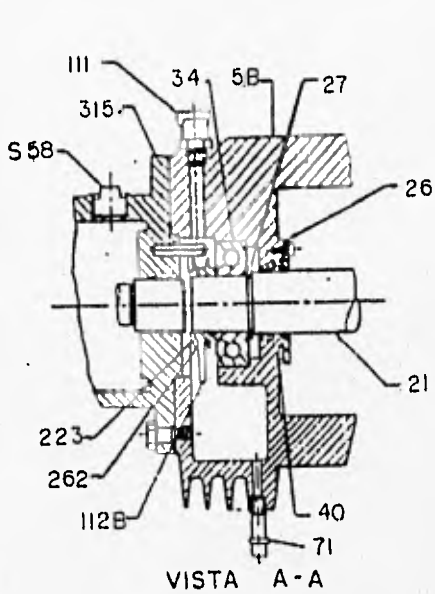
FIGURA II.2 TURBINA CON GOVERNADOR Y GATILLO DE SEGURIDAD

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO



- 1 - Cubierta de salida.
- 2 - Cubierta de entrada.
- 5A - Brida.
- 5B - Brida.
- 8 - Cáster del cojinete.
- 9 - Espacio del cáster del cojinete.
- 10 - Cáster del cojinete.
- 14 - Rodete de la turbina.
- 15 - Sector.
- *21 Terminal de la flecha.
- 22 - Tuerca que sujeta el rodete de la flecha.
- 23 - tuerca al final de la flecha.
- 25 - Arandela de placa.
- 26 - Arandela de placa.
- 27 - Arandela del cojinete.
- 33 - Cojinete de bolas.
- 34 - Cojinete de bolas.
- 38 - Válvula manual.
- 40 - Anillo de sello grafitado.
- 41 - Anillo de sello grafitado
- 45 - Anillo de excentricidad (2).
- 71 - Drene.
- 72 - Indicador del nivel de aceite (2).
- *104 - Collar de la válvula.
- *105 - Collar de la válvula.
- *106A - Vástago cilíndrico.
- *106B - Vástago cilíndrico.
- *106C - Vástago cilíndrico.
- 106D - Vástago cilíndrico.
- 110 - Junta.
- 111 - Tapa del orificio de suministro de aceite.
- 112A - Anillo lubricador de la cubierta.
- 112B - Anillo lubricador de la cubierta.
- 116 - Válvula centinela de alivio.

- 151 - Cuerpo de válvula del gobernador.
- 152A - Buje, puntera del eje (2)
- 152 - Bonete de la válvula del gobernador.
- 153 - Tapa final del cuerpo de la válvula.
- 159 - Empaquetado.
- 160 - Tapa de la caja del prensaestopas.
- 161 - Caja del prensaestopas.
- *162 - Válvula de estrangulación.
- *163 - Válvula de admisión de vapor.
- 167 - Puntera del eje.
- 168 - Muelle o resorte de retroceso.
- 169 - Puntera.
- 170 - Soporte cilíndrico del vástago.
- 173 - Palanca para accionar la válvula.
- *175 - Manguito del soporte cilíndrico.
- 180 - Soporte cilíndrico (2).
- 181 - Collarín, puntura del eje.
- 182 - Perno cónico, puntura.
- 183 - Perno cónico, palanca accionadora de la válvula.
- 184 - Tomillo fijador de palanca accionadora de la válvula.
- 185 - Extremo de la barra conectora (2).
- 186 - Perno de la barra conectora (2).
- 189 - Contratuerca, extremo de la barra.
- 195 - Arandela separadora.
- 197 - Barra conectora.
- 211A - Extremo de la cubierta del basidor.
- 211B - Extremo de la cubierta del basidor.
- 212 - Placa divisoria.
- 213 - Placa divisoria con pernos.
- **214 - Arandela de retención.
- **215 - Anillos de carbón (2 juegos).
- **216 - Resorte circular.

217.- Junta.

***218.- Junta.

223.- Anillo elástico de sujeción.

262.- Anillo de lubricación (2).

265.- Palanca accionada por el gobernador.

313.- Gobernador o regulador de velocidad.

314.- Acoplamiento.

315.- Soporte del bastidor.

316.- Collarín espaciador.

336.- Tapón de drene.

339.- Boquilla.

340.- Indicador de aceite.

*S1.- Cuerpo de la válvula del gatillo de seguridad.

*S2.- Válvula.

*S3A.- Tapa final de la válvula piloto.

*S4A.- Tapa final del resorte.

*S5.- Tornillos de la tapa.

*S6.- Resorte de la válvula de cierre.

*S8.- Malla filtrante del vapor.

**S41.- Collarín.

**S42.- Peso giratorio.

**S43.- Perno del peso.

**S44.- Resorte para el peso.

**S45.- Tornillo fijador del resorte.

S46.- Palanca horizontal.

S47.- Perno de la palanca (2).

S48.- Palanca principal.

S50.- Resorte de la palanca.

***S55A.- Resorte cónico.

***S56.- Bola de la válvula piloto.

S58.- Tapón en soporte del bastidor.

***S59.- Émbolo de la válvula piloto.

***S63B.- Cuerpo de la válvula piloto.

*S72.- Juntas (2).

S76.- Codo de 1/2" soldado a 90°.

***S77.- Tuerca.

*Flecha completa incluyendo todas las tuercas, topes, arandelas y chavetas.

**Ensamble de los anillos de carbón (4 anillos en cada uno de los 2 juegos).

***Para contrapresiones arriba de 50 PSIG únicamente.

*S.- Ensamble de la barra de válvula del gobernador.

**S.- Ensamble del collarín del gatillo de seguridad.

***S.- Ensamble y colocación de la válvula piloto.

Finalmente reabrir la última válvula manual cerrada y la velocidad debe regresar al rango establecido.

La velocidad de la turbina no debe ser controlada por las válvulas manuales porque está es una función del gobernador.

11.2.3.2. Operación del gobernador (referirse a la figura 11.3).

El sistema interno de transmisión mecánica de la bomba de aceite manipula a la flecha conectora del gobernador con el cojinete de la válvula piloto.

La bomba aspira aceite desde el colector y lo distribuye a través de los pasajes de la caja. El aceite también es descargado a el acumulador con apriete de resorte. El acumulador mantiene los 10 bar (150 psi) presión de operación en velocidad especificada. Demasiada presión comprime el resorte del acumulador y se libera aceite al colector durante la operación de estado constante.

Un cambio en la velocidad mueve los contrapesos ya sea hacia fuera o hacia dentro moviendo al émbolo de la válvula piloto hacia arriba o hacia abajo dependiendo si es un incremento o decremento en la velocidad. Esto abre el puerto de control y libera aceite al colector o al lado inferior del pistón de potencia.

En la dirección del incremento de vapor el acumulador con apriete de resorte completa el sistema de suministro de aceite con su aceite de presión alta almacenado y ayuda a mantener la capacidad máxima de trabajo del gobernador.

11.2.3.2.(a). Conjunto del Cabezal esférico.(Referirse a la figura 11.4).

El conjunto del cabezal esférico contiene dos contrapesos, resortes de alta velocidad, cojinete de empuje, émbolo de la válvula piloto y cojinete de la válvula piloto. Como los contrapesos son giratorios, estos producen una fuerza centrífuga. La fuerza centrífuga es opuesta a la fuerza hacia abajo del resorte de alta velocidad. La fuerza del resorte de alta velocidad puede ser variada por el ajuste de el tornillo ajustador de velocidad externo.

Un cojinete de empuje en la parte superior de los contrapesos permite al cojinete de la válvula piloto girar alrededor del émbolo de dicha válvula. Esto reduce la fricción estática entre el cojinete y el émbolo.

11.2.3.2.(b). Función de la válvula piloto.

Cuando la turbina esta funcionando en velocidad activa el émbolo de la válvula piloto esta centrado. Esto es, la cubierta plana de control cubre los puertos del cojinete de la válvula piloto. En esta posición no se descarga aceite a el flujo del pistón de potencia y la flecha terminal del

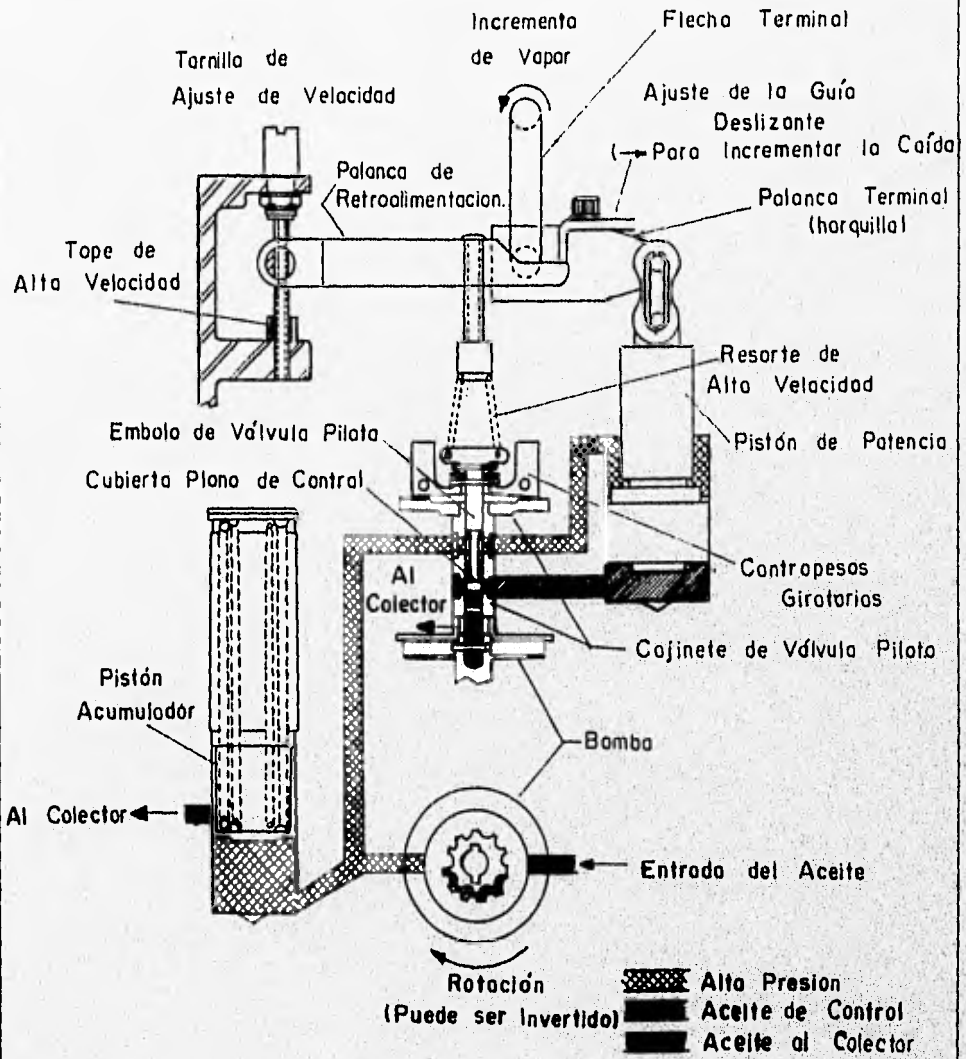


FIGURA II.3 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL GOVERNADOR

ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

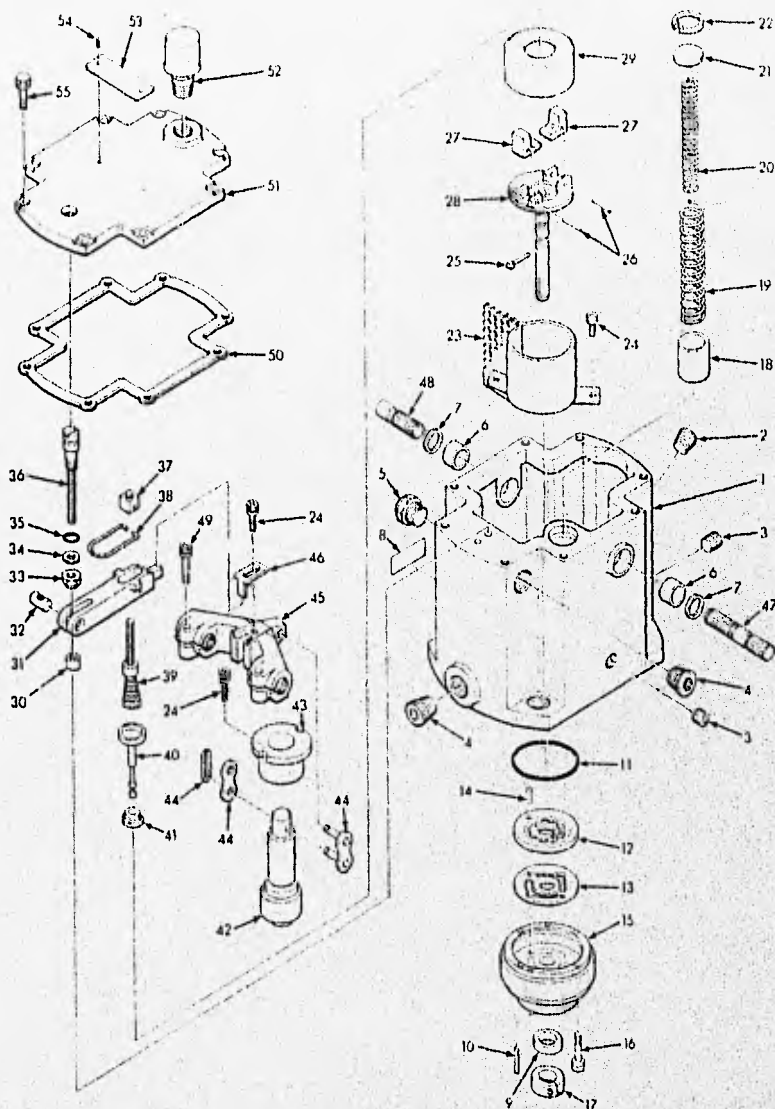


FIGURA II.4 VISTA EN EXPLOSION DE LOS COMPONENTES DEL GOVERNADOR.
 ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
 TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRATICAS PARA LA TURBINA
 DE VAPOR COPPUS
 PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

Lista de partes componentes de la figura II.4.

- 1.- Bastidor o caja.
- 2.- Tapón roscado cónico.
- 3.- Tapón roscado corto (2).
- 4.- Tapón roscado cónico.
- 5.- Mirilla de indicador de aceite.
- 6.- Cojinete (2).
- 7.- Sello (2).
- 8.- Calcomanía que indica el giro.
- 9.- Sello del aceite.
- 10.- Perno (2).
- 11.- Empaque.
- 12.- Bomba.
- 13.- Espaciador de la bomba.
- 14.- Perno.
- 15.- Alojamiento de la bomba.
- 16.- Tornillos (4).
- 17.- Collar retenedor del cabezal esférico.
- 18.- Pistón del acumulador.
- 19.- Resorte grande del acumulador.
- 20.- Resorte pequeño del acumulador.
- 21.- Asiento del resorte.
- 22.- Anillo asegurador.
- 23.- Filtro de aceite.
- 24.- Tornillos (5).
- 25.- Perno conductor de la bomba.
- 26.- Pernos (2).
- 27.- Pesos giratorios (2).
- 28.- Ensamble del cojinete del cabezal esférico.
- 29.- Cubierta del cabezal esférico.
- 30.- Tope de alta velocidad.
- 31.- Palanca de retroacción.
- 32.- Pivote.
- 33.- Tuerca tope.
- 34.- Arandela agitadora.
- 35.- Empaque.
- 36.- Tornillo ajustador de velocidad.
- 37.- Cubo pivote.
- 38.- Sujetador del resorte.
- 39.- Ensamble del resorte de velocidad.
- 40.- Embolo de la válvula piloto.
- 41.- Ensamble del cojinete de empuje.
- 42.- Pistón.
- 43.- Cojinete del pistón.
- 44.- Eslabón de conexión.
- 45.- Palanca terminal.
- 46.- Corredera deslizante de ajuste de la caída.
- 47.- Flecha terminal.
- 48.- Flecha corta.
- 49.- Tornillos (2).
- 50.- Junta de la cubierta.
- 51.- Cubierta.
- 52.- Tapa filtro respirador.
- 53.- Placa.
- 54.- Tornillo sujetador.
- 55.- Tornillo hexagonal.

governador no se mueve. Un cambio en la fuerza centrífuga de los contrapesos o en la fuerza del resorte de alta velocidad mueve el émbolo desde su posición central y en un giro mueve el pistón de potencia.

El émbolo de la válvula piloto baja si:

- 1.- Una carga adicional retrasa a la turbina y al gobernador sin producir cambios en la posición de ajuste de velocidad del gobernador. Esto disminuye la fuerza centrífuga de los contrapesos giratorios.
- 2.- La velocidad de la turbina es constante pero la fuerza del resorte de alta velocidad es incrementada por el aumento de la velocidad del gobernador ajustada con el tornillo ajustador de velocidad externo.

Esto coloca la cubierta plana del émbolo de la válvula piloto bajo los puertos. Aceite de presión alta es liberado para la cámara más baja del cilindro del pistón de potencia forzando a dicho pistón a subir. Esto hace girar la flecha terminal del gobernador en dirección del incremento de vapor.

Como el pistón de potencia sube, la fuerza del resorte de alta velocidad decrece permitiendo al émbolo de la válvula piloto a subir.

El puerto está cerrado por la regulación de la cubierta plana, deteniendo el desplazamiento ascendente del pistón de potencia. El sistema es balanceado ya sea para una velocidad baja de la turbina originada por un incremento en la carga, o una sobrevelocidad provocada por un incremento en el asentamiento de la velocidad del gobernador.

El émbolo de la válvula piloto sube si:

- 1.- La fuerza centrífuga de los contrapesos giratorios es incrementada por un decremento de carga en la turbina. Esto causa un incremento en la velocidad de la turbina y el gobernador.
- 2.- La velocidad del gobernador es aminorada por reducción de la fuerza del resorte de alta velocidad con el tornillo de ajuste de velocidad externo.

Esto coloca la cubierta plana de control del émbolo de la válvula piloto sobre los puertos. Aceite de control es liberado al colector desde la parte inferior del pistón de potencia. El aceite de presión en la cámara alta del cilindro del pistón de potencia fuerza la caída de dicho pistón. Esto gira la flecha terminal en el decremento de la dirección del vapor. La presión del resorte de alta velocidad se incrementa forzando al émbolo de la válvula piloto a bajar. El movimiento de la flecha terminal detiene la cubierta plana de control obstruyéndose en el puerto la liberación de aceite de control. El sistema del gobernador se balancea con la turbina cuando existe una sobrevelocidad que decrece ante la carga y cuando existe una velocidad baja que disminuye la fuerza del resorte de alta velocidad.

II.2.3.2.(c). Guía deslizante.

Esta guía deslizante proporciona un cambio en velocidad para un cambio en la carga. La cantidad de deslizamiento, o regulación de velocidad, producido para un cambio de carga dada será producido por un cambio de la posición por el ajuste de la guía deslizante. El sistema del gobernador lleva a cabo la estabilidad para una caída de velocidad. Moviendo la guía a la derecha incrementa la caída y a la izquierda la disminuye.

II.2.3.2.(d). Ajuste de caída interna.

La caída es ajustada en la fábrica para dar una velocidad cuando no existe carga de aproximadamente 106 a 110% de la carga completa o velocidad especificada. Si llega a ser necesario alterar la caída de este ajuste inicial se deberán seguir los siguientes pasos.

Drenar todo el aceite desde la caja del gobernador removiendo el tapón (336) ver figura II.2. Remover la cubierta de la caja del gobernador exponiendo la corredera deslizante. Ver el esquema de la figura II.3.

Antes de hacer un ajuste de la caída, asegurarse que gire libre la flecha terminal.

Altojar la cabeza del tornillo que sujeta la corredera deslizante a la palanca terminal (horquilla).

La recolocación requerida para el nuevo rango de la caída debe ser hecho con ajustes en incrementos de 0.8 mm (1/32 plg), en la guía de la corredera deslizante, y probadas para la nueva regulación de velocidad.

Recolocar la cubierta de la caja, y volver a llenar el gobernador con el aceite especificado.

II.2.4. Condensador.

El condensador va montado de manera horizontal y paralelo al eje de la turbina, se acopla con la bomba de vacío para su funcionamiento. Su carcasa esta construida de acero con tubos de aluminio-latón. El vapor es extraido desde la turbina hacia el condensador donde se condensa para posteriormente ser extraido por la bomba de vacío y descargado al interior del depósito para su medición. El depósito de medición de condensado esta montado sobre una báscula. Después de la medición del condensado este es descargado a otro depósito donde se extrae por medio de la bomba de retorno de condensados para ser retomado al tanque de alimentación del generador de vapor.

El condensador tiene dos propósitos fundamentales:

- a) Disminuir la presión a la salida de la turbina, para obtener una mejor eficiencia.
- b) Recircular el condensado hacia el tanque de alimentación del generador de vapor.

Las partes esenciales se muestran en la fig. II.5 y son la coraza (1), equipada con dos cabezales de tubos o espejos (2) a ambos lados, que también sirven como bridas (3) con sus respectivas

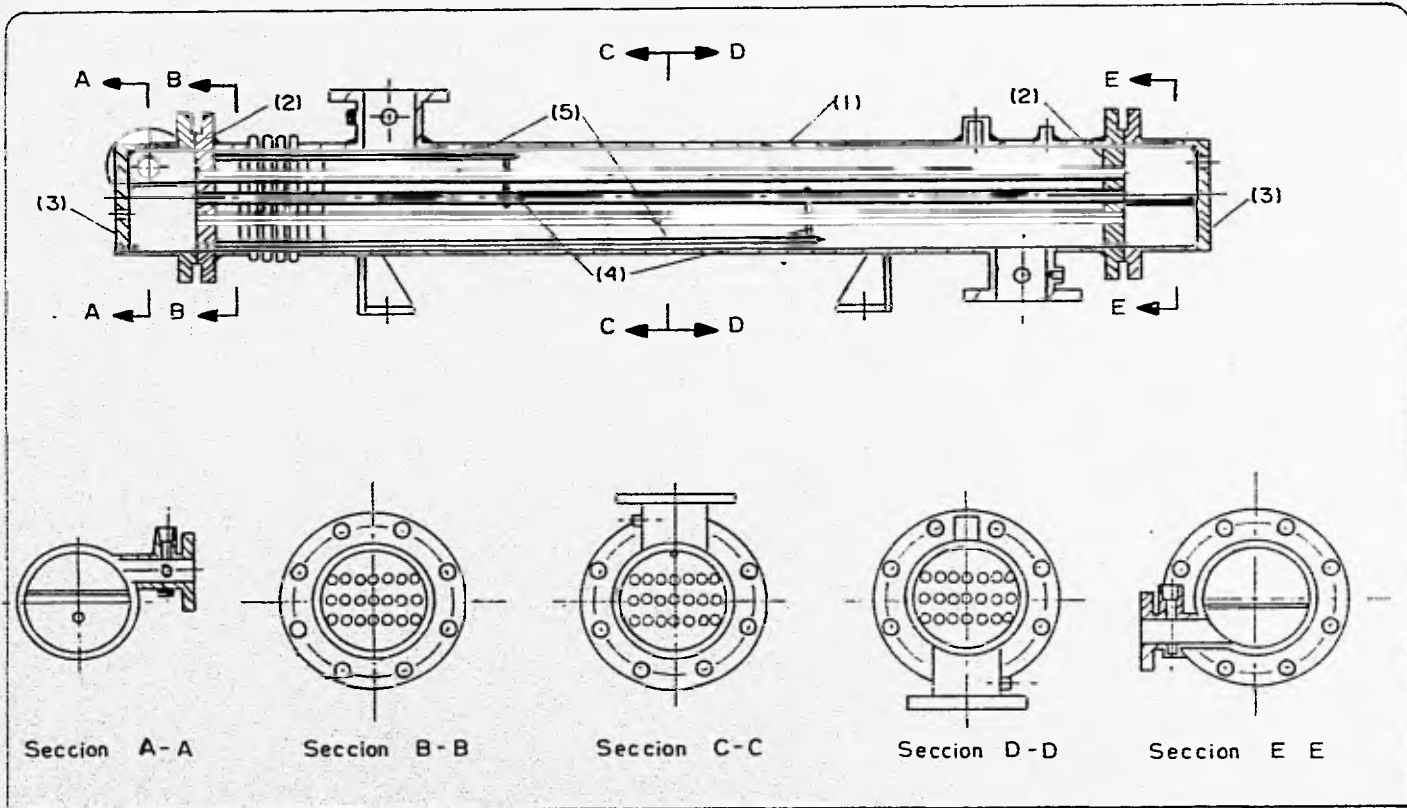


FIGURA II.5 DETALLES DEL CONDENSADOR
 ENEP ARAGON UNAM INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
 TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS
 PRESENTAN: HERNANDEZ, MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO

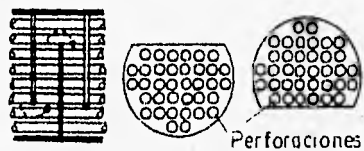
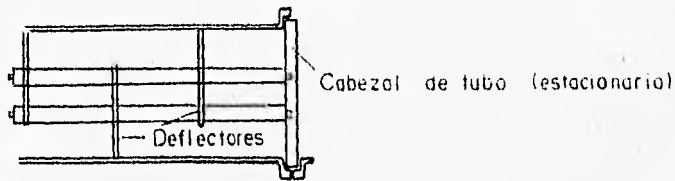


FIGURA II.6 DEFLECTOR SEGMENTADO

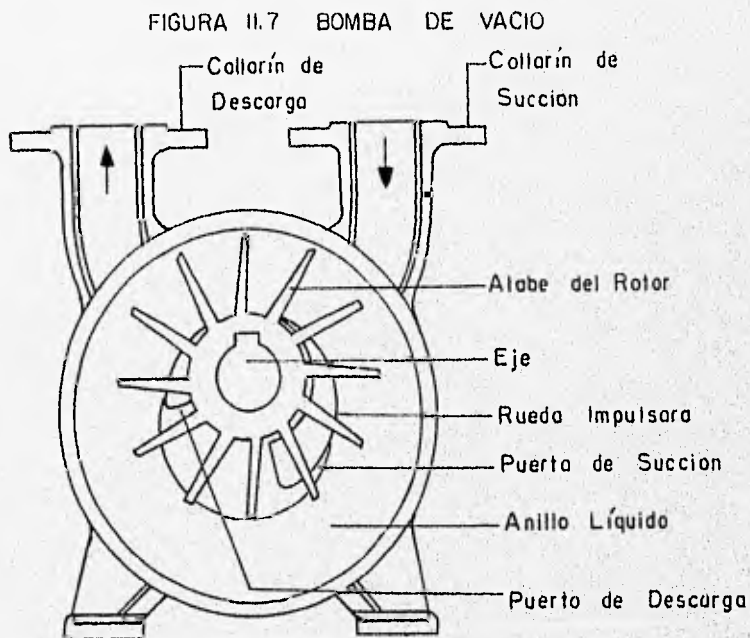


FIGURA II.7 BOMBA DE VACIO

ENEP	ARAGON	UNAM	INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA			DE PRACTICAS PARA LA TURBINA
			DE VAPOR COPPUS
PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.			

tapas. Los tubos se expanden a ambos espejos y están equipados con deflectores transversales (4) en el lado de la coraza.

Para lograr coeficientes de transferencia de calor más altos se debe mantener un estado de turbulencia en el líquido. Para inducir turbulencia fuera de los tubos, es costumbre emplear deflectores que hacen que el líquido fluya a través de la coraza a ángulos rectos con el eje de los tubos. Esto causa considerable turbulencia del vapor. Los deflectores se mantienen firmemente mediante espaciadores (5) como se muestra en la fig. II.5.

Hay varios tipos de deflectores que se emplean en los intercambiadores de calor, pero los más comunes son los deflectores segmentados como se muestra en la fig. II.6. Los deflectores segmentados son hojas de metal perforadas cuyas alturas son generalmente un 75% del diámetro interior de la coraza. Estos se conocen como deflectores con 25% de corte.

En el condensador de la turbina Coppus el agua de enfriamiento recorre 3 veces la longitud del condensador por lo que además se conoce como condensador de 3 pasos.

II.2.5. Bomba de vacío.

II.2.5.1. Descripción general.

Son bombas sin válvulas, bombas de gas de anillo líquido giratorio, pueden ser usadas como bombas de vacío así como compresores (100% aceite libre de aire).

Es una bomba del tipo de desplazamiento centrífugo, consiste de un rotor de etapas múltiples girando en una posición excéntrica relativa a la cubierta de la bomba y al líquido auxiliar. El rotor (o impulsor) proyecta radialmente los álabes desde el eje y forma con la cubierta intermedia una serie de cavidades o cangilones. El rotor impulsa el líquido por fuerza centrífuga hacia la cubierta formando así un "anillo líquido" el cual gira a la misma velocidad del rotor. Este anillo líquido sella los cangilones y forza al líquido a entrar y descender a las cavidades individuales, quedando de esta manera un vacío o alternativamente una presión. El líquido que forma el anillo líquido deberá ser renovado ya que la fricción y compresión absorbe calor, (lo cual puede bajar su presión de vaporización) y algo de líquido es descargado con el aire. (Referirse a la figura II.7).

II.2.5.2. Ciclo de operación.

En el arranque el líquido es impulsado hacia la cubierta de la bomba por la fuerza centrífuga y en dirección de la misma. Es extraída desde el centro del rotor, y también retirado un espacio de aire libre, y de esta manera el gas es succionado directamente al puerto de entrada. Como la continua rotación es una acción invertida, el líquido es forzado a entrar a la cavidad (ahora llena de gas), condensando el gas el cual es descargado directamente al puerto de salida, la cámara o cavidad es

nuevamente llenada con líquido y el próximo ciclo puede empezar. Desde cada cámara en las repeticiones del rotor en este proceso son llevadas a cabo varias etapas no continuas de vacío y presión.

Las únicas partes móviles de la bomba son el rodete, flecha y cojinete de rodillos.

Normalmente este tipo de bombas utilizan agua como líquido de servicio. En los casos donde se utilizan otros tipos de líquidos, los materiales de construcción y posiblemente también el diseño de las bombas tienen que ser adaptados para el líquido de servicio en cuestión, y posiblemente también para el gas intermedio que será manejado.

Parte del líquido que forma el anillo líquido es expulsado desde los puertos de descarga junto con el gas. El líquido de servicio por lo tanto requiere de una constante recirculación. Más calor de compresión generada durante el ciclo de compresión del gas es absorbido por el líquido y descargado por el líquido de servicio. El líquido de servicio es suministrado por una conexión especial de la bomba. Particularmente en los compresores de anillo líquido el líquido de servicio a de ser sacado de la bomba bajo presión igual o menor a la presión en el lado de descarga de la bomba y así permitir que ella aspire la cantidad de líquido de servicio requerido automáticamente.

En la descarga final el líquido puede ser separado del gas en el tanque de circulación y así puede ser recirculado a la bomba como líquido de servicio después de un apropiado enfriamiento o adición de una suficiente cantidad de líquido frío.

Después de la separación el gas contiene una cierta cantidad de vapor correspondiente a la temperatura de saturación. Solo cuando es económicamente aceptable el líquido no es reutilizado. Si no es importante esta unión para el rehuso del líquido y la correspondiente separación del gas y líquido, el tanque de circulación llega a ser superfluo.

II.2.6. Bomba de retorno de condensados.

Se encarga de extraer el condensado desde el depósito, al cual llega después de que ha sido pesado, para ser recirculado al tanque de alimentación de agua del generador de vapor.

Esta bomba es robusta y, si las precauciones elementales usuales en la instalación son observadas, ella dará un servicio de 1ª clase por muchos años con un mínimo de mantenimiento.

La bomba es instalada con el motor en posición horizontal y conectada dentro de la línea de tubería y alambrada. Se debe tener cuidado que no existan esfuerzos en la tubería de la bomba. Esto no es permitido porque puede distorsionar la espiral de la bomba causando ruido, vibración o falla en el obturador mecánico. Antes de arrancar la bomba, tener la certeza de que esta propiamente sin aire, de otro modo, podrá ocurrir una avería en el obturador mecánico. Checar la rotación y asegurarse de que la bomba este girando correctamente.

II.2.7. Gatillo de seguridad.

El gatillo de seguridad para exceso de velocidad operará al cerrar la válvula interruptora en la entrada de la línea de vapor cuando exista una sobrevelocidad predeterminada en la operación normal de la turbina.

El sistema de gatillo de seguridad incluye un dispositivo sensible a la velocidad montado en la flecha de la turbina, un mecanismo de cierre, una válvula piloto de vapor, y el pistón accionador de la válvula de cierre de vapor el cual es piloto operador.

El gatillo de seguridad es generalmente accionado cuando la velocidad de la turbina excede la velocidad nominal por aproximadamente 25%. La velocidad ajustada del gatillo esta marcada en la placa de especificaciones de la turbina.

La figura II.8 muestra una vista de un corte seccionado a través del mecanismo del gatillo de seguridad. Cuando la turbina esta operando, la palanca C esta en una posición horizontal, la válvula piloto D esta cerrada, y la válvula de cierre del gatillo de seguridad A en la entrada de la línea de vapor es retenida en una posición de abertura por el resorte E. Cuando el exceso de velocidad es registrado, la suficiente fuerza centrífuga es ejercida en la flecha montada excéntricamente al peso B para abrir levantando la palanca C y abriendo la válvula piloto D. Esto permite desahogar a la atmósfera, lo cual desbalancea la válvula A cerrándola inmediatamente contra la compresión del resorte E interrumpiendo el suministro de vapor a la turbina.

II.2.7.1. Ajuste del gatillo de seguridad (referirse a la figura II.2 sección C-C).

El ajuste del gatillo de seguridad puede llegar a ser necesario debido a un cambio en la velocidad de operación normal de la turbina. El ajuste puede ser logrado por un cambio de la tensión del resorte de carga giratorio (S-44). Remover el tapón (S-58) y girar la turbina manualmente hasta que el tornillo posicionador (S-45) este opuesto al agujero de la tapa. Para incrementar el ajuste del gatillo, apriete el tornillo posicionador con un desarmador. Ajustar el tornillo en incrementos de un octavo de giro. Después de que el nuevo ajuste es obtenido recolocar la tapa (S-58).

Si el cambio deseado en el ajuste es arriba de 200 r.p.m., algunas veces será necesario el uso de diferentes resortes (S-44) y el fabricante deberá ser consultado.

El nuevo ajuste de disparo debe ser aproximadamente 25% arriba de la nueva velocidad especificada.

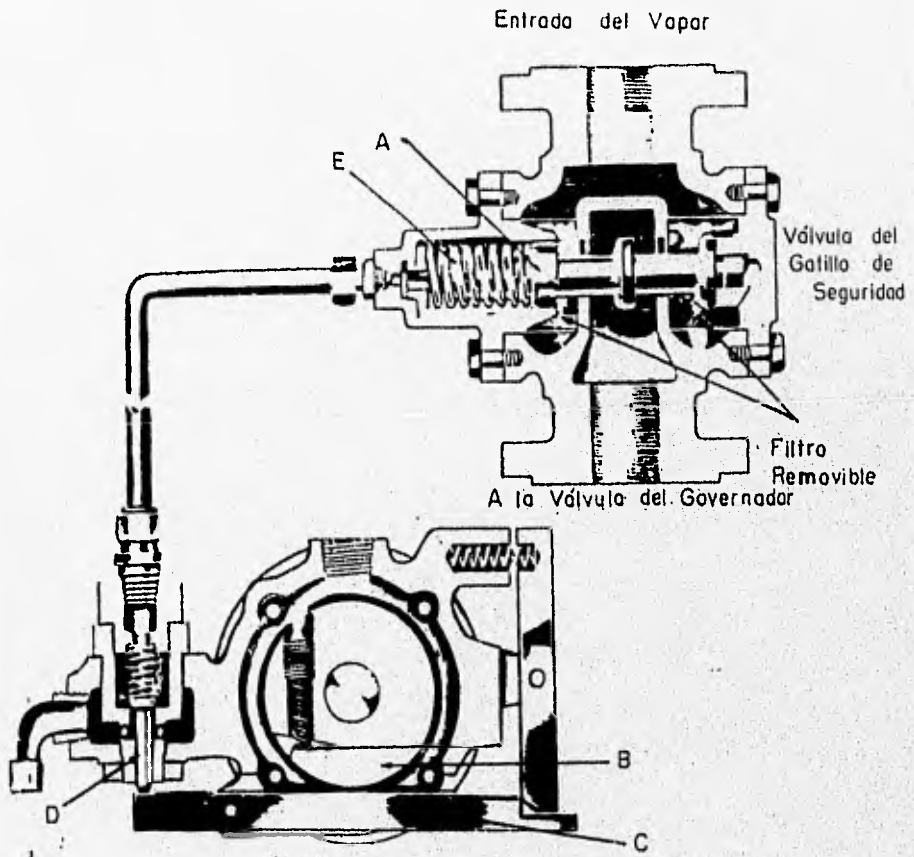


FIGURA II.8 MECANISMO DEL GATILLO DE SEGURIDAD

ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRATICAS PARA LA TURBINA
DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

II.3. ACCESORIOS.

A continuación se da una lista de los accesorios y los componentes principales con los que cuenta el equipo (referirse a las diferentes vistas de la figura II.9):

- 1.- TURBINA DE VAPOR.
- 2.- GENERADOR C.D.
- 3.- CONDENSADOR.
- 4.- BOMBA DE VACÍO.
- 5.- ESCALA DE LA BÁSCULA. Mediante el balance del brazo de la báscula se obtiene el peso del condensado.
- 6.- BASTIDOR. Construida en forma rígida contiene en forma compacta los elementos de que consta el equipo.
- 7.- JUNTA DE EXPANSIÓN. Localizada a la salida de vapor en la turbina se encuentra protegida con un aislante térmico removible.
- 8.- VÁLVULA. Se encuentra después de la junta de expansión y sirve para cerrar o abrir la línea de escape de vapor de la turbina al condensador.
- 9.- CONEXIÓN "T". Se encuentra antes de la entrada del vapor al condensador y esta protegida con aislante térmico removible.
- 10.- ACOPLAMIENTO FLEXIBLE. Se encarga de unir los ejes de la turbina y el generador.
- 11.- DIENTES DE ACERO DEL TACÓMETRO. Están montados en la flecha de la turbina ocultos bajo el protector de la flecha.
- 12.- VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO. Sirve para cerrar o abrir la alimentación de agua de 9 litros/minuto que necesita la bomba de vacío para su funcionamiento.
- 13.- VÁLVULA. Sirve para la liberación del aire que existe en el condensador.
- 14.- MEDIDOR DE AGUA. Se encuentra al principio de la alimentación de agua a la bomba de vacío.
- 15.- VÁLVULA. Se encarga de abrir o cerrar la línea que va del condensador a la bomba de vacío.
- 16.- VÁLVULA. Se utiliza para purgar la línea de entrada del vapor.
- 17.- ROTÁMETRO. Mide el flujo de agua de enfriamiento que entra al condensador.
- 18.- VÁLVULA. Se encuentra en la línea que va a las camisas de vapor de la turbina.
- 19.- VÁLVULA DE SEGURIDAD. Se localiza en la parte superior del condensador.
- 20.- PANEL DE INSTRUMENTOS. Desde aquí se pueden controlar las bombas, ventilador, resistencias eléctricas y, además se toman lecturas de presión, temperatura, voltaje y corriente.
- 21.- TERMÓMETROS DE 0-90° C. Son dos termómetros localizados a los lados del condensador que registran la temperatura del agua de enfriamiento en los pasos intermedios del condensador.

- 22.- TERMÓMETRO DE 0-150° C. Registra la temperatura del condensado a la salida del condensador.
- 23.- TERMÓMETRO DE 0-150° C. Mide la temperatura del vapor a la entrada del condensado.
- 24.- TERMÓMETROS DE 0-90° C. Son dos termómetros que miden la temperatura del agua de enfriamiento a la entrada y salida del condensador.
- 25.- MANOVACUOMETRO. Mide la presión del condensador.
- 26.- MANÓMETROS DE 0-16 BAR. Se trata de 2 manómetros cuyas carátulas se localizan en el panel de instrumentos y registran la presión del vapor en la línea de entrada y a la entrada de las toberas.
- 27.- MANOVACUOMETRO DE -1 A 4 BAR. Se localiza en el panel de instrumentos y registra la presión del vapor a la salida de la turbina.
- 28.- TERMÓMETROS DE 0-250° C. Se encuentran en el panel de instrumentos y registra la temperatura a la entrada de la turbina, a la entrada de las toberas y a la salida de la turbina.
- 29.- VOLTÍMETRO DE 0-300 VOLTS. Se encuentra en el panel de instrumentos y mide el voltaje que entrega el generador C.D.
- 30.- AMPERÍMETRO DE 0-30 AMPERS. Localizado en el panel de instrumentos y detecta el valor de la corriente eléctrica que entrega el generador C.D.
- 31.- TACÓMETRO DE 0-4000 R.P.M. Se encuentra en el panel de instrumentos y registra la velocidad angular a la que gira la turbina.
- 32.- CÁMARA DE CONDENSADO. Es parte del condensador y se encuentra en la línea que va hacia la bomba de vacío.
- 33.- VÁLVULAS ESFÉRICAS. Son dos válvulas que se abren o se cierran completamente, una saca condensado del tanque de medición hacia el tanque colector y la segunda drena el condensado del tanque colector.
- 34.- TANQUE DE MEDICIÓN DEL CONDENSADO. Va montado sobre la báscula.
- 35.- TANQUE COLECTOR DEL CONDENSADO. Localizado abajo del tanque de medición de condensado.
- 36.- BOMBA DE RETORNO DEL CONDENSADO.
- 37.- BLOQUE DE ALINEACIÓN. Sostiene y mantiene alineado el generador C.D.
- 38.- MEDIDOR DEL PAR. Mide el par a que esta sometido el generador C.D.
- 39.- PROTECTOR DE LA FLECHA. Cubre el acoplamiento de la flecha y los dientes de acero del tacómetro, sirve como medio de protección.
- 40.- CODO A 90°. Es la conexión que sirve para introducir el agua de enfriamiento al condensador.
- 41.- VUELTA DE 180°. Se localiza en la línea de entrada del agua de enfriamiento, entre el condensador y el rotámetro.

- 42.- BANCO DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS. Se encuentra oculto en la parte posterior del panel de instrumentos, se encarga de disipar en forma de calor la energía eléctrica que produce el generador en sus bornes.
- 43.- AJUSTADOR DEL DINAMÓMETRO. Sirve para subir o bajar el dinamómetro que mide el par del generador C.D.
- 44.- MECANISMO DE ROSCA PARA AJUSTE DEL DINAMÓMETRO. Es un tornillo que al girar cambia la posición del medidor del torque.
- 45.- PALANCA. Limita el giro del generador C.D.
- 46.- MARCA PARA AJUSTE. Indica la posición correcta del generador para ajustar el dinamómetro que mide el par.
- 47.- VÁLVULA EN ÁNGULO. Al abrirla se drena el agua que queda en el condensador.
- 48.- CONEXIÓN PARA MANGUERA. Sirve para colocar una manguera que saque el agua del condensador.
- 49.- UNIDAD DE EXTRACCIÓN. Por medio de esta unidad se extrae el aire que se calienta por la acción de las resistencias eléctricas.
- 50.- FUELLES DEL CONDENSADOR. Sirven para compensar las dilataciones que sufre el condensador debido a los cambios de temperatura.
- 51.- INTERRUPTORES DE CARGA ELÉCTRICA. Son cinco interruptores que sirven para poner en funcionamiento las resistencias eléctricas.
- 52.- REÓSTATO. Varía el voltaje de la carga eléctrica aplicada.
- 53.- INTERRUPTORES PARA LAS BOMBAS. Controlan el funcionamiento de las bombas y se localizan en el panel de instrumentos.
- 54.- VÁLVULA CENTINELA DE ALIVIO. Se encuentra en la parte superior de la turbina e indica la existencia de una sobrepresión.
- 55.- GLÁNDULA DE SELLO DE LA VÁLVULA CENTINELA. Indica una sobrepresión en la línea que va hacia las camisas de vapor.

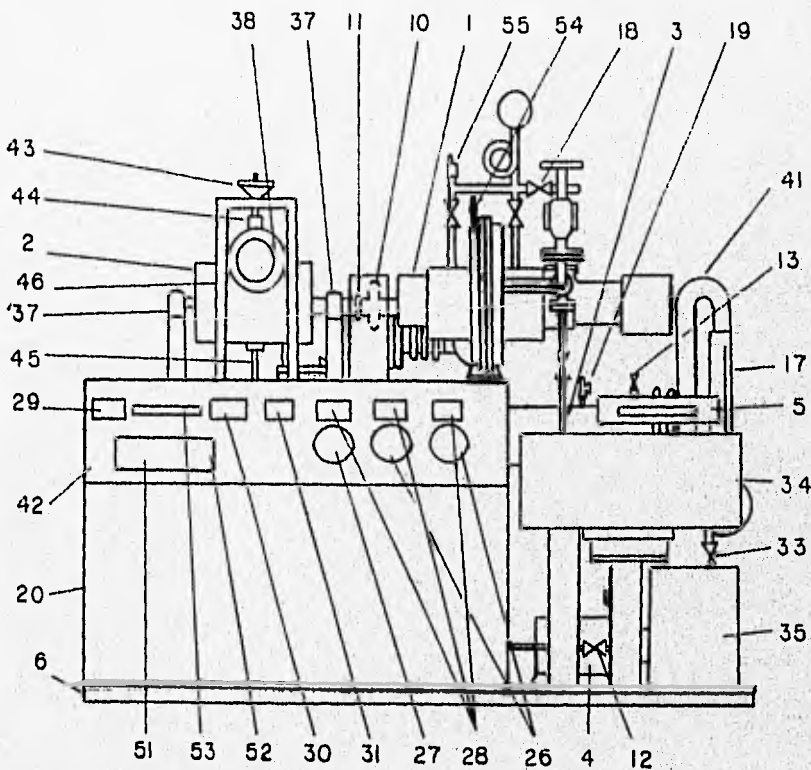


FIGURA II.9 VISTA FRONTAL DEL EQUIPO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS.

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

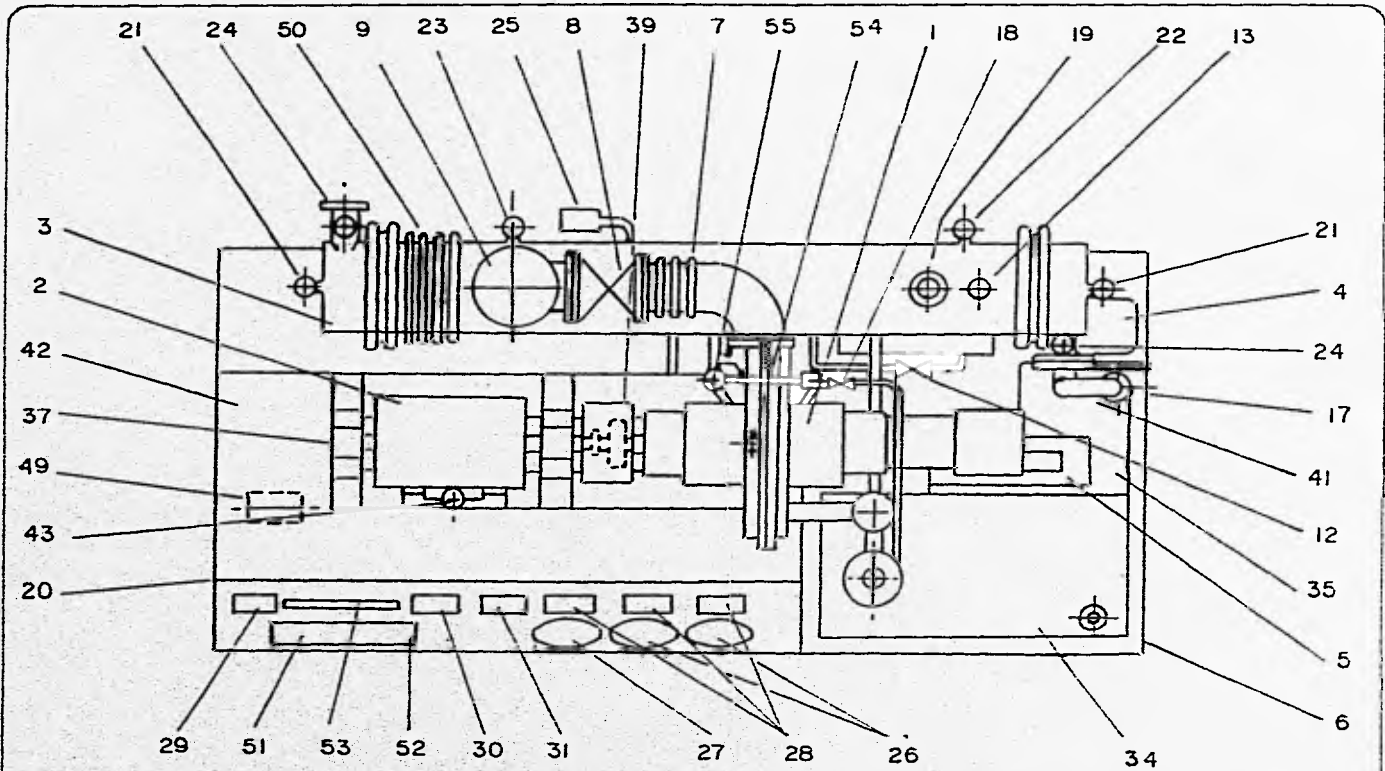


FIGURA II.9 VISTA SUPERIOR DEL EQUIPO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS
 ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
 TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS
 PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO

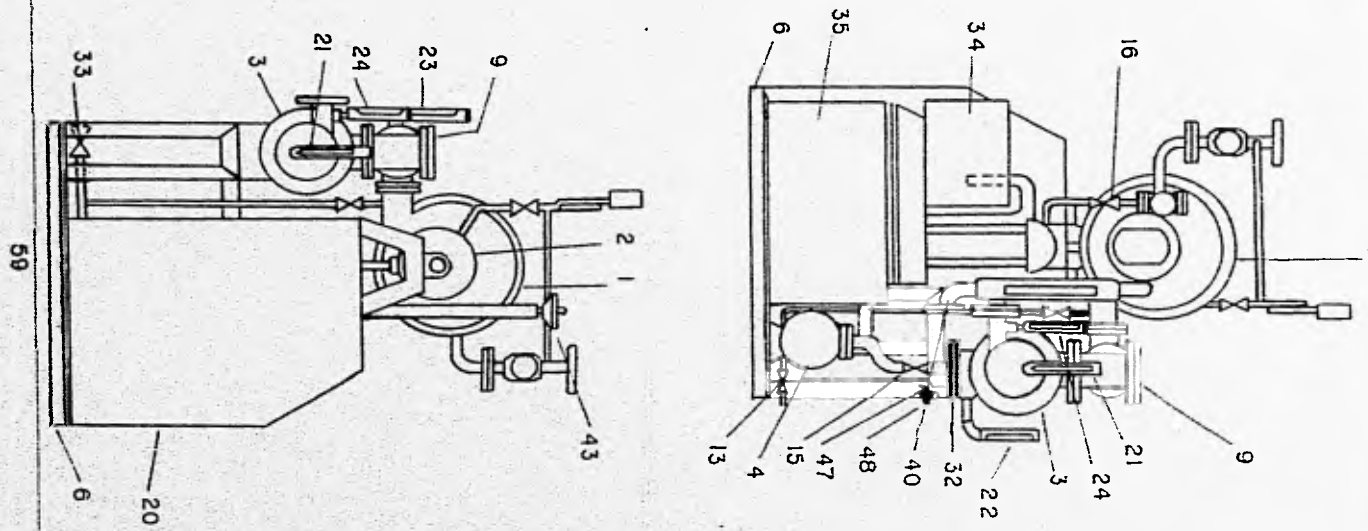


FIGURA 11.9 VISTAS LATERALES DEL EQUIPO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO

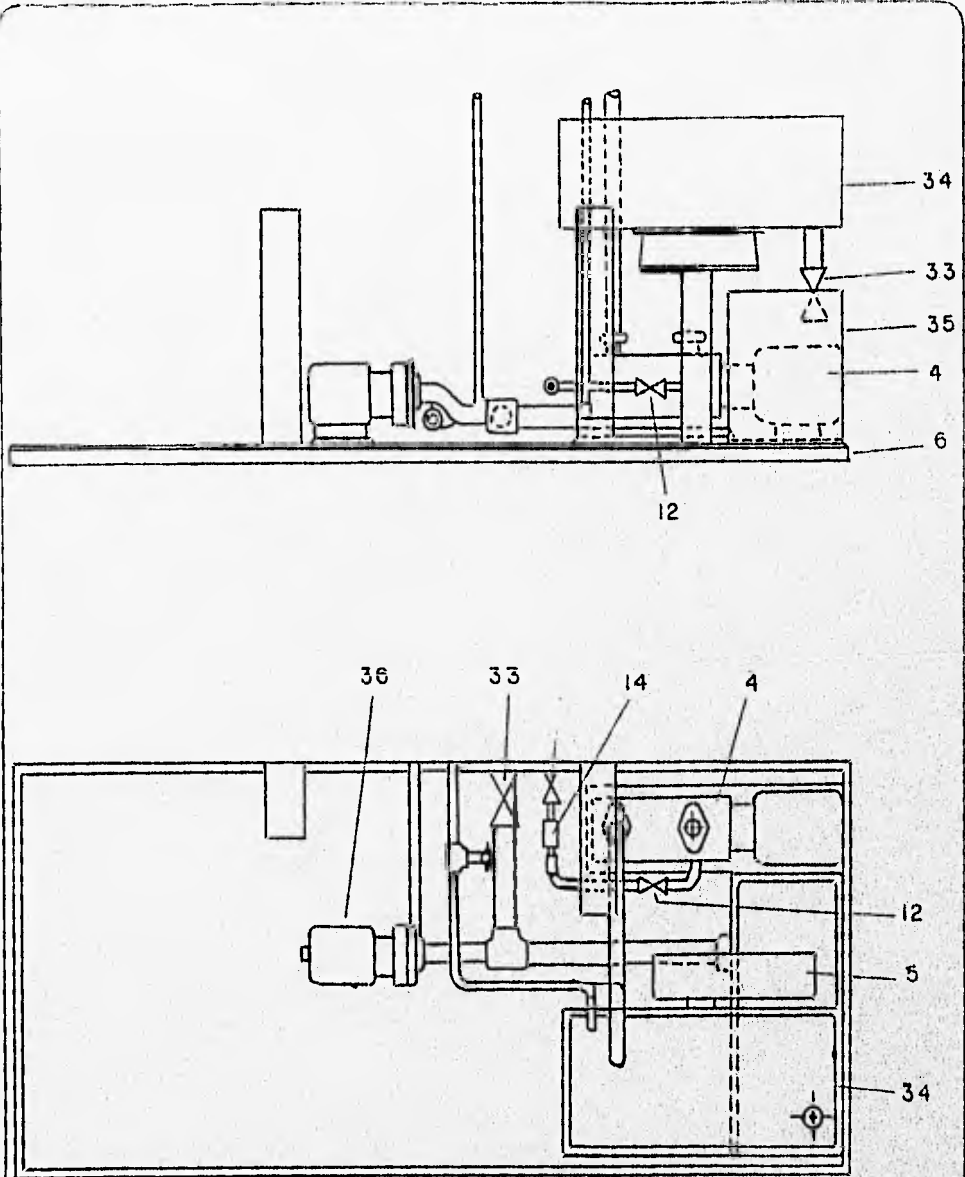


FIGURA II.9 VISTA DE LA BASE DEL EQUIPO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

II.4. PRECAUCIONES DURANTE EL ARRANQUE Y LA OPERACIÓN.

La turbina puede contener vapor a más de 240° C de temperatura con una presión de 10 Bar, debido a esto se deberá tener mucho cuidado de no tocar las superficies o áreas expuestas de metal durante la operación.

Las descargas de energía eléctrica pueden llegar a ser fatales por lo que se deberá revisar cuidadosamente que ninguna cubierta del sistema eléctrico haya sido removida o extraída, asegurarse de que toda conexión a tierra haya sido hecha correctamente.

El personal que tenga a su cargo el equipo se deberá asegurar que este se encuentre en condiciones seguras de mantenimiento y reparación.

Antes de arrancar el equipo se deberá revisar el nivel de aceite tanto en la turbina como en el gobernador, si el nivel es bajo se deberá agregar aceite hasta que el nivel coincida con la marca calibrada.

Se deberá girar con la mano la flecha de la turbina y la de las bombas para asegurarse que giran libremente.

En general todas las válvulas deberán estar completamente abiertas o completamente cerradas.

Se debe asegurar de que circule agua fresca en el condensador antes de que el vapor sea admitido en la turbina.

Se deberá tener presente que las válvulas centinelas de la turbina solo están para advertir una condición de sobrepresión más no para corregirla.

Es importante tomar en cuenta que si el generador C.D. no está girando, este puede tener voltaje, por lo tanto antes de intentar algún mantenimiento el cual puede tener contacto directo con la parte interna, se debe asegurar de que este el generador completamente desconectado y descargado.

Al funcionar el equipo también checar que toda tuerca, clavija, terminal de conexión, toda cubierta, son seguras y además que todas sus conexiones eléctricas están ajustadas y aisladas correctamente en el generador C.D.

En la bomba de condensado, antes de su puesta en marcha, asegurarse que la sobrecarga este asentada en el rango adecuado de corriente mostrado en la placa de especificaciones de la misma. La falla de esta sobrecarga puede resultar en daños severos para el devanado del motor bajo ciertas condiciones.

II.5. DISPOSICIONES DE SEGURIDAD QUE DEBERÁN TENERSE PRESENTES ANTES DE REALIZAR ALGUNA PRACTICA CON LA TURBINA COPPUS.

El objetivo específico de este apartado es que el alumno conozca y aprenda las reglas fundamentales de seguridad para operar el equipo.

Es necesario saber en qué parte del laboratorio está el botiquín de primeros auxilios.

Si el estudiante sigue las instrucciones con cuidado, no se presentarán peligros ni riesgos graves con el equipo de aprendizaje.

Antes de comenzar a trabajar con cualquier equipo, averigüe en qué condiciones está el equipo y si existe algún peligro.

Acostúmbrase a trabajar en forma sistemática y organizada.

Es absolutamente necesario que cualquier persona que trabaje con electricidad aplique estrictamente las normas de seguridad. La electricidad puede ser peligrosa e incluso fatal para quienes no atienden o no practican las reglas básicas de seguridad. La primera regla de seguridad personal es siempre:

"PIENSE PRIMERO".

Esta regla se aplica a todo el trabajo industrial. Adquiera buenos hábitos de trabajo y aprenda a manejar los equipos e instrumentos en una forma correcta y segura. Estudie siempre el trabajo que está por hacer y antes de empezarlo piense meticulosamente en los procedimientos, los métodos y la aplicación de herramientas, instrumentos y máquinas. No se distraiga en el trabajo ni distraiga a otra persona ocupada en una tarea peligrosa. ¡No trate de hacerse el gracioso!. Las bromas son divertidas al igual que el "pasar un buen rato", pero nunca cerca de maquinaria en movimiento o la electricidad. Por lo general, existen tres tipos de accidentes que se producen con demasiada frecuencia entre estudiantes y técnicos en este campo. Si cada alumno reconoce y estudia estos casos, y obedece las sencillas reglas de seguridad, dejará de ser un peligro para sus compañeros. Si lo logra, se evitará experiencias dolorosas y caras, e incluso puede ser que esté salvando su vida.

II.5.1. El choque eléctrico.

La corriente eléctrica es peligrosa. Las corrientes superiores a 100 miliamperes o de sólo un décimo de ampere, son fatales. Un trabajador que haya recibido una descarga de corrientes superiores a 200 miliamperes, podría sobrevivir si se le atiende inmediatamente. Choques producidos por corrientes inferiores a 100 millamperes pueden ser graves y dolorosas.

Se pueden establecer las siguientes reglas de seguridad para evitar los choque eléctricos:

- Se deberá revisar cuidadosamente que ninguna cubierta del sistema eléctrico haya sido removida o extraída.

- Asegurarse de que toda conexión a tierra haya sido hecha correctamente.
- No trabaje sobre pisos mojados. Esto hace que se reduzca substancialmente su resistencia, al haber mejor contacto a tierra; trabaje sobre tapetes ahulados o pisos aislados.
- No trabaje solo. Siempre conviene que haya otra persona para cortar la corriente, aplicar respiración artificial y llamar a un médico.
- Trabaje siempre con una mano a la espalda o en el bolsillo. Cualquier corriente que pase entre las manos atraviesa el corazón y puede ser más letal que cuando va de una mano al pie. Los técnicos experimentados trabajan siempre con una sola mano.

II.5.2. Quemaduras.

Los accidentes que producen quemaduras rara vez son fatales, aunque las lesiones pueden ser muy dolorosas y graves. La disipación de la energía eléctrica produce calor.

Se deben tener presentes las siguientes reglas de seguridad para evitar quemaduras:

- Debe tenerse cuidado de no tocar las superficies expuestas de metal durante la operación. Dichas superficies están señaladas en color rojo.
- Las resistencias se calientan mucho, sobre todo las que llevan corrientes elevadas. Tenga cuidado con las resistencias, no las toque hasta que se enfrien.
- Se debe revisar que los empaques de sello de las diferentes válvulas estén en buenas condiciones para evitar fugas, sobre todo, en aquellas que funcionan en la línea de suministro de vapor.
- Los alumnos y/o técnicos que ayuden en el procedimiento de operación del equipo deberán estar provistos con una bata para proteger sus brazos y ropa, y de ser posible, con guantes y gafas de seguridad que los protejan de posibles quemaduras debido a fugas de vapor.

II.5.3. Lesiones por causas mecánicas.

Esta tercera clase de reglas se aplica a todos los estudiantes que ejecuten algún trabajo junto a maquinaria en movimiento.

- Debido a que la turbina opera a más de 3000 r.p.m. se debe asegurar que el gobernador que regula la velocidad este operando eficientemente. Se debe asegurar que los protectores que cubren los acoplamientos flexibles entre ejes estén perfectamente fijos.
- Los alumnos que no han de participar activamente en la práctica deberán permanecer fuera del área delimitada por la línea amarilla.
- Se debe dar a conocer a los alumnos las vías de evacuación para situaciones de peligro extremo, las cuales deberán estar libres de obstáculos tales como: sillas, mesas, etc.
- Si hay algo que desconoce pregunte al técnico encargado del equipo.

CAPITULO III

*PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA
DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS
TÉRMICAS*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 1

"PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y FRENADO DE LA TURBINA DE VAPOR Y CÁLCULO DE
LA POTENCIA ELÉCTRICA Y POTENCIA AL FRENDO"

MATERIA:	TURBOMAQUINARÍA.
TEMA:	TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS MOTRICES.
SUBTEMA:	TURBINAS DE VAPOR, CLASIFICACIONES, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES.
SEMESTRE:	SEXTO.
MATERIA:	LABORATORIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS
TEMA :	TURBINAS DE VAPOR Y CICLO DE RANKINE.
SUBTEMA:	TURBINA DE VAPOR.
SEMESTRE:	SÉPTIMO.
MATERIA	PLANTAS TERMOELÉCTRICAS.
TEMA:	EQUIPOS PRINCIPALES DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.
SUBTEMAS:	GENERADOR DE VAPOR, TURBINA DE VAPOR, CONDENSADOR, BOMBAS.
SEMESTRE:	MATERIA OPTATIVA.
MATERIAL DE APOYO:	APUNTES TEÓRICOS, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y USO DE EQUIPO.
LUGAR:	LABORATORIO L-2 DE MÁQUINAS TÉRMICAS.

ACTIVIDADES DEL ALUMNO:

1.- Estudiar los conceptos teóricos que se indican para la realización de la práctica:

- Diferentes manifestaciones de la energía y como se lleva a cabo la transferencia de una a otra.

- Conocer que es y como funciona:

A) Un generador de vapor.

B) Una turbina de vapor.

C) Un condensador.

D) Una torre de enfriamiento.

E) Una bomba de vacío.

F) Un generador de corriente directa.

- Definición de temperatura y sus unidades de medición.

- Definición de presión, presión relativa, presión absoluta, presión atmosférica, presión de vacío, presión manométrica, presión barométrica y, unidades de medición de la presión.

- Definición de caudal y sus unidades de medición.

- La función principal de una válvula y tipos de válvulas.

- El significado de "cebar una bomba".

- Qué es cavitación y como se produce en las bombas.

- Como se produce la erosión en las turbinas de vapor.

- Conocer bajo que condiciones de presión y temperatura se llevan a cabo los siguientes cambios de fase del agua:

A) Evaporación.

C) Vaporización.

B) Ebullición.

D) Condensación.

2.- Realizar un examen de diagnóstico sobre los conceptos teóricos y sobre el desarrollo de la práctica.

3.- Recibir una explicación general del funcionamiento del equipo.

4.- Tomar lecturas de los instrumentos del equipo y llenar la tabla de lecturas.

5.- Realizar el reporte de la práctica donde incluirá una memoria de cálculo, tablas de resultados, gráficas si se piden, conclusiones y cuestionario resuelto.

PRACTICA No. 1

Procedimiento de Arranque y Frenado de la Turbina de Vapor y Cálculo de la Potencia Eléctrica y Potencia al Freno.

1.1. OBJETIVOS:

Al término de la práctica el alumno:

- 1.1.1. Reconocerá la importancia de una turbina de vapor como órgano fundamental de una planta termoeléctrica.
- 1.1.2. Conocerá el procedimiento de arranque y frenado de la turbina.
- 1.1.3. Analizará los resultados obtenidos en el cálculo de la potencia al freno y la potencia eléctrica de salida para diferentes valores de carga.
- 1.1.4. Analizará como son los flujos másicos de vapor conforme aumenta la carga.
- 1.1.5. Identificará los diferentes intercambios de energía que se llevan a cabo en todo el equipo.
- 1.1.6. Tendrá la bases para identificar los principales tipos de válvulas que posee el equipo.

1.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- Suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- Suministro de vapor por medio del generador de vapor.
- Turbina de vapor.
- Cronómetro.

1.3. INTRODUCCIÓN:

1.3.1. Consideraciones generales para el procedimiento de arranque inicial y pruebas en turbinas de vapor.

1.3.1.1. El suministro eléctrico y el sistema de agua de servicio deberá ponerse en operación antes que cualquier otro elemento del equipo.

1.3.1.2. Al arrancar una turbina de vapor el rotor debe operarse de modo tal, que permanezca recto y a nivel. Las purgas o drenes de la carcasa deberán estar abiertas permitiendo que el vapor condensado a medida que el metal de la carcasa se calienta se desaloje rápidamente. Por lo general las trampas incomunican hasta que la unidad está bien caliente operándose los drenes manualmente, a fin de desalojar el condensado con más facilidad y capacidad. Se debe tener cuidado de que los drenes estén conectados al condensador u otro punto que esté a un vacío mayor, por lo menos durante el arranque, debido a que prácticamente todas las partes de la turbina se encuentran bajo

vacio en la condición de no carga, aún cuando las presiones pueden ser altas durante la operación normal.

1.3.1.3. Se deberá tener cuidado al calentar las líneas principales de vapor y las tuberías provenientes del generador de vapor, así como drenar el sobrecalentador y sus conexiones, para asegurar que no exista ningún arrastre de agua hacia la turbina. Lo anterior es especialmente importante después de que la turbina ha alcanzado su velocidad de régimen, ya que en tal momento una cantidad pequeña de agua puede fácilmente arrancar las paletas de la máquina y arruinar la unidad. Todos los puntos bajos donde el agua puede acumularse deberán ser mantenidos libres de humedad por medio de una línea de drenaje que esté soplando continuamente durante el arranque.

1.3.1.4. El vapor suministrado a la turbina debe estar por supuesto libre de humedad o de otras impurezas y su temperatura se mantendrá tan uniforme como sea posible. Para una operación económica, tanto la presión como la temperatura deberán conservarse en los valores de diseño.

1.3.1.5. La medición del condensado es considerada la manera más precisa de determinar la cantidad de vapor usada por una turbina que trabaje bajo el ciclo de condensación; las fugas en el condensador pueden originar errores en caso de que no se apliquen las correcciones adecuadas. El método inmediato en lo relativo a exactitud es el de medir el flujo de vapor hacia la turbina, siempre y cuando el orificio o elemento que produzca la caída de presión esté fabricado con precisión y se instale correctamente en el lugar indicado. Cuando se use la medición del flujo de agua de alimentación al generador de vapor para determinar el correspondiente flujo de vapor a la turbina, será necesario considerar que la vación del contenido de agua del generador de vapor y las fugas de agua en los estoperos de la bomba de alimentación pueden introducir errores en la estimación total; sin embargo, este método será satisfactorio si se toma las precauciones debidas y si el período de la prueba es suficientemente largo.

1.3.1.6. Al efectuar la prueba de una turbina se deberá considerar muy cuidadosamente cualquier flujo de agua o vapor hacia dentro o hacia fuera de los sellos de las válvulas atmosféricas de alivio, ejes de turbinas, y otros puntos, así como de la manera en que estas fugas afecten la medición de los flujos de vapor o de agua.

1.3.2. Consideraciones deseables para poder iniciar el procedimiento de arranque.

- Asegurar que exista corriente eléctrica exterior para el funcionamiento del ventilador que enfría el banco de cargas resistivas, el cual deberá funcionar antes que algún otro elemento eléctrico como pueden ser las bombas.
- Se debe verificar que exista suministro de vapor en la línea de entrada.
- Que exista suficiente agua de enfriamiento en el condensador que es de 150 lts/min. máximo.

- Verificar que el nivel de aceite en la turbina y el gobernador sea el adecuado.
- La palanca horizontal del gatillo de seguridad deberá estar embragada.
- La válvula de suministro de vapor V_1 , las válvulas de sello del prensaestopas V_{11} , V_{12} , V_{13} , la válvula V_{14} que permite el flujo de condensado a la bomba de vacío y las válvulas manuales de las toberas deberán estar cerradas.
- Todos los interruptores de cargas eléctricas en el panel de control deberán estar apagados.

1.3.3. Lista de las Válvulas con que cuenta el equipo. (Ver figuras III.1.1).

- V_1 .- Válvula de admisión de vapor a la turbina.
- V_2 .- Válvula que permite la entrada de agua al condensador.
- V_3 .- Válvula que controla el flujo de agua a través del condensador.
- V_4 .- Válvula para drenar el vapor condensado a la entrada de la turbina.
- V_5 .- Válvula que permite el escape del vapor de la turbina hacia el condensador.
- V_6 .- Válvula para drenar el vapor condensado en el escape de la turbina.
- V_7 .- Válvula para liberar aire del condensador.
- V_8 .- Válvula para drenar el condensador.
- V_9 .- Válvula para drenar el tanque de medición de condensado.
- V_{10} .- Válvula para drenar el tanque recolector del condensado.
- V_{11} , V_{12} y V_{13} .- Válvulas que permiten el sello con vapor del prensaestopas de la turbina.
- V_{14} .- Válvula que permite el flujo del condensado a la bomba de vacío
- V_{15} .- Válvula que permite la entrada del suministro de agua a la bomba de vacío.

1.4. DESARROLLO.

1.4.1. Procedimiento de arranque.

1.4.1.1. Encender la bomba de suministro de agua de enfriamiento así como el ventilador de la torre de enfriamiento. En el caso de que no se pueda hacer uso de la torre de enfriamiento asegurar que haya suficiente agua disponible en el condensador (aproximadamente 150 lts/min.) y abrir las válvulas V_2 y V_3 .

1.4.1.2. Abrir las siguientes válvulas: V_4 , V_5 , V_6 , V_7 , V_8 , V_9 y V_{10} .

1.4.1.3. Abrir lentamente y solo por unos instantes la válvula V_1 en la línea de entrada, para permitir que una pequeña cantidad de vapor entre a la turbina, esto se hace para asegurarse que la turbina se caliente.

1.4.1.4. Asegurar que el dinamómetro no este cargado y calibrarlo a cero.

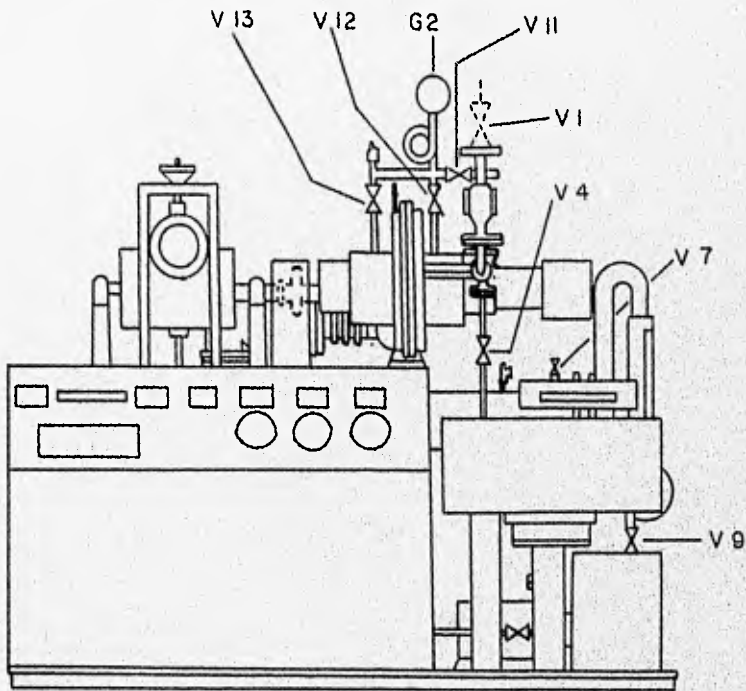


FIGURA III.1.1 VISTA FRONTAL MOSTRANDO LAS VALVULAS DE LA TURBINA
 ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
 TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA
 DE VAPOR COPPUS
 PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

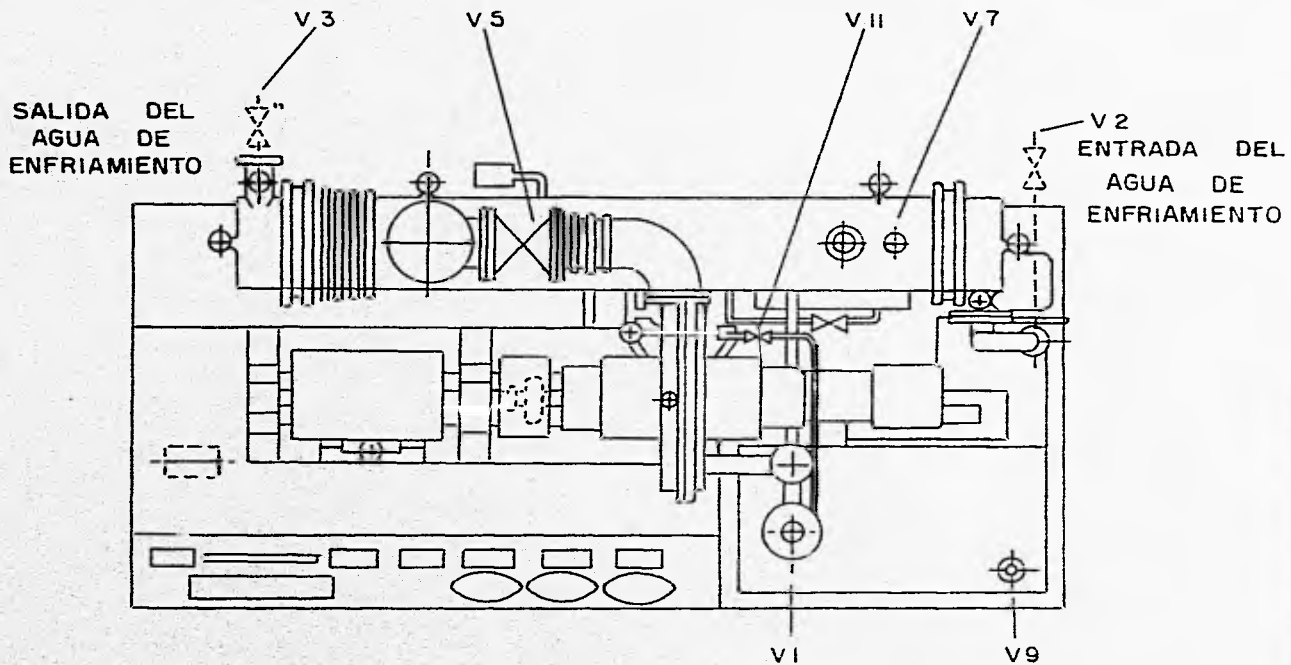


FIGURA III.1.1 VISTA SUPERIOR MOSTRANDO LAS VALVULAS DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS
ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS
PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO

72

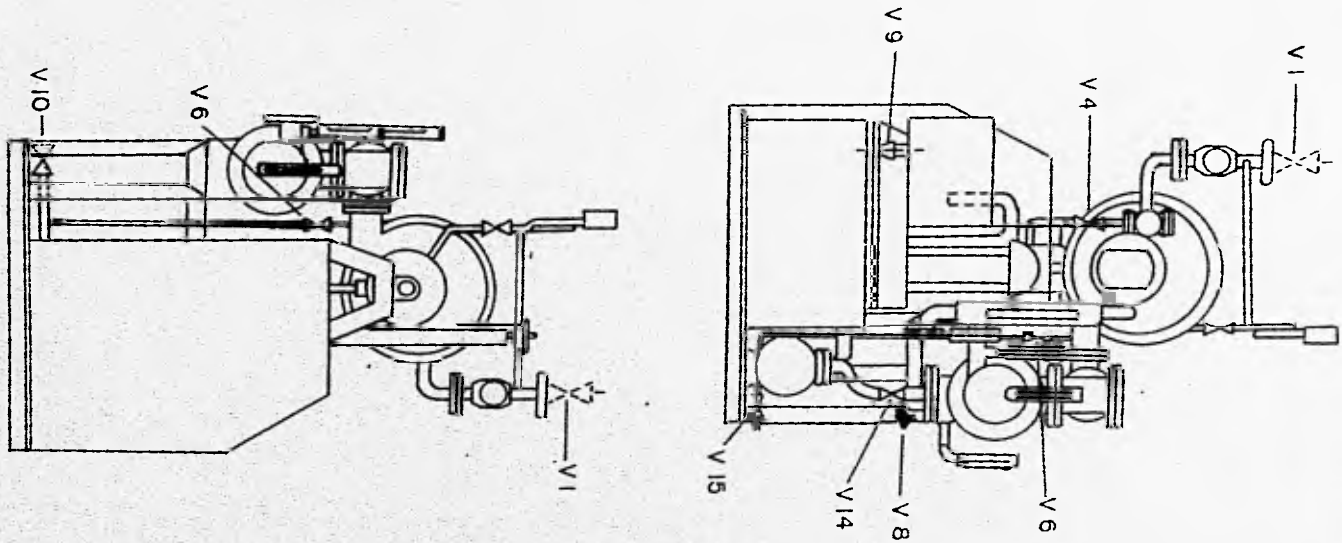


FIGURA III.1.1 VISTAS LATERALES MOSTRANDO LAS VALVULAS DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS
ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS
PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE ALFREDO

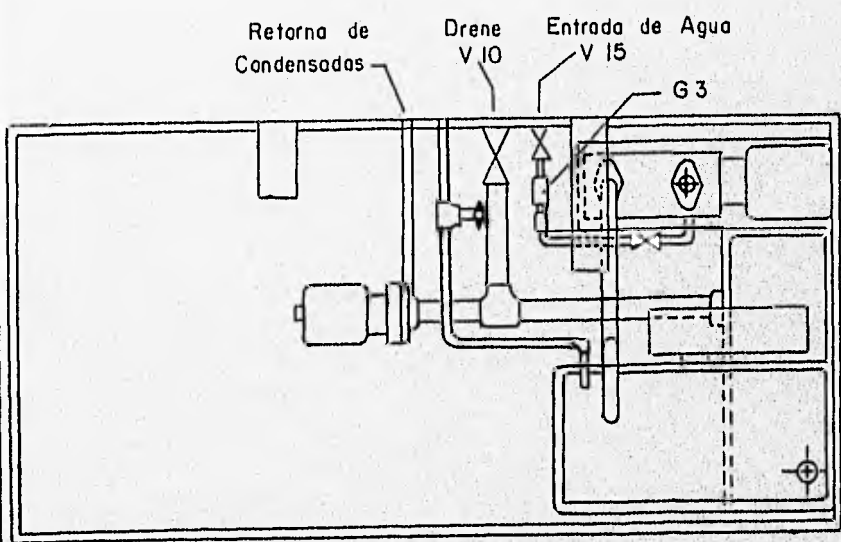
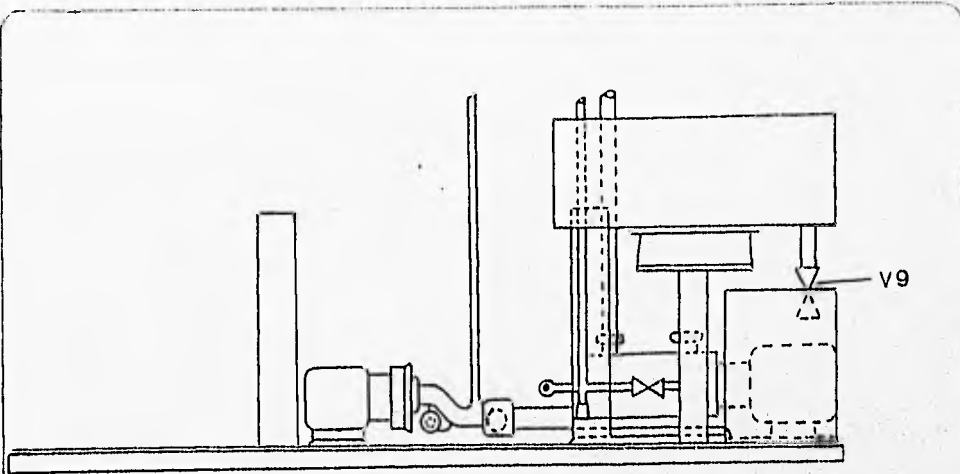


FIGURA III.1.1 VISTA DE LA BASE MOSTRANDO LAS VALVULAS DE LA TURBINA
 ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
 TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA
 DE VAPOR COPPUS
 PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

1.4.1.5. Abrir de nuevo la válvula V_1 lentamente y, permitir que la turbina gire, abriendo una de las válvulas manuales de las toberas. Girar de regreso la válvula V_1 para que la turbina se detenga, pero dejando que el vapor pase silenciosamente a través de la turbina y el condensador y se descargue al desagüe por la válvula V_8 .

1.4.1.6. Conectar la corriente eléctrica exterior y poner a funcionar el ventilador que enfría las cargas resistivas.

1.4.1.7. Abrir la válvula V_{15} para suministrar un caudal de 9 lts/min. a la bomba de vacío. Inmediatamente después encender la bomba de vacío. Se debe tener cuidado de la bomba no llegue a ser obstruida con agua, para ello el tiempo que nos ocupe en abrir el suministro de agua y pulsar el botón de encendido deberá ser mínimo. No presionar el botón antes de que el agua sea admitida porque esta actuaría como un lubricante y causaría serios daños.

1.4.1.8. Abrir completamente la válvula V_{14} y cerrar las válvulas siguientes: V_8 , V_7 , V_6 y V_4 en este orden.

1.4.1.9. Abrir completamente la válvula V_1 . La turbina comenzará a elevar su velocidad, el gobernador deberá controlar la velocidad de la turbina entre 3000 y 3300 r.p.m. La correcta velocidad de la turbina es de 3000 r.p.m. Si el gobernador no está asumiendo el control de velocidad apagar el sistema y consultar las posibles causas de falla del gobernador de velocidad.

1.4.1.10. Abrir lentamente la válvula V_{11} hasta que el manómetro G_2 indique una presión aproximadamente de 2 bar (29 PSI), y una vez alcanzada esta presión abrir las válvulas V_{12} y V_{13} para que el aire que se encuentra en el prensaestopas escape junto con el vapor.

1.4.1.11. Permitir que la turbina gire sin carga para lograr condiciones estables en todo el sistema. Para agregar carga asegurarse que la válvula V_1 a la entrada del vapor esté completamente abierta. Se acciona un interruptor de carga eléctrica hasta la posición de encendido, estos interruptores se encuentran en el panel de instrumentos. Ajustar el voltaje girando la perilla del reóstato y reajustar la velocidad de la turbina a 3000 r.p.m. en cada incremento de carga eléctrica. Al ir incrementando la carga se deberán ir abriendo las válvulas que permiten el paso de vapor a través de las toberas para que pueda entrar más vapor. Se deberán tomar lecturas de voltaje, amperaje y par para 5 diferentes valores de carga, manteniendo constante las r.p.m.

1.4.1.12. Se puede conseguir variaciones en la contrapresión abriendo la válvula V_7 que permite la entrada de aire del condensador para romper el vacío, y también, cerrando la válvula V_5 en el escape. Note que esta válvula nunca debe estar completamente cerrada cuando vaya deteniéndose la turbina.

1.4.1.13. Medición del condensado: Existen 2 maneras de obtener experimentalmente la cantidad de vapor utilizado por la turbina durante una prueba. La primera consiste en tomar nota del flujo de agua

a la bomba de vacío en el medidor G_3 en el comienzo y final de la prueba, y restar este flujo del condensado total recolectado; tomando el tiempo que dure la prueba para poder tener las unidades correspondientes a un flujo (kg./seg.).

La otra alternativa consiste en cerrar la válvula V_{15} (el condensado extraído desde el condensador será suficiente para formar el anillo líquido de sello en la bomba de vacío). Se debe ajustar la balanza en 10 kg. (La válvula V_9 deberá estar cerrada), y permitir que el condensado sea descargado dentro del tanque de medición hasta que la balanza indique el peso preestablecido e inmediatamente poner a funcionar un cronómetro. Sobrepasar el balance por una adición de 5 kg. Tan pronto como la balanza indique que este peso está presente en el tanque, detener el cronómetro. Nosotros ahora tenemos el peso del condensado descargado (en este incremento de 5 kg.), en el tiempo indicado por el cronómetro, el cual, nos ayudará a calcular la cantidad de condensado total utilizado durante el tiempo que tarde la prueba.

Se deberán hacer mediciones del condensado para cada arreglo de toberas abiertas.

1.4.1.14. Para descargar el condensado al tanque alimentador del generador de vapor se debe cerrar la válvula V_{10} y presionar el botón de encendido (verde) de la bomba de retorno de condensados, el cual se encuentra en el panel de control. Asegurarse de que la bomba no está girando en vacío sin agua presente en el tanque.

1.4.2. Procedimiento para detener el equipo.

1.4.2.1. Colocar todos los interruptores de carga en posición de apagado e ir ajustando el gobernador para que la turbina no incremente su velocidad.

1.4.2.2. Cerrar la válvula de entrada del vapor V_1 . Alternativamente liberar la palanca horizontal del gatillo de seguridad, entonces cerrar V_1 .

1.4.2.3. Cerrar la válvula V_{15} y abrir la válvula V_8 .

1.4.2.4. Presionar el botón rojo para apagar la bomba de vacío y cerrar la válvula V_{14} .

1.4.2.5. Abrir las válvulas V_7 , V_6 y V_4 así como también todas las válvulas manuales de las toberas.

1.4.2.6. Presionar el botón rojo para detener la bomba de retorno de condensados. Tener cuidado de no meter aire a la bomba.

1.4.2.7. Cuando el banco de elementos resistivos o de carga estén fríos: presionar el botón rojo que detiene el ventilador que enfría dicho banco. Y abrir la válvula V_{10} .

1.4.2.8. Cuando todo residuo de calor haya sido absorbido por el agua de enfriamiento del condensador, presionar el botón de paro de la bomba de alimentación. Inmediatamente cerrar las válvulas V_2 y V_3 .

1.4.2.9. Presionar el botón de apagado del ventilador de la torre de enfriamiento. Apagar el generador de vapor. Desconectar la energía eléctrica exterior.

1.5. TABLA DE LECTURAS.

LECTURA	TORQUE (N)	VOLTAJE (Volts)	AMPERAJE (Ampers)	FLUJO DE AGUA A LA BOMBA DE VACÍO (lts/min.)	CONDENSADO RECOLECTADO (kg.)	TIEMPO DE LA PRUEBA (min)
1						
2						
3						
4						
5						

1.6. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.

Después de que la turbina a entrado en funcionamiento se puede aumentar la corriente que pasa a través del devanado de excitación del generador.

Esto genera un potencial eléctrico que se disipara a través de la resistencia de carga.

La corriente de carga, pasando a través de los devanados de la armadura del generador produce en está una fuerza opuesta al movimiento de rotación de la máquina. Dicho fenómeno provoca el movimiento del cuerpo exterior de la máquina montada sobre un cojinete.

Conociendo este desplazamiento (Nxm) del par es posible obtener el valor de potencia en Watt.

Efectivamente tenemos:

$$d = 0.184 \text{ m}$$

$$T(Nxm) = F (N) \times d (m)$$

1.6.1. Cálculo de la potencia al freno. (Potencia efectiva al eje de la turbina) W_b .

$$W_b = \frac{2\pi n T}{K}$$

$n = r.p.m.$

$T = (N \times m)$

$K = 60 (N \times m) / (\text{Watt} \cdot \text{min.})$

1.6.2. Cálculo de la potencia eléctrica. P_e

$$P_e = V A / 1000 = (\text{Watt})$$

$V = \text{volts}$

$A = \text{Ampers}$

1.7. TABLA DE RESULTADOS.

LECTURA	VALOR DE LA CARGA (KW)	W_b (KW)	P_e (KW)	FLUJO DE VAPOR EXPERIMENTAL (kg./min.)
1				
2				
3				
4				
5				

1.8. CUESTIONARIO.

- 1.- Mencione la primera ley de la Termodinámica y explique los diferentes intercambios de energía que se llevan a cabo en el equipo.
- 2.- Mencione otras aplicaciones de las turbinas de vapor, distintas a las que se le da en una termoeléctrica.

3.- Clasifique que tipo de turbomáquina es la turbina de vapor Coppus de acuerdo con los siguientes puntos, explicando porqué:

- A) Según la compresibilidad del fluido.
- B) Según el sentido de intercambio de energía.
- C) Según la dirección del flujo.

4.- Investigar en que difieren las turbinas de acción de las de reacción y mencione a que grupo corresponde la turbina Coppus.

5.- Mencione las condiciones de operación de la turbina Coppus.

6.- Identifique los diferentes tipos de válvulas con que se cuenta en el equipo, principalmente las que son mencionadas en los procedimientos de arranque y paro.

7.- Investigar de que tipo es el generador de vapor del equipo.

8.- Investigar de que tipo es la torre de enfriamiento del equipo.

9.- ¿Cuál es la diferencia entre evaporación y vaporización?

10.- ¿Qué es un prensaestopas?

11.- ¿Por qué la potencia eléctrica de salida es menor que la potencia al freno ?

12.- ¿Cómo es el flujo másico de vapor al ir aumentando la carga ? Explique.

1.9. CONCLUSIONES.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 2

"TOBERAS (MEDICIÓN TEÓRICA DEL VAPOR UTILIZADO POR LA TURBINA)"

MATERIA: TURBOMAQUINARIA.
TEMA: ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LAS TURBINAS DE VAPOR.
SUBTEMA: LA TOBERA.
SEMESTRE: SEXTO.

MATERIA: LABORATORIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS.
TEMA: CICLO DE RANKINE Y TURBINA DE VAPOR.
SUBTEMA: TURBINA DE VAPOR.
SEMESTRE: SÉPTIMO.

MATERIAL DE APOYO: APUNTES TEÓRICOS, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y USO
DE EQUIPO.

LUGAR: LABORATORIO L-2 DE MÁQUINAS TÉRMICAS.

ACTIVIDADES DEL ALUMNO:

- 1.- Estudiar los conceptos teóricos que se indican para la realización de la práctica:
 - Ecuación de la continuidad.
 - Definición de caudal y sus unidades de medición.
 - Procesos termodinámicos de expansión reversible y también irreversible.
 - Medición del flujo de vapor de manera experimental.
 - Definiciones de tobera y difusor.
 - Diagramas termodinámicos (Molliere).
 - Uso de tablas de vapor.
 - Interpolación.
 - Sistemas de régimen permanente o estable.
 - Primera ley de la termodinámica.

- 2.- Realizar un examen de diagnóstico sobre los conceptos teóricos y sobre el desarrollo de la práctica.

- 3.- Recibir una explicación general del funcionamiento del equipo.

- 4.- Tomar lecturas de los instrumentos del equipo y llenar la tabla de lectura.

- 5.- Realizar el reporte de la práctica donde incluirá una memoria de cálculo, tablas de resultados, gráficas si se piden, conclusiones y cuestionario resuelto.

Práctica No. 2.

Toberas (Medición teórica del vapor utilizado por la turbina).

2.1 OBJETIVOS:

- 2.1.1. El alumno conocerá la doble función de una tobera.
- 2.1.2. El alumno calculará el flujo teórico de vapor hacia la turbina a través de las toberas.
- 2.1.3. El alumno comprenderá como se lleva a cabo el proceso de expansión en las toberas.
- 2.1.4. El alumno comparará el flujo teórico con el flujo experimental.
- 2.1.5. El alumno calculará la eficiencia para un arreglo de toberas dado.

2.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- Suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- Suministro de vapor mediante el generador de vapor.
- Turbina de vapor.
- Cronómetro.
- Diagrama de Molliere.

2.3. INTRODUCCIÓN.

En las toberas el vapor experimenta un proceso de expansión. Este flujo (o corriente de vapor) es irreversible y tridimensional, pero esta consideración impide un análisis accesible. Podemos evaluar aproximadamente un gran número de condiciones de este flujo suponiendo el movimiento del vapor en régimen permanente, es decir, corriente constante y unidimensional, y estado estable a través de las toberas (permanencia en el tiempo), y las propiedades del vapor en un punto no varían tampoco en el tiempo (estabilidad). Estas condiciones pueden parecer demasiado restrictivas, pero en muchos casos los cambios reales que se producen respecto de tales condiciones, son pequeños y es posible despreciarlos.

El movimiento de un fluido a través de una tobera, constituye un aspecto muy importante en el diseño de turbinas. La llamada tobera tiene 2 funciones básicas: dirigir el fluido en la dirección deseada y convertir en energía cinética la energía térmica de la sustancia fluyente. Lo último se logra por medio de un conducto de sección variable.

La tobera es un órgano fijo, que forma por tanto parte de la cubierta de entrada de la turbina, cuya misión es transformar totalmente (escalonamiento de acción) o parcialmente (escalonamiento de reacción) el salto entálpico en energía cinética. Como consecuencia, en la tobera la presión del fluido disminuye, y el volumen específico aumenta (proceso de expansión).

En la figura III.2.1 se representa el proceso de expansión en una tobera de la turbina de vapor, cuya entrada la designaremos con el subíndice 0 y su salida con el subíndice 1.

Según el primer principio (dónde dzg es casi igual a cero):

$$dQ = dh + d\left(\frac{c^2}{2}\right) + dW$$

La tobera no realiza el trabajo $dW = 0$, y se puede, en primera aproximación, suponer adiabática, luego $dQ = 0$, con lo cual $d(c^2/2) = -dh$ e integrando entre 0 y 1:

$$\frac{c_1^2 - c_0^2}{2} = h_0 - h_1$$

El vapor entra en la turbina con una velocidad muy pequeña, por eso en la tobera y siempre que pueda suponerse el cociente

$$\frac{c_0^2}{2} \approx 0$$

se tendrá:

$$c_1 = \sqrt{2(h_0 - h_1)}$$

En la figura III.2.1 se ha representado el proceso isoentrópico por la curva 0-1_s, trazada desde el punto inicial hasta la isobara correspondiente a la presión P₁ de salida de la tobera, siendo el salto entálpico isoentrópico:

$$\Delta h_s = h_0 - h_{1s}$$

ya la velocidad de salida isoentrópica será:

$$c_{1s} = \sqrt{2(\Delta h_s)}$$

velocidad teórica:

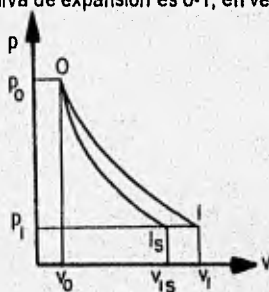
$$\frac{c_{1s}^2}{2} \approx 0$$

El proceso real va acompañado de un aumento de entropía. El punto inicial es el mismo punto 0; pero el punto final es el 1, en vez de 1_s, siendo:

$$s_1 > s_{1s}$$

La curva de expansión es 0-1, en vez de 0-1_s. El salto entálpico real es:

$$\Delta h = h_0 - h_1 < \Delta h_s$$



III.2.1. Proceso ideal y real de expansión del Vapor en una Tobera.

2.4. DESARROLLO.

Para la realización de esta práctica necesitamos lograr la estabilización, manteniendo constantes la temperatura y presión para que de esta manera logramos una velocidad igualmente constante a través de las toberas.

Se deberán tomar las lecturas que a continuación se indican para los 4 arreglos diferentes de toberas abiertas, observando que se logre la estabilización entre cada cambio de arreglo.

Para el cálculo práctico del flujo de vapor necesitamos tomar lecturas del flujo de agua a la bomba de vacío en el medidor G_3 en el comienzo y final de la prueba y restar este flujo del condensado total recolectado, tomando el tiempo que dure la prueba.

2.5. TABLA DE LECTURAS.

	Diferentes arreglos de toberas abiertas (Para obtener valores diferentes de presión de entrada)			
	1	1,2	1,2,3	1,2,3,4
En la entrada de la turbina	P_2 (BAR)			
	T_2 (°C)			
En el interior de la carcasa	P_1 (BAR)			
	T_1 (°C)			
En el medidor G_3	inicio L_1 (lts/min.)			
	final L_2 (lts/min.)			
Condensado total recolectado	(kg.)			
tiempo de la prueba	(seg.)			

2.6. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.

2.6.1. Flujo teórico a través de las toberas Convergente-Divergente.

$$\dot{m} = n \times A \times C \times \sqrt{\frac{P_2}{v}}$$

dónde:

n = número de toberas abiertas.

A = Área de la tobera

Para las 3 toberas de condensación se tienen la misma área:

$$A_1 = A_2 = A_3 = 2.78 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Para la tobera 4, tenemos:

$$A_4 = 7.13 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

C = Constante de la tobera o constante para una arreglo de toberas dado.

$$C = \frac{V'_{real}}{V'_{teórica}} = \frac{\sqrt{2(h_2 - h_1)}}{\sqrt{2(h_2 - h_u)}}$$

h_2 = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_2 abs y T_2

h_1 = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_1 abs. y T_1 .

h_u = Se obtiene del diagrama bajando una línea a entropía cte. hasta P_1 abs.

P_2 = Presión absoluta a la entrada de las toberas (Newton/m²)

v = Volumen específico del vapor de entrada evaluado con la presión y temperatura en la entrada de las toberas en tablas de vapor sobrecalentado (m³ / kg.).

2.6.2. Flujo experimental.

$$\dot{m} = \frac{\text{condensado total recolectado}}{\text{tiempo de la prueba}} = \text{flujo de agua a la bomba de vacío} (I_2 - I_1)$$

2.6.3. Eficiencia de la tobera.

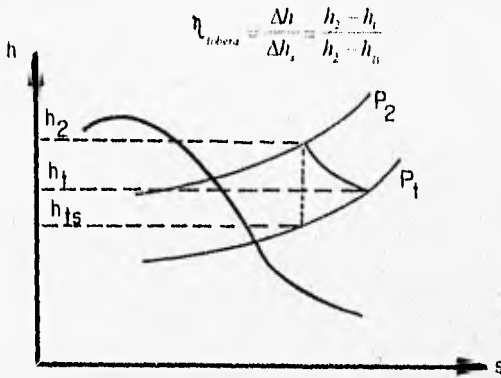


Figura III.2.2.

2.7. TABLA DE RESULTADOS.

		Diferentes arreglos de toberas abiertas			
		1	1,2	1,2,3	1,2,3,4
Flujo teórico	$\dot{m}_{\text{teórico}}$				
Flujo experimental	$\dot{m}_{\text{experimental}}$				

2.8. CUESTIONARIO.

- 1.- Mencione la doble función de una tobera.
- 2.- Mencione las diferencias entre una tobera y un difusor.
- 3.- ¿Qué tipo de turbina es la turbina Coppus, acción o de reacción? y explique ¿Porqué?
- 4.- De acuerdo a la respuesta anterior ¿Qué es el salto entálpico? y para la turbina Coppus ¿como lo transforma la tobera en energía cinética, de manera total o parcial?
- 5.- ¿Qué tipo de admisión tenemos en la turbina Coppus? ¿Parcial o total? y explique ¿Porqué?
- 6.- ¿Cómo son las eficiencias para los diferentes arreglos de toberas?
- 7.- ¿Cómo son los flujos teórico y experimental? ¿Cuál considera el más exacto? y ¿Porqué?

2.9. CONCLUSIONES.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 3

"OPERACIÓN DEL GOVERNADOR PARA CAMBIOS DE VELOCIDAD EN LA TURBINA".

MATERIA: PLANTAS TERMOELÉCTRICAS.
TEMA: EQUIPOS Y SISTEMAS PRINCIPALES DE UNA CENTRAL
TERMOELÉCTRICA.
SUBTEMA: CONTROL E INSTRUMENTACIÓN.
SEMESTRE: MATERIA OPTATIVA.

MATERIAL DE APOYO: APUNTES TEÓRICOS, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y
USO DE EQUIPO.
LUGAR: LABORATORIO L-2 DE MÁQUINAS TÉRMICAS.

ACTIVIDADES DEL ALUMNO:

- 1.- Estudiar los conceptos teóricos que se indican para la realización de la práctica:
 - Fuerzas centrípeta y centrífuga.
 - Principio de amplificación hidráulica.
 - Frecuencia de la corriente eléctrica.
 - Regulación de velocidad en turbinas de vapor.
 - Potencia eléctrica y potencia al freno.
 - Cálculo teórico de flujo de vapor.
 - Diagramas termodinámicos: Principalmente diagrama de Mollier (h-s).

- 2.- Realizar un examen de diagnóstico sobre los conceptos teóricos y sobre el desarrollo de la práctica.

- 3.- Recibir una explicación general del funcionamiento del equipo.

- 4.- Tomar lecturas de los instrumentos del equipo y llenar la tabla de lectura.

- 5.- Realizar el reporte de la práctica donde incluirá una memoria de cálculo, tablas de resultados, gráficas si se piden, conclusiones y cuestionario resuelto.

PRACTICA No 3.

Operación del gobernador para cambios de velocidad de la turbina.

3.1. OBJETIVOS:

3.1.1. El alumno apreciará la importancia del gobernador como dispositivo de seguridad principal para sobrevelocidad.

3.1.2. El alumno diferenciará entre las dos condiciones a las cuales el gobernador responde estabilizando la velocidad.

3.1.3. El alumno conocerá esquemáticamente las partes internas del gobernador que le permitan comprender el principio de funcionamiento.

3.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- Suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- Suministro de vapor mediante el generador de vapor.
- Turbina de vapor.
- Cronómetro.
- Diagrama de Molliere (h-s).

3.3. INTRODUCCIÓN.

3.3.1. La regulación para mantener un número de revoluciones constante.

El ejemplo más importante de este tipo de regulación es el de la regulación de la Turbina de Vapor (T.V.) acoplada a un generador en una central termoeléctrica.

El generador puede trabajar aislado o en paralelo, alimentando una red común. En el primer caso la T.V. se regula en función de la carga de la red. En el segundo caso es preciso mantener bien fija la frecuencia de la corriente, que en América es de 60 c.p.s. (ciclos por segundo). La *regulación de la frecuencia* se traduce en la T.V. en la regulación del número de revoluciones. En el caso más frecuente, la T.V. esta acoplada a un alternador de un par de polos y deberá girar a 3000 r.p.m., que es la frecuencia de la corriente en c.p.s. El mando automático de la regulación corresponde al *regulador de velocidad*, el cual acciona la válvula general de admisión del vapor o las válvulas de las toberas, directamente en la *regulación directa* o indirectamente en la regulación indirecta. En este último caso el regulador acciona meramente una válvula de corredera, que deja paso al aceite a presión que mueve el servomotor, el cual acciona la válvula de admisión.

En la regulación directa la energía necesaria para la apertura de la válvula proviene de la fuerza centrífuga del regulador. Esta fuerza es tan pequeña que el uso de la regulación directa es

excepcional, y en todo caso sólo para las microturbinas (de 1 a 5 KW). En la regulación indirecta, la energía proviene no del regulador, sino de una fuente auxiliar (motor eléctrico que acciona la bomba de presión de aceite). El regulador simplemente mueve la corredera que deja paso al aceite a presión (válvula hidráulica amplificadora).

En el caso de una T.V. que trabaja aisladamente al disminuir la carga aumenta el número de r.p.m. Las masas (contrapesos) se separan y este movimiento provoca el cierre de la válvula. Lo contrario sucede en el caso de un aumento de la carga.

Si la turbina funciona aisladamente pueden variarse sus revoluciones por medio del regulador de velocidad en el intervalo del 97 al 103% del valor nominal para cualquier carga.

Si el número de revoluciones de la turbina excede en un 11-12% del normal, entra en funcionamiento un limitador de velocidad, el cual para automáticamente la turbina. La velocidad de una T.V. sin carga y a plena admisión por fallo del sistema de regulación se denomina *velocidad de embalamiento*. Para que la T.V. no alcance esta velocidad, que puede producir una seria avería mecánica, se instala el limitador de velocidad.

El mismo regulador de velocidad puede servir de limitador de velocidad.

3.3.2. Como responde el gobernador a los cambios de velocidad en la turbina.

a) Posición balanceada. Plena carga en velocidad ajustada. Ver esquema (1) de la figura III.3.1.

El gobernador regulador de aceite Coppus es directamente manejado por la flecha de la turbina, la cual se acopla a la flecha que maneja el gobernador, o cojinete del cabezal. Este esta constituido por los contrapesos (A) y resorte de velocidad (B) que forzan un balance cuando la turbina esta operando en una carga asentada en su velocidad nominal y cuando la flecha de salida (C) o terminal no toma movimiento.

b) Decremento de carga en la turbina. Ver esquema (2).

Cuando la carga decrece provoca que la velocidad de la turbina aumente. La rotación de los pesos giratorios (A) levantan la válvula piloto (D) contra la tensión del resorte de velocidad (B) abriendo el puerto de control (E) permitiendo el flujo de aceite de control, de la cámara baja del pistón de potencia (F) hacia el colector. Hacia la cámara alta (G) se bombea aceite de presión, el pistón de potencia (H) es entonces desbalanceado y desciende girando la flecha de salida del gobernador (C) en la dirección del *decremento del flujo de vapor* a la válvula de estrangulación.

Como la palanca terminal (I) desciende con el pistón de potencia (H), la guía deslizante de ajuste de la caída (J) fuerza a bajar a la palanca de retroalimentación (K), de esta manera se incrementa la fuerza de compresión en el resorte de velocidad (B). Esta alta fuerza del resorte balancea la alta fuerza centrífuga producida por los contrapesos (A) y mueven la válvula piloto (D) hacia abajo

cerrando la posición. El sistema del gobernador asume una nueva posición de balance para una velocidad alta después de que decrece la carga.

La cantidad de velocidad de cambio para un decremento de carga es controlada por el ajuste de la guía deslizante (K).

C) Incremento en la carga de la turbina. Ver esquema (3).

Cuando se incrementa la carga se provoca una disminución en la velocidad de la turbina, el decremento de la fuerza centrífuga en los contrapesos (A) fuerza a bajar el resorte de velocidad (B) para mover la válvula piloto (D) hacia abajo, colocando la cubierta plana de control bajo el puerto de control (E). Se bombea aceite de presión hacia la cámara baja (F), provocando el ascenso del pistón de potencia (H), girando la flecha de salida del gobernador (C) en la dirección del *incremento del flujo de vapor* a la válvula de estrangulación.

En este caso, el mecanismo de retroacción (J y K) actúan para disminuir la fuerza de compresión del resorte de velocidad (B) permitiendo a la válvula piloto (D) a moverse hacia arriba cerrando la posición. De esta manera se balancea el sistema ante una velocidad baja cuando se incrementa la carga.

Nota: Estos cambios en la velocidad con cambios en la carga son características de una simple calda del gobernador y es el medio por el cual la estabilidad inherente es lograda.

3.3.3. Fuerza disponible en el gobernador.

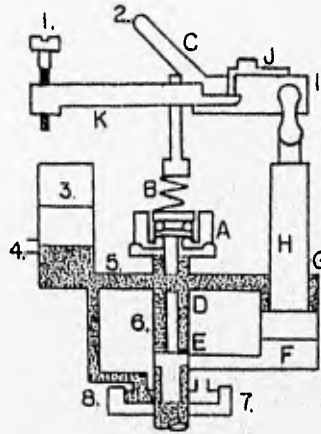
El gobernador relevador de aceite Coppus usa el principio de la amplificación hidráulica para lograr los altos niveles de energía que permitan posicionar la válvula de control del gobernador. Esta energía disponible o capacidad de trabajo es de 13.5 Joule (10 ft-lb) en la flecha de salida del gobernador. Una mínima variación de velocidad provoca una reacción inmediata del gobernador para hacer las correcciones necesarias, utilizando la cantidad de fuerza requerida para posicionar correctamente la válvula. La fuerza máxima está siempre disponible en reserva para vencer cualquier resistencia anormal momentánea en la válvula de control.

3.4. DESARROLLO.

Una forma de poder observar el funcionamiento del gobernador, es mediante la toma de lecturas de la presión de entrada en la turbina, o también realizando el cálculo del flujo de vapor para diferentes valores de carga; ya que, como se mencionó en la introducción, el gobernador funciona cerrando o abriendo la válvula de admisión del vapor para estabilizar la velocidad.

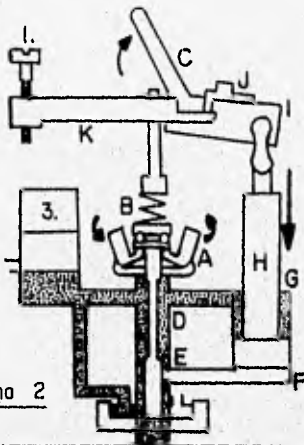
COMO RESPONDE EL GOVERNADOR A LOS CAMBIOS DE VELOCIDAD.

- (A) Contropesos Girotorios.
- (B) Resorte de Velocidad.
- (C) Flecha Terminal.
- (D) Valvula Piloto.
- (E) Puerto de Control.
- (F) Comara Baja del Piston de Potencia.
- (G) Comara Alta del Piston de Potencia.
- (H) Piston de Potencia.
- (I) Palanca Terminal.
- (J) Guia Deslizante de Ajuste de la Caida.
- (K) Palanca de Retroalimentacion de la Caida.

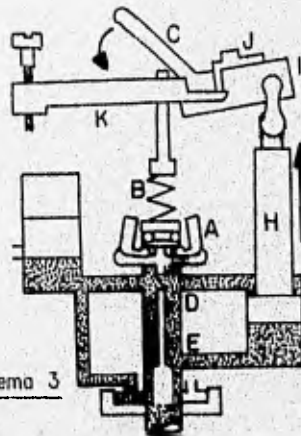


Esquema 1.

1. Tornillo de Ajuste de Velocidad.
2. Brazo de Control de la Valvula de Estrangulacion.
3. Piston del Acumulador y Valvula de Alivio.
4. Al Colector del Aceite.
5. Aceite de Presion.
6. Cajinete del Cabezal Esferico.
7. Bomba de Aceite.
8. Alojamiento de la Bomba.



Esquema 2



Esquema 3

FIGURA III.3.1 OPERACION DEL REGULADOR DE VELOCIDAD

ENEP ARAGON UNAM

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.

El experimento se considera listo para iniciar cuando existen condiciones estables de presión y temperatura en la entrada y manteniendo la velocidad en 3000 r.p.m.

Conforme se vaya aumentando la carga se deben ir abriendo toberas ya que se demanda más vapor para mantener las 3000 r.p.m.

3.5. TABLA DE LECTURAS.

LECTURA	1	2	3	4	5
Carga eléctrica	VOLTAJE (VOLTS)				
	AMPERAJE(AMP.)				
Velocidad	(R.P.M.)				
En la entrada de la turbina	PRESIÓN (BAR) P_2				
	TEMPERATURA (°C) T_2				
En la carcasa	PRESIÓN (BAR) P_1				
	TEMPERATURA (°C) T_1				
Numero de toberas abiertas					

3.6. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.

3.6.1. Potencia eléctrica.

$$P_e = (\text{VOLTAJE}) \times (\text{AMPERAJE})$$

3.6.2. Flujo teórico a través de las toberas Convergente-Divergente.

$$\dot{m} = n \times A \times C \times \sqrt{\frac{P_2}{\gamma}}$$

dónde:

n = número de toberas abiertas.

A = Área de la tobera

Para las 3 toberas de condensación se tienen la misma área:

$$A_1 = A_2 = A_3 = 2.78 \times 10^5 \text{ m}^2$$

Para la tobera 4, tenemos:

$$A_4 = 7.13 \times 10^5 \text{ m}^2$$

C = Constante de la tobera o constante para una arreglo de toberas dado.

$$C = \frac{V_{real}}{V_{teórica}} = \frac{\sqrt{2(h_2 - h_1)}}{\sqrt{2(h_2 - h_{1s})}}$$

h_2 = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_2 abs y T_2

h_1 = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_1 abs. y T_1 .

h_{1s} = Se obtiene del diagrama bajando una línea a entropía cte. hasta P_1 abs.

P_2 = Presión absoluta a la entrada de las toberas (Newton/m²)

v = Volumen específico del vapor de entrada evaluado con la presión y temperatura en la entrada de las toberas en tablas de vapor sobrecalentado (m³ / kg.).

3.6.3. Análisis de gráficas.

Realizar las siguiente gráfica con los datos obtenidos:

a) Presión a la entrada P_2 (abscisa) y carga P_0 (ordenada). La curva deberá indicar un aumento de la presión para un aumento en la carga.

b) Presión a la entrada P_2 (abscisa) contra flujo teórico de vapor m (ordenada). La curva deberá mostrar una relación lineal ya que la razón de flujo másico es proporcional a la caída de presión.

3.7. TABLA DE RESULTADOS.

LECTURA	1	2	3	4	5
P_e (WATT)					
Flujo teórico \dot{m} (KG/SEG.)					

3.8. CUESTIONARIO.

- 1 - Explique el principio de operación del gobernador.
- 2.- ¿Porqué se utilizan reguladores de velocidad en las turbinas de vapor?
- 3.- ¿Porqué las turbinas de vapor de centrales termoeléctricas aquí en México siempre giran a velocidades múltiplos de 6, es decir, a 1800 r.p.m., 2400 r.p.m., 3000 r.p.m., etc ?
- 4.- ¿Cómo es accionado el gobernador? ¿Directa o indirectamente? Y explique ¿porqué ?.
- 5.- En caso de inoperatividad del gobernador ¿Que dispositivo entra en funcionamiento y a qué rango de velocidad se acciona?
- 6.- ¿Cómo se regula la velocidad del gobernador?
- 7.-¿Cuál es la capacidad de trabajo máximo del gobernador y que rango de esa capacidad utiliza en su funcionamiento normal?
- 8.- ¿Cómo se modifica la caída interna de velocidad del gobernador?
- 9.- ¿Cómo son los flujos teóricos de vapor para condiciones de no carga y plena carga?

3.9. CONCLUSIONES.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS TÉRMICAS**

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 4

"CÁLCULO DE RENDIMIENTOS A VELOCIDAD CONSTANTE"

MATERIA:	LABORATORIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS.
TEMA:	TURBINA DE VAPOR Y CICLO DE RANKINE.
SUBTEMA:	LÍNEA WILLANS.
SEMESTRE:	SÉPTIMO.
MATERIA:	PLANTAS TERMOELÉCTRICAS.
TEMA:	TERMODINÁMICA DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS.
SUBTEMA:	PERDIDAS DE ENERGÍA EN LAS TURBINAS DE VAPOR (EFICIENCIA DE UNA TURBINA).
SEMESTRE:	MATERIA OPTATIVA.
MATERIAL DE APOYO:	APUNTES TEÓRICOS, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA, EXPLICACIÓN Y USO DEL EQUIPO.
LUGAR:	LABORATORIO L-2 DE MÁQUINAS TÉRMICAS.

ACTIVIDADES DEL ALUMNO:

1.- Estudiar los conceptos teóricos que se indican para la realización de la práctica:

- Medición del flujo de vapor de forma teórica y práctica.
- Definición de lo que es entropía y entalpía.
- Diagramas termodinámicos: diagrama de Molliere (h-s).
- Manejo de las tablas termodinámicas de vapor de agua.
- Conocer las diferencias entre un vapor saturado, sobrecalentado, recalentado y exhausto.
- Conocer las diferencias entre un proceso reversible y uno irreversible.
- Qué es potencia al freno y que es consumo específico de vapor.
- Para que nos sirve la línea Willans.
- Para que sirve la estrangulación y la turbulencia del vapor.
- Definición de las propiedades físicas del vapor de agua: C_v , C_p , Calor latente, etc.
- Definición de potencia y tipos de potencias en las máquinas térmicas.
- Definición de Rendimiento.
- Tipos de rendimientos para las máquinas térmicas.
- Conocimientos de interpolación y extrapolación.
- Ajuste de curvas por mínimos cuadrados o por algún otro método.

2.- Realizar un examen de diagnóstico sobre los conceptos teóricos y sobre el desarrollo de la práctica.

3.- Recibir una explicación general del funcionamiento del equipo.

4.- Tomar lecturas de los instrumentos del equipo y llenar la tabla de lectura.

5.- Realizar el reporte de la práctica donde incluirá una memoria de cálculo, tablas de resultados, gráficas si se piden, conclusiones y cuestionario resuelto.

PRACTICA No. 4.

Cálculo del Rendimientos a velocidad constante.

4.1. OBJETIVOS:

- 4.1.1. El alumno manejará el diagrama de Molliere para vapor de agua.
- 4.1.2. El alumno diferenciará entre un proceso real y uno ideal.
- 4.1.3. El alumno obtendrá la eficiencia isoentrópica de la turbina, real del ciclo, la eficiencia térmica del ciclo, la eficiencia del ciclo de Rankine.
- 4.1.4. El alumno graficará y analizará las curvas de operación que se indican en el procedimiento de cálculo.
- 4.1.5. El alumno reconocerá la importancia de la línea Willans para conocer que cantidad de vapor se necesita para producir la unidad de potencia para diferentes valores de carga y hará un análisis de los resultados, que le permita establecer bajo que condiciones se alcanza la máxima eficiencia térmica de la máquina.
- 4.1.5. El alumno diferenciará entre los distintos tipos de potencias que se manejan en esta práctica.

4.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- Suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- Suministro de vapor mediante el generador de vapor.
- Turbina de vapor.
- Cronómetro.
- Diagrama de Molliere.

4.3. INTRODUCCIÓN:

Una turbina es un dispositivo usado para obtener trabajo desde una alta hasta una baja presión.

El máximo trabajo que puede ser obtenido desde el rotor de la flecha deberá ser producido por una expansión reversible y adiabática o isoentrópica del vapor como se muestra en el diagrama de Molliere de la figura III.4.1:

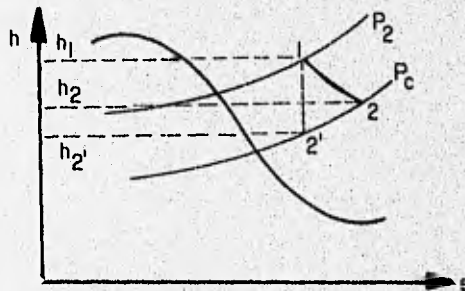


Figura III. 4. 1.

4.3.1. Eficiencia isoentrópica.

El vapor a la entrada de las toberas es mostrado en el estado 1. Y el estado del vapor a la salida de la turbina es como se muestra en 2. Una expansión isoentrópica del vapor hacia la presión de escape es mostrada por el estado del punto 2'.

La caída de entalpía (trabajo realizado) esta dado por la curva 1-2, en tanto que la caída de entalpía isoentrópica (máximo trabajo hecho) esta dada por la línea punteada 1-2'.

La relación:

$$\frac{\text{Trabajo realizado}}{\text{Trabajo máximo posible realizado}} = \frac{\text{Caída de entalpía}}{\text{Caída de entalpía isoentrópica}}$$

es conocida como la eficiencia isoentrópica de la turbina.

La flecha de la turbina esta conectada directamente a un dinamómetro y a un banco de resistencias de carga. Los instrumentos para la medición de la potencia de salida de la turbina consiste en un amperímetro y un voltímetro. Además de estar provisto de un medidor de torque y un tacómetro.

4.3.2. Eficiencia térmica teórica.

El rendimiento o eficiencia de turbinas de vapor que trabajan entre límites de temperaturas dados no puede sobrepasar al del ciclo de Carnot, y este ciclo, en realidad, no puede aplicarse a las turbinas de vapor debido a que sus condiciones de funcionamiento no son comparables.

La turbina de vapor es una máquina que recibe el fluido motriz en condiciones determinadas y que lo evacua a una presión definida; teóricamente interesa que la expansión del vapor sea isoentrópica.

Generalmente se emplea el ciclo de Rankine para representar el funcionamiento ideal de una turbina de vapor trabajando en combinación con otros elementos, tales como el condensador, bomba de alimentación y generador de vapor. El rendimiento de funcionamiento así determinado no es rendimiento global de la planta.

4.3.3. Eficiencia mecánica.

La relación entre la potencia útil o cedida y la potencia desarrollada dentro del eje de la turbina constituye el rendimiento mecánico. El rendimiento mecánico de una máquina varía con la carga aplicada, aumentando con ella, desde pequeñas cargas hasta un máximo alcanzado, el cual vuelve a disminuir si la carga sigue aumentando.

4.3.4. Potencia. La velocidad con la cual se realiza un trabajo se denomina potencia.

4.3.4.1. Potencia indicada.- Es una expresión de la potencia cedida por el vapor al rotor de la turbina.

4.3.4.2. Potencia efectiva o al freno.- Es la potencia real desarrollada en el eje de la turbina. Debido a las pérdidas por rozamientos ocasionadas por las piezas en movimiento, y por otras causas, la potencia al freno es siempre más pequeña que la potencia indicada.

4.3.4.3. Potencia de rozamientos.- Son las pérdidas de energía mecánica. Esta cantidad es igual a la diferencia entre la potencia indicada y la potencia al freno.

4.4. DESARROLLO:

Este experimento describe un método para determinar los diferentes tipos de rendimientos, explicados anteriormente, de la turbina a velocidad constante (3000 r.p.m.) y bajo condiciones variables de la presión de entrada del vapor.

Cuando el vapor alcance una presión de 10 bar en el generador de vapor y una temperatura de 200° C en el sobrecalentador, el experimento se puede considerar listo para iniciarse.

En primer lugar la válvula de escape de la turbina deberá ser abierta totalmente, de igual manera la válvula de entrada del agua de enfriamiento debe ser abierta en una posición donde se suministre un adecuado flujo proporcional. El motor de la bomba de vacío debe ser encendido. Los grifos de drenaje deberán ser colocados en su posición de apertura. La válvula de paso deberá ser abierta momentáneamente para ir calentando la turbina, el agua será descargada a través de los drenajes y se observará como emerge el vapor, una vez que la turbina se haya calentado las llaves de drenaje se deberán cerrar. La válvula de paso deberá entonces ser abierta para proporcionar la máxima presión de entrada requerida y el rotor de la turbina deberá alcanzar su máxima velocidad regulada de 3000 r.p.m.

Se deberá tener cuidado antes de iniciar la práctica de calibrar los instrumentos de medida principalmente el amperímetro y el voltímetro.

También antes de aplicar la carga a la turbina, el torque del brazo de la balanza de resorte deberá ser colocado en cero (Con la velocidad en 3000 r.p.m.). La carga eléctrica será balanceada por los interruptores del banco de resistencias y la correspondiente carga en el brazo del dinamómetro deberá ser anotada.

Las lecturas deberán tomarse para diferentes arreglos de toberas abiertas (diferentes valores de la presión de entrada del vapor), para así poder determinar las condiciones de operación óptimas de la unidad para un asentamiento de velocidad determinada.

4.5. TABLA DE LECTURAS:

PARÁMETROS	Diferentes arreglos de toberas abiertas (para obtener valores diferentes de presión de entrada del vapor)			
	1	1,2	1,2,3	1,2,3,4
En la entrada de la turbina.	PRESIÓN (BAR) P_2			
	TEMPERATURA (°C) T_2			
En las toberas.	PRESIÓN (BAR) P_1			
	TEMPERATURA (°C) T_1			
En el escape.	PRESIÓN (BAR) P_c			
	TEMPERATURA (°C) T_3			
Velocidad.	(R.P.M.)			
Carga del torque.	(NEWTON)			
Carga eléctrica.	VOLTAJE (VOLTS).			
	AMPERAJE (AMP.)			
Temperatura del condensado a la salida del condensador	T_c			
Flujo de condensado	(kg./seg.)			

4.6. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO:

4.6.1. Eficiencia isoentrópica sin considerar el trabajo de la bomba:

$$\eta_i = \frac{\text{Caída de entalpía actual}}{\text{Caída de entalpía isoentrópica}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2}$$

h_1 = se obtiene del diagrama de Molliere con P_2 abs. y T_2 .

h_2 = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_c abs. y T_3 .

h_2 = Se obtiene del diagrama bajando a una línea de entropía *cte.* hasta la presión de salida P_c abs.

4.6.2. Eficiencia térmica del ciclo:

$$\eta_t = \frac{\text{Medición de la potencia al freno}}{(\text{Entalpia del vapor a la entrada de la turbina} - \text{Entalpia del condensado})}$$

$$\eta_t = \frac{W_b}{h_1 - h_3}$$

donde:

$$W_b = \frac{2\pi F d n}{K}$$

$$F = (\text{Newtons})$$

$$d = 0.184 - \text{metros}$$

$$K = \frac{60 - Nm}{(\text{Watts})(\text{min})}$$

dónde $h_3 = h_{\text{liquid}}$ se evalúa en tablas de líquido saturado con la presión mínima P_c o la temperatura del condensado T_c .

4.6.3. Eficiencia del ciclo de Rankine sin considerar el trabajo de la bomba:

$$\eta_{\text{Rankine}} = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3}$$

4.6.4. Razón de eficiencia:

$$\text{Razón} - \eta = \frac{W_b}{h_1 - h_2}$$

4.6.5. Consumo específico de vapor:

$$S.S.C. = \frac{\dot{m}}{W_b}$$

4.6.6. Flujo teórico a través de las toberas Convergente-Divergente:

$$\dot{m} = n \times A \times C \times \sqrt{\frac{P}{v}}$$

dónde:

n = número de toberas abiertas

A = Área de la tobera

Para las 3 toberas de condensación se tienen la misma área:

$$A_1 = A_2 = A_3 = 2.78 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Para la tobera 4, tenemos:

$$A_4 = 7.13 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

C = Constante de la tobera o constante para una arreglo de toberas dado.

$$C = \frac{1'_{\text{no.4}}}{1'_{\text{tobera}}} = \frac{\sqrt{2(h_1 - h_1')}}{\sqrt{2(h_1 - h_1')}} \quad \text{---}$$

h_1 = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_2 abs y T_2 .

h_1' = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_1 abs. y T_1 .

h_1'' = Se obtiene del diagrama bajando una línea a entropía cte. hasta P_1 abs.

P_2 = Presión absoluta a la entrada de las toberas (Newton/m²)

v = Volumen específico del vapor de entrada evaluado con la presión y temperatura en la entrada de la turbina en tablas de vapor sobrecalentado (m³ / kg.).

4.6.7. Con los datos obtenidos realizar las siguientes gráficas:

a) W_b (abscisas) y m (ordenadas). Para obtener la llamada recta de Willans. La gráfica debe mostrar una proporcionalidad lineal entre la potencia la freno y el flujo másico de vapor. La ecuación de la recta de Willans es: $\dot{m} = aW_b + \dot{m}_v$.

La gráfica presenta dos puntos de interés. Cuando la turbina funciona sin carga $\dot{m} = \dot{m}_v$, la recta corta al eje de ordenadas y \dot{m}_v es el flujo de vapor necesario para que la turbina alcance su velocidad nominal; el segundo punto de interés es cuando la recta corta el eje de abscisas y representa el valor absoluto de la potencia pérdida en rozamientos.

b) Curva de Consumo específico de vapor. W_b (abscisas) y S.S.C.(ordenadas). El perfil de la curva deberá indicar que para un mínimo de S.S.C. corresponde a la máxima eficiencia.

c) Curva de eficiencia térmica. Presión P_1 (abscisas) y Eficiencia térmica (ordenadas). La gráfica deberá mostrar como se incrementa la eficiencia térmica al ir aumentando la presión del vapor a la entrada de las toberas.

4.7. TABLA DE RESULTADOS.

	Diferentes arreglos de toberas abiertas			
	1	1,2	1,2,3	1,2,3,4
Eficiencia Isoentrópica.(%)				
Eficiencia térmica. (%)				
Eficiencia del ciclo de Rankine. (%)				
Razón de eficiencia. (%)				
Potencia al freno (kw)				
Potencia eléctrica (kw).				
Consumo específico de vapor. (Kg. KW)/Hrs				
Flujo másico de vapor (teórico). (Kg./seg.)				

4.8. CUESTIONARIO:

- 1.- ¿Cómo es la eficiencia térmica de la máquina? ¿A qué cree que se deba?
- 2.- ¿Porqué el proceso real no es considerado como isoentrópico?
- 3.- ¿Cómo es el consumo específico de vapor para la marcha en vacío con respecto a la marcha en plena carga?
- 4.- ¿Porqué es indispensable el sobrecalentador y que problemas se presentarían si no se contase con él?
- 5.- ¿Qué es y para que sirve la línea Willans?
- 6.- ¿Cómo se puede medir experimentalmente la potencia que se pierde en rozamientos?.

4.9. CONCLUSIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 5

"CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL CICLO DE RANKINE MEDIANTE LOS MÉTODOS
ANALÍTICO Y GRÁFICO"

MATERIA:	TERMODINÁMICA APLICADA.
TEMA:	CICLOS DE POTENCIA.
SUBTEMA:	CICLOS DE VAPOR (CICLO DE RANKINE)
SEMESTRE:	CUARTO.
MATERIA:	TURBOMAQUINARIA.
TEMA:	TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS MOTRICES.
SUBTEMA:	CICLO DE RANKINE.
SEMESTRE:	SEXTO.
MATERIA:	LABORATORIO DE MAQUINAS TÉRMICAS.
TEMA:	CICLO DE RANKINE Y TURBINA DE VAPOR.
SUBTEMA:	CICLO DE RANKINE E INCREMENTO DE LA EFICIENCIA.
SEMESTRE:	SÉPTIMO.
MATERIAL DE APOYO:	APUNTES TEÓRICOS, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y USO DE EQUIPO.
LUGAR:	LABORATORIO L-2 DE MAQUINAS TÉRMICAS.

ACTIVIDADES DEL ALUMNO:

1.- Estudiar los conceptos teóricos que se indican para la realización de la práctica:

- Sustancia pura.
- Propiedades de saturación, propiedades críticas del vapor de agua.
- Calidad de una mezcla vapor-líquido.
- Manejo de las tablas de propiedades termodinámicas del vapor de agua.
- Conocimientos sobre interpolación y extrapolación.
- Conocimientos sobre ciclos de potencia principalmente el ciclo de Carnot y el ciclo Rankine.
- Diferencia entre un ciclo ideal y uno real.
- Diagramas termodinámicos: principalmente T-s.

2.- Realizar un examen de diagnóstico sobre los conceptos teóricos y sobre el desarrollo de la práctica.

3.- Recibir una explicación general del funcionamiento del equipo.

4.- Tomar lecturas de los instrumentos del equipo y llenar la tabla de lectura.

5.- Realizar el reporte de la práctica donde incluirá una memoria de cálculo, tablas de resultados, gráficas si se piden, conclusiones y cuestionario resuelto.

PRACTICA No. 5.

Cálculo de la eficiencia del ciclo de Rankine mediante los métodos analítico y gráfico.

5.1. OBJETIVOS:

- 5.1.1. El alumno determinara la eficiencia del ciclo de Rankine con la ayuda del diagrama T-S del vapor de agua para el equipo de la turbina de vapor Coppus.
- 5.1.2. El alumno obtendrá la eficiencia del ciclo de Rankine mediante fórmulas (analíticamente) y comparará los resultados con los obtenidos gráficamente.
- 5.1.3. El alumno reconocerá la importancia del ciclo de Rankine como modelo de estudio para las plantas de generación de energía eléctrica a base de vapor de agua.

5.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- Suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- Suministro de vapor mediante el generador de vapor.
- Turbina de vapor.
- Un cronómetro.
- Diagrama T-S.

5.3. INTRODUCCIÓN:

Históricamente, el prototipo de los ciclos de vapor reales fue el ciclo de Rankine simple ya que es el ciclo ideal al que podemos acercarnos en la práctica. Utiliza agua como sustancia de trabajo, ya que el vapor de tal sustancia se utiliza y se ha utilizado ampliamente en el funcionamiento de máquinas motrices.

Este ciclo se compone de 4 procesos distintos. Comenzando en la bomba de alimentación, el líquido que entra al generador de vapor se lleva primero a la presión del mismo. En el ciclo ideal, se supone que el líquido suministrado a la bomba está saturado a la presión más baja del ciclo. En un ciclo real, el líquido por lo regular está ligeramente subenfriado para evitar la formación de burbujas de vapor en la bomba (lo que ocasiona un proceso conocido como cavitación, que acarrea daños a la bomba). Para un ciclo ideal, el proceso de compresión se considera isoentrópico y el estado final del líquido suministrado al generador de vapor está subenfriado a la presión del mismo. Este líquido subenfriado se calienta hasta el punto de saturación en el generador y, a continuación, se vaporiza para conseguir el vapor para la turbina del ciclo. La energía para el calentamiento y la vaporización del líquido está proporcionada por la acción del combustible en el generador de vapor. Si se requiere el sobrecalentamiento del vapor, éste también puede lograrse en el generador de vapor. El vapor

sale del generador y se expande en forma isoentrópica en la turbina hasta proporcionar la salida de trabajo del ciclo. Después de que se completa el proceso de expansión, la sustancia de trabajo es conducida de nuevo al condensador, donde desecha calor al agua de enfriamiento.

5.4. DESARROLLO:

Se deben efectuar las maniobras de puesta en marcha del equipo hasta lograr su estabilización, es decir, hasta que la presión y temperatura del vapor a la entrada de la turbina sean constantes.

Una vez alcanzada la estabilización el experimento se considera listo para iniciarse y deberán tomarse las lecturas que a continuación se indican.

Las lecturas se tomarán manteniendo abiertas las tres toberas llamadas de condensación manteniendo constantes las 3000 r.p.m.

5.5. TABLA DE LECTURAS.

Presión en el generador de vapor	P_g (Bar).	
Presión en la entrada de la turbina.	P_2 (Bar).	
Presión en el condensador.	P_c (Bar).	
Temp. del vapor a la salida del generador de vapor.	T_g (°C).	
Temp. a la entrada de la turbina.	T_2 (°C).	
Temp. a la entrada del condensador.	T_3 (°C).	
Temp. del condensado.	T_c (°C).	

5.6. PROCEDIMIENTO DE CALCULO.

5.6.1. Método Analítico.

Los cálculos serán realizados utilizando las tablas de propiedades termodinámica del vapor de agua con presiones absolutas.

Eficiencia del ciclo de Rankine.

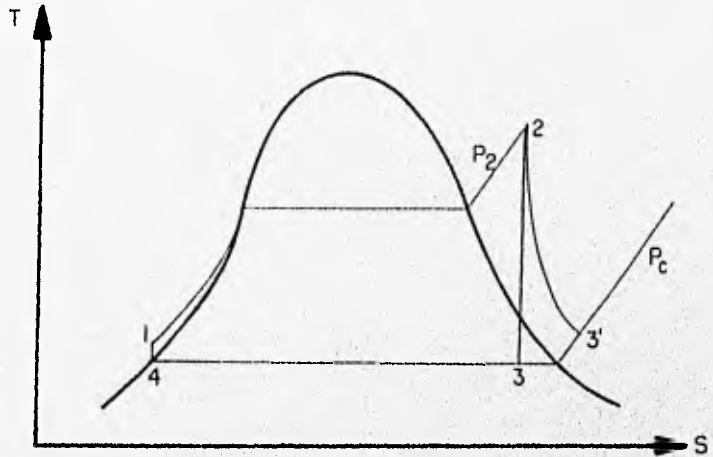
$$\eta_{Rankine} = \frac{W_{Neto}}{Q_{ent}} = \frac{W_T - W_B}{\dot{m}(h_1 - h_4)}$$

Donde: $W_T = \dot{m}(h_2 - h_3)_s$ y $W_B = \dot{m}(h_1 - h_4)_s$.

Por lo tanto:

$$\eta_{turbina} = \frac{(h_2 - h_3) - (h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad \text{Ideal.}$$

$$\eta_{turbina} = \frac{(h_2 - h_3') - (h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad \text{Real.}$$



Figuro III.5.1.

Donde:

h_1 Se obtiene de tablas de vapor saturado, con P_3 abs.

h_2 Se evalúa de tablas de vapor sobrecalentado, con P_2 abs. y T_2 a la entrada de la turbina.

h_3 Se obtiene utilizando el siguiente razonamiento: $h_3 = h_1 + X h_{L-G}$ donde la calidad del vapor (x)

se obtiene de la formula: $S_3 = S_2 = S_1 + X S_{L-G}$, despejando X se obtiene:

$$X = \frac{S_2 - S_1}{S_{L-G}}$$

h_1 , h_{L-G} , S_1 , y S_{L-G} se evalúan en tablas de vapor saturado con la presión mínima del ciclo P_c abs.

h_3 Se calcula de tablas de vapor sobrecalentado con la presión mínima del ciclo P_c abs. y la temperatura del vapor a la entrada del condensador T_3 .

h_4 Se obtiene en tablas de vapor saturado con la presión mínima del ciclo P_c abs.

5.6.2. Método Gráfico.

Obtener la eficiencia del ciclo de Rankine utilizando el diagrama T-s tanto para un ciclo ideal como uno real. Las presiones gráficas deben ser absolutas.

El punto 1 del diagrama de la figura III.5.1 se gráfica con P_0 abs. y subiendo a $s = Cte.$ desde el punto 4.

El punto 2 se gráfica con P_2 abs y T_2 .

El punto 3 se obtiene bajando una línea a entropía constante desde el punto 2 hasta P_c abs.

El punto 3' se gráfica con P_c abs y T_3 .

El punto 4 con P_c abs y T_c .

5.7. TABLA DE RESULTADOS.

	Método Analítico		Método Gráfico	
	Real	Ideal	Real	Ideal
$h_1 [KJ/ KG]$				
$h_2 [KJ/ KG]$				
$h_3 [KJ/ KG]$				
$h_3' [KJ/ KG]$				
$h_4 [KJ/ KG]$				
X (%)				
$\eta_{Rankine}$				

5.8. CUESTIONARIO.

- 1.- ¿Qué es una sustancia pura?
- 2.- ¿Qué condiciones se requieren para que el agua sea considerada una sustancia pura?
- 3.- Explique en que consiste la temperatura de saturación.
- 4.- Mencione como se puede aumentar la eficiencia del ciclo de Rankine.
- 5.- Mencione brevemente los tipos de generadores de vapor que existen y diga a cual pertenece el generador de vapor utilizado en la práctica.
- 6.- ¿De qué depende el valor de la temperatura a la cual se produce la ebullición del agua en el generador de vapor?
- 7.- Como se considera el ciclo realizado ¿Abierto o cerrado? y ¿Porqué?
- 8.- ¿Qué problema se presentaría si el vapor que entra a la turbina estuviese en un estado saturado húmedo?

5.9 CONCLUSIONES.

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 6

"ANÁLISIS DEL CICLO DE RANKINE"

MATERIA: LABORATORIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS.
TEMA: TURBINAS DE VAPOR Y CICLO DE RANKINE.
SUBTEMA: CICLO DE RANKINE.
SEMESTRE: SÉPTIMO.

MATERIA: PLANTAS TERMOELÉCTRICAS.
TEMA: TERMODINÁMICA DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS.
SUBTEMA: EQUIPO PRINCIPAL DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA.
SEMESTRE: MATERIA OPTATIVA.

MATERIAL DE APOYO: APUNTES TEÓRICOS, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y
USO DE EQUIPO.

LUGAR: LABORATORIO L-2 DE MÁQUINAS TÉRMICAS.

ACTIVIDADES DEL ALUMNO:

1.- Estudiar los conceptos teóricos que se indican para la realización de la práctica:

- Definición de:

a) Sistemas: cerrados, abiertos, estáticos, dinámico, transitorio, y en régimen permanente.

b) Frontera, medio ambiente.

c) Estado, proceso, ciclo.

- Definición de energía y tipos de energía.

- Ecuación de continuidad.

- Primera ley de la Termodinámica.

- Manejo de tablas de vapor de agua.

- Conocimientos de interpolación y extrapolación.

2.- Realizar un examen de diagnóstico sobre los conceptos teóricos y sobre el desarrollo de la práctica.

3.- Recibir una explicación general del funcionamiento del equipo.

4.- Tomar lecturas de los instrumentos del equipo y llenar la tabla de lectura.

5.- Realizar el reporte de la práctica donde incluirá una memoria de cálculo, tablas de resultados, gráficas si se piden, conclusiones y cuestionario resuelto.

PRACTICA No. 6.

Análisis del Ciclo de Rankine.

6.1. OBJETIVOS:

6.1.1. El alumno estudiará cada uno de los componentes del ciclo de Rankine tomándolos como sistemas individuales abiertos, dinámicos y en régimen permanente.

6.1.2. El alumno aplicará la primera ley de la termodinámica para calcular los valores de trabajo realizado por la turbina, el efectuado por la bomba, los calores agregados por el generador de vapor y el sobrecalentador y el calor cedido en el condensador, además de los flujo de vapor y agua de enfriamiento.

6.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- Suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- Suministro de vapor por medio del generador de vapor.
- Turbina de vapor.
- Cronómetro.
- Tablas de vapor.

6.3. INTRODUCCIÓN.

ENERGÍA.- Un cuerpo contiene energía, cuando es capaz de realizar trabajo. El cuerpo puede tenerla debido a su condición o a su posición.

Energía interna.- Es una de las formas de energía menos tangibles, es la energía relacionada con la estructura molecular de las sustancias. Aún cuando no la podemos medir en su forma interna, total o absoluta, si podemos medir sus cambios.

Energía potencial gravitatoria.- En virtud de su posición con relación a un plano horizontal de referencia, una masa de fluido m tiene energía potencial. Para evaluarla hay que considerar un nivel de referencia, y una distancia vertical entre ese nivel y la masa del sistema.

Energía cinética.- Cuando un fluido, o un cuerpo, se mueve con una cierta velocidad, se dice que posee energía de movimiento o energía cinética.

Trabajo de flujo.- Es aquel trabajo que se efectúa para poder hacer que un fluido entre y salga de un sistema. Este tipo de energía solo está presente en sistemas abiertos.

Trabajo mecánico.- Si se ejerce, por ejemplo, trabajo en un fluido, este no almacena trabajo. El trabajo existe solo en el tiempo en que se está realizando. Como consecuencia de este trabajo varía la energía interna, cinética, etc..., del cuerpo.

Cuando un fluido, o sistema, entrega trabajo, este será positivo; si se realiza trabajo sobre el fluido entonces será negativo.

Calor.- Se define como energía que atraviesa las fronteras de un sistema debido a una diferencia de temperaturas entre dicho sistema y sus alrededores. Esta definición difiere del uso común del término calor en el hecho de que los cuerpos carecen de una propiedad denominada "calor". Esta cantidad únicamente existe como energía que atraviesa una frontera; después de que entró o salió de un sistema pierde su significado.

El calor que fluye hacia el sistema es positivo; en cambio el que emana de él se considera negativo.

Entalpia.- Se ha visto que las energías de transición son calor y trabajo, dentro de la estructura puede existir una cantidad de energía acumulada, a esta energía total almacenada se le conoce como entalpia y es la suma de la energía interna más el trabajo de flujo, y tiene también dimensiones de una energía.

6.4. DESARROLLO.

El alumno realizará un balance de energías en cada uno de los componentes del ciclo de Rankine. Para ello deberá tomar las lecturas que se indican en la tabla una vez que el equipo haya alcanzado condiciones estables de presión y temperatura con las tres toberas de condensación abiertas y la velocidad constante en 3000 r.p.m.

NOTA: El número de toberas que pueden ser abiertas queda a consideración del profesor siempre y cuando se tomen lecturas de condiciones estables y la carga este balanceada de tal manera que se tenga una velocidad constante de 3000 r.p.m.

6.5. TABLA DE LECTURAS.

Presión en el generador de vapor	P_0 (bar).	
Presión en el condensador	P_c (bar).	
Presión a la entrada de la turbina	P_2 (bar).	
Presión dentro de la carcasa	P_1 (bar).	
Temperatura del vapor a la salida del generador de vapor	T_0 (°C).	
Temperatura a la entrada de la turbina	T_2 (°C).	
Temperatura dentro de la carcasa de la turbina	T_1 (°C).	
Temperatura del condensado	T_c (°C).	
Temperatura del agua de enfriamiento a la entrada del condensador	T_i (°C).	
Temperatura del agua de enfriamiento a la salida del condensador	T_o (°C).	
Flujo de agua en el rotámetro	m_{agua} (lts/hr).	

6.6. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.

6.6.1. Balance de energías en la turbina.

La turbina constituye un sistema abierto en cuanto existe un flujo de masa a través de la frontera.

Existen muchas formas de energía que tienen que tomarse en cuenta. Hay que incluir la entalpía y las energías cinética y potencial, tanto a la entrada como a la salida, así como el trabajo que lleva a cabo la turbina y cualquier flujo de calor. Formulemos a continuación el balance de energías de la turbina:

$$\dot{H}_2 + (E.C.)_2 + (E.P.)_2 = \dot{H}_3 + (E.C.)_3 + (E.P.)_3 + \dot{Q} + \dot{W}_T$$

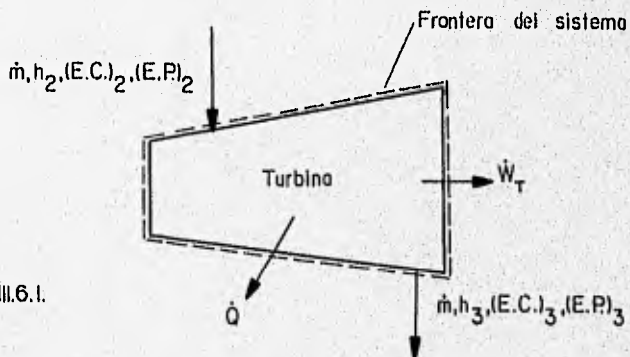


Figura III.6.1.

donde \dot{W}_T representa el trabajo efectuado por la turbina, y \dot{Q} es la pérdida de calor en la misma. Las pérdidas de calor (por radiación y por convección hacia los alrededores) generalmente son muy pequeñas. Si la turbina se considera adiabática no se produce ningún error importante. Los términos de energía potencial también tiene un efecto despreciable. La distancia vertical mayor en la máquina es corta, del orden de los 2 metros. Si la turbina es adiabática y despreciamos la energía potencial la ecuación anterior se vuelve:

$$\dot{H}_2 + (\dot{E.C.})_2 = \dot{H}_3 + (\dot{E.C.})_3 + \dot{W}_T$$

Si no se incluyen las energías cinética y potencial, la ecuación finalmente será:

$$\dot{W}_T = \dot{m} (h_2 - h_3)_s$$

donde la $_s$ indica que la diferencia de entalpías se considera a entropía constante. Tal es el supuesto en que se basa el ciclo de Rankine.

Dónde:

h_2 = se obtiene del diagrama T-s con P_2 y T_2 .

h_3 = se obtiene del diagrama T-s bajando una línea de entropía constante desde el punto 2 hasta la presión del condensador P_c .

$$\dot{m} = n \times A \times C \times \sqrt{\frac{P_2}{v}}$$

dónde:

n = número de toberas abiertas = 3

A = Área de la tobera

Para las 3 toberas de condensación se tienen la misma área:

$$A_1 = A_2 = A_3 = 2.78 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Para la tobera 4, tenemos:

$$A_4 = 7.13 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

C = Constante de la tobera o constante para una arreglo de toberas dado.

$$C = \frac{V_{real}}{V_{teorica}} = \frac{\sqrt{2(h_2 - h_1)}}{\sqrt{2(h_2 - h_{1s})}}$$

h_2 = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_2 abs y T_2

h_1 = Se obtiene del diagrama de Molliere con P_1 abs. y T_1 .

h_{1s} = Se obtiene del diagrama bajando una línea a entropía cte. hasta P_1 abs.

P_2 = Presión absoluta a la entrada de las toberas (Newton/m²)

v = Volumen específico del vapor de entrada evaluado con la presión P_1 y temperatura T_1 en la entrada de las toberas en tablas de vapor sobrecalentado (m³ / kg.).

6.6.2. Balance de energía en el condensador.

La siguiente forma de transferencia de energía se produce en el condensador. Es decir dónde el calor es cedido por el vapor cuando se condensa. La figura ilustra el condensador considerado como sistema, así como las diversas formas de energía que deben tomarse en cuenta. La energía potencial se ha despreciado en este caso, pues el efecto de la altura es pequeño. El condensador se considera adiabático, de modo que no hay flujo de calor hacia los alrededores, la diferencia en las velocidades del agua de enfriamiento a la salida y a la entrada es muy pequeño; por tanto, el cambio en la energía cinética del agua de enfriamiento es esencialmente nulo. Si hacemos el balance de energías para el condensador obtenemos:

$$\dot{m}(h_3 - h_4) + \dot{m}(E.C.)_3 - (E.C.)_4 = \dot{m}_{agua}(h_o - h_i)$$

La velocidad de salida del vapor de la turbina hacia el condensador puede ser alta de manera que la energía cinética entrante deberá incluirse en el balance de energía.

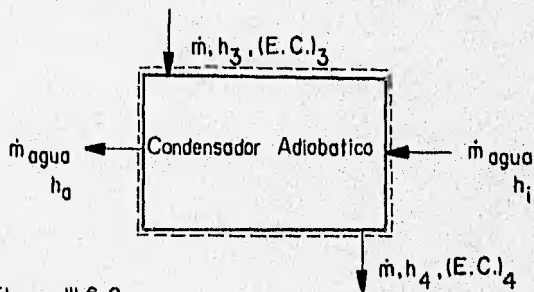


Figura III.6.2.

Podemos decir que la velocidad de salida del líquido saturado, del condensador, es muy pequeña en comparación con la velocidad de entrada de vapor, por tanto, la energía cinética de salida también será muy pequeña si la comparamos con la energía cinética de entrada. Teniendo en cuenta estas consideraciones, la ecuación del balance de energía del condensador será:

$$\dot{m} (h_3 - h_4) + (E.C.)_3 = \dot{m}_{\text{agua}} (h_o - h_i)$$

el término del segundo miembro de la ecuación anterior denota la energía cedida por el sistema al agua de enfriamiento, la llamaremos Q_R .

dónde:

$$h_3 = h_{3s}$$

$$h_4 = C_{p \text{ agua}} (T_c) \quad T_c = {}^\circ K$$

$$C_{p \text{ agua}} = 4.186 \text{ KJ/(kg. } {}^\circ K)$$

\dot{m}_{agua} = lectura del rotámetro.

h_o = entalpía del agua de enfriamiento a la salida del condensador.

$$h_o = C_{p \text{ agua}} (T_o) \quad T_o = {}^\circ K$$

h_i = entalpía del agua de enfriamiento a la entrada del condensador.

$$h_i = C_{p \text{ agua}} (T_i) \quad T_i = {}^\circ K$$

$$(E.C.)_3 = (V_3)^2 / 2$$

$$V_3 = (v) \dot{m} / A_s$$

v = volumen específico evaluado en tablas de vapor sobrecalentado con P_1 abs. y T_1 .

A_s = Área de salida de la carcasa de la turbina y es igual a $4.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

6.6.3. Balance de energía en la bomba.

La bomba de alimentación eleva la presión del agua en el estado 4, a la misma presión del generador de vapor. La siguiente figura es un esquema de la bomba, y en él se muestran los términos de la energía. Una vez más se desprecia la energía potencial, y la bomba se considera adiabática. Un balance de energía para esta máquina da como resultado:

$$\dot{W}_B = \dot{m} (h_1 - h_4) + \dot{m} ((E.C.)_1 - (E.C.)_4)$$

pero las energías cinéticas de entrada y de salida de la bomba son esencialmente iguales entre si. Comprobamos esto por la conservación de la masa para áreas iguales. Por tanto el trabajo será:

$$\dot{W}_B = \dot{m} (h_1 - h_4)$$

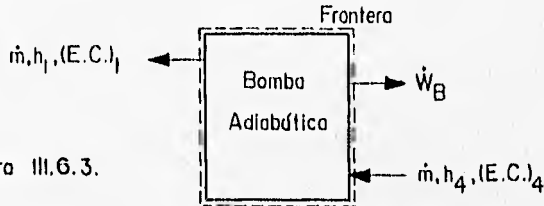


Figura III.6.3.

y si suponemos que la bomba es isoentrópica, el trabajo de bombeo es:

$$\dot{W}_B = \dot{m} (h_1 - h_4)_s$$

dónde:

h_1 = se obtiene en diagrama con P_g .

Otra forma de evaluar el trabajo de la bomba cuando no se conoce la temperatura de salida de la misma es mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{W}_B = \dot{m} v_4 (P_g - P_c)$$

dónde:

v_4 = se obtiene en tablas de líquido saturado con P_g .

6.6.4. Balance de energía en el generador de vapor.

Los generadores de vapor, que todavía se conocen todavía por *calderas*, producen vapor a partir de agua líquida.

Un análisis de la primera ley, considerando únicamente el agua y el vapor, nos da por resultado:

$$\dot{Q}_g + \dot{m}_{sis} h_1 = \dot{m}_{sis} h_g$$

$$q_g = h_g - h_1$$

dónde:

h_g es la entalpia del vapor a la salida de la caldera se obtiene graficando con P_g y T_g .

El análisis de un generador de vapor es mucho más complejo en la práctica y supone la consideración de diferentes modalidades de transferencia de calor en sus diversas secciones. No obstante, con base en el Ciclo de Rankine para el agua, la ecuación anterior es suficiente.

6.6.5. Balance de energía en el sobrecalentador.

En el sobrecalentador la energía suministrada está dada por la fórmula:

$$\dot{Q}_{SR} + \dot{m}_{sis} h_g = \dot{m}_{sis} h_2$$

$$q_{SR} = h_2 - h_g$$

6.6.6. Energía total suministrada por el generador de vapor y el sobrecalentador.

$$q_{Tot} = q_g + q_{SR} = (h_g - h_1) + (h_2 - h_g) = h_2 - h_1$$

$$\dot{Q}_{Tot} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

6.7. TABLA DE RESULTADOS.

$(E.C.)_3$ (KJ/kg.)	
Del diagrama T-s:	
h_1 (KJ/kg.)	
h_2 (KJ/kg.)	
h_2 (KJ/kg.)	
h_{3s} (KJ/kg.)	
h_4 (KJ/kg.)	
Entalpias teóricas:	
h_i (KJ/kg.)	
h_o (KJ/kg.)	
Del diagrama de Molliere:	
h_2 (KJ/kg.)	
h_i (KJ/kg.)	
h_{is} (KJ/kg.)	
m (kg/seg.)	
Trabajo y calor:	
W_1 (Watt)	
W_h (Watt)	
Q_R (Watt)	
Q_{co} (Watt)	

6.8. CUESTIONARIO.

- 1.- ¿Porqué las energías cinética y potencial no se consideran como propiedades termodinámicas?
- 2.- ¿A qué energías se les considera "energías almacenadas"?
- 3.- ¿Porqué al trabajo y al calor se les denomina energías de transición?
- 4.- Explique brevemente como se llevan a cabo los diferentes cambios de fase del fluido de trabajo.
- 5.- ¿Cómo y en dónde se llevan a cabo las transferencias de calor y trabajo en el equipo?
- 6.- ¿Cómo y en qué elementos, se lleva a cabo la transformación de entalpía en energía cinética?
- 7.- Mencione el otro tipo de energía que se genera en el equipo.
- 8.- Explique brevemente y con sus propias palabras las diferencias entre estos sistemas:
 - a) Cerrado y abierto.
 - b) Estáticos y dinámicos.
 - c) En régimen permanente y régimen transitorio.
- 9.- Mencione en que partes del equipo se dan pérdidas tanto de calor como de flujo.

6.9. CONCLUSIONES.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 7

"ANÁLISIS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL CONDENSADOR."

MATERIA:	TRANSFERENCIA DE CALOR.
TEMA:	CAMBIADORES DE CALOR.
SUBTEMA:	DEFINICIÓN DE UN CAMBIADOR DE CALOR, CLASIFICACIÓN Y TIPOS PRINCIPALES DE CAMBIADORES MÁS UTILIZADOS.
SEMESTRE:	OCTAVO.
MATERIAL DE APOYO:	APUNTES TEÓRICOS, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y USO DE EQUIPO.
LUGAR:	LABORATORIO L-2 DE MÁQUINAS TÉRMICAS.

ACTIVIDADES DEL ALUMNO:

- 1.- Estudiar los conceptos teóricos que se indican para la realización de la práctica:
 - Definición de calor.
 - Calor latente, calor sensible y calor específico a presión constante.
 - Gradiente de temperatura.
 - Formas de transferencia de calor.
 - Intercambiadores de calor.

- 2.- Realizar un examen de diagnóstico sobre los conceptos teóricos y sobre el desarrollo de la práctica.

- 3.- Recibir una explicación general del funcionamiento del equipo.

- 4.- Tomar lecturas de los instrumentos del equipo y llenar la tabla de lectura.

- 5.- Realizar el reporte de la práctica donde incluirá una memoria de cálculo, tablas de resultados, gráficas si se piden, conclusiones y cuestionario resuelto.

PRÁCTICA No 7

Análisis de la transferencia de calor en el condensador.

7.1. OBJETIVOS:

7.1.1. El alumno conocerá las ventajas de usar un condensador en las instalaciones de generación con turbinas de vapor.

7.1.2. El alumno realizará un balance de transferencia de calor y determinará las pérdidas de calor existentes

7.1.3. El alumno analizará que sucede con la transferencia de calor cuando se aumenta el flujo de agua de enfriamiento hacia el condensador.

7.1.4. El alumno determinará las formas en que se realiza la transferencia de calor en el condensador.

7.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- Suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- Suministro de vapor por medio del generador de vapor.
- Turbina de vapor.

7.3. INTRODUCCIÓN.

Transferencia de calor. La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de energía como calor en los cuerpos de materia. La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Cuando se vaporiza una libra de agua o se condensa una libra de vapor, el cambio de energía de los dos procesos es idéntico. La velocidad a la que cualquiera de estos procesos puede hacerse progresar con una fuente o receptor independiente es, sin embargo, inherentemente muy diferente. Generalmente, la vaporización es un fenómeno mucho más rápido que la condensación.

Mecanismos de transferencia de calor. Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor. Estas son: conducción, convección y radiación.

Conducción. Es la transferencia de calor a través de un material fijo, cuando existe un gradiente de temperaturas, donde la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperaturas que impulsa el calor a través del material. Existe una constante de proporcionalidad K peculiar a la conducción de calor por conductividad térmica del material. Aún cuando la conducción de calor se asocia usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones.

Convección. La transferencia de calor por convección se debe al movimiento del fluido. El fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él. La convección libre o natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por agitación mecánica. Pero cuando el fluido se agita mecánicamente, el calor se transfiere por convección forzada. La agitación puede aplicarse por medio de un agitador, aún cuando en muchas aplicaciones de proceso se induce circulando los fluidos calientes y fríos a velocidades considerables en lados opuestos de tubos. Las convecciones libre y, forzada ocurren a diferentes velocidades, la última es la más rápida y por lo tanto, la más común.

Radiación. Involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él.

La radiación, como un tercer medio de transferencia de calor, difiere bastante de la conducción y la convección. En la conducción de calor a través de sólidos, el mecanismo consiste en la transferencia de energía a través de cuerpos cuyas moléculas, excepto por las vibraciones, permanecen continuamente en posiciones fijas. En la convección, el calor es primero absorbido de la fuente por partículas de fluido inmediatamente adyacentes a ella y entonces transferido al interior del fluido mezclándose con él. Ambos mecanismos requieren la presencia de un medio para transportar el calor de la fuente al receptor. La transferencia de calor radiante no requiere la intervención de un medio, y el calor puede ser transmitido por radiación a través del vacío absoluto.

Diferencia de temperaturas. Es la fuerza motriz, mediante la cual el calor se transfiere desde la fuente al receptor.

Tipos de intercambiadores de calor. El equipo de transferencia de calor se define por las funciones que desempeña en un proceso. Los *intercambiadores* recuperan calor entre dos corrientes en un proceso. Los *calentadores* se usan primariamente para calentar fluidos de proceso, generalmente se usa vapor con este fin. Los *enfriadores* se emplean para enfriar fluidos en un proceso, el agua es el medio enfriador principal. Los *condensadores* son enfriadores cuyo propósito principal es eliminar calor latente en lugar de calor sensible. Los *hervidores* tiene el propósito de suplir los requerimientos de calor en los procesos de destilación como calor latente. los *evaporadores* se emplean para la concentración de soluciones por evaporación de agua. Si además del agua se vaporiza cualquier otro fluido, la unidad es un *vaporizador*.

Turbinas de condensación. Las principales ventajas de trabajar con condensador son la mayor cantidad de energía extraída de cada kilogramo de vapor y la mayor cantidad de energía que puede producirse con una máquina o turbina de tamaño determinado.

La energía útil disponible, en centrales sin condensador es de 3 a 10% de la contenida en el combustible, en el supuesto de que el vapor de escape se descargue a la atmósfera. Si el vapor de escape se utiliza para fines de calefacción, el porcentaje de la energía del combustible utilizado para producir energía y calefacción puede ser más elevado.

En las centrales con condensador el rendimiento total, o relación entre la energía útil y la contenida en el combustible utilizado, se haya comprendido entre 7 y 36%.

En las instalaciones con condensador el vapor de escape de la máquina motriz se transforma en agua en un condensador refrigerado con agua. La disminución de volumen de vapor reduce una acentuada caída en la presión del que sale de la máquina motriz. Una ulterior disminución de la presión del vapor de escape es conseguida con un dispositivo (bomba de vacío o extractor de aire) para evacuar el aire y otros gases incondensables que ejercen cierta presión dentro del condensador. El aire puede infiltrarse en el interior del condensador, pero también puede entrar arrastrado por el vapor de escape junto con el oxígeno y anhídrido carbónico.

7.4. DESARROLLO.

Este experimento se realiza para hacer un balance térmico en el condensador para tres diferentes flujos de agua de enfriamiento.

Después de haberse expandido en las toberas y pasando directamente a la turbina, el vapor es expulsado al interior del condensador el cual tiene un vacío de 660 mm Hg de presión relativa mantenida por medio de una bomba de aire.

El condensador está constituido por 21 tubos colocados en tres arreglos de hileras sobrepuestas, a través de los cuales se suministra agua de enfriamiento y el arreglo está diseñado de tal manera que los tubos sean situados transversalmente al flujo de vapor.

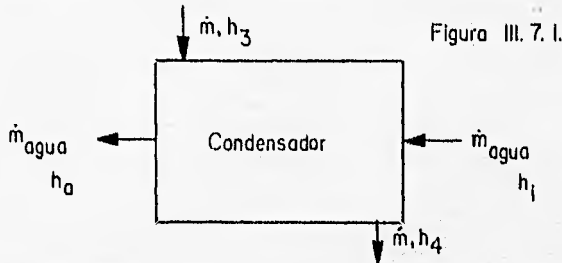
Las lecturas de presión y temperatura pueden obtenerse tanto a la entrada como a la salida del condensador, tanto para el vapor como para el agua de enfriamiento, con ello se puede establecer un balance de energía del condensador y determinar así las pérdidas existentes.

7.5. TABLA DE LECTURAS.

	Flujos de agua de enfriamiento.		
	$m_{1 \text{ agua}} = \underline{\hspace{2cm}}$	$m_{2 \text{ agua}} = \underline{\hspace{2cm}}$	$m_{3 \text{ agua}} = \underline{\hspace{2cm}}$
Temperatura del vapor T_3 (°C)			
Temperatura del condensado T_c (°C)			
Temp. del agua de enfriamiento a la entrada T_i (°C)			
Temp. del agua de enfriamiento a la salida T_o (°C)			
Presión del condensador P_c (BAR)			
Flujo de agua a la bomba de vacío (lits/min.)			
Condensato recolectado (kg.)			
Tiempo de la prueba (seg.)			

7.6. PROCEDIMIENTO DE CALCULO.

Fisicamente, el vapor pasa por la parte exterior de los tubos mientras el agua de enfriamiento circula por estos. Lo anterior explica una disminuci3n sustancial en la eficiencia del ciclo, pues la entalpia del vapor se transfiere al agua de enfriamiento. Una parte importante de la energa que se suministro en el generador para convertir en vapor el agua liquida, a salido asi del sistema. Un balance de la energa para el condensador dar4 por resultado una expresi3n de tal p3rdida de energa.



7.6.1. Calor retirado por el agua de enfriamiento.

$$Q_R = \dot{m}_{\text{agua}} C_{p\text{ agua}} (T_i - T_o)$$

$$C_{p\text{ agua}} = 4.186 \text{ KJ/kg. } ^\circ\text{k}$$

7.6.2. Balance de energias en el condensador.

$$\begin{array}{l} \text{Calda de entalpia del vapor} \\ \text{pasando a trav3s del} \\ \text{condensador} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Incremento de entalpia} \\ \text{del agua de} \\ \text{enfriamiento} \end{array} + \text{P3rdidas}$$

$$\dot{m} (h_3 - h_4) = \dot{m}_{\text{agua}} (h_o - h_i) + \text{P3rdidas}$$

d3nde:

\dot{m} = Es el flujo de vapor obtenido de forma pr4ctica restando al condensado recolectado el flujo de agua a la bomba de vacio durante el tiempo individual de cada una de las tres pruebas.

h_3 = Se evalúa de tablas de vapor sobrecalentado con P_e abs. y T_3 .

h_4 = Se obtiene de tablas de liquido saturado con P_e abs. o T_c .

$$h_o = C_{p\text{ agua}} (T_o)$$

$$h_i = C_{p\text{ agua}} (T_i)$$

7.7. TABLA DE RESULTADOS.

	Flujos de agua de enfriamiento.		
	$\dot{m}_{\text{agua}} =$ _____	$\dot{m}_{\text{agua}} =$ _____	$\dot{m}_{\text{agua}} =$ _____
\dot{Q}_R (WATT)			
h_3 (KJ/kg.)			
h_4 (KJ/kg.)			
h_1 (KJ/kg.)			
h_0 (KJ/kg.)			
Pérdidas (WATT)			

7.8. CUESTIONARIO.

- 1.- ¿Cómo se les llama a las instalaciones que no hacen uso de un condensador?

- 2.- Defina el tipo de condensador de la turbina Coppus de acuerdo a:
 - a) El tipo de flujo.
 - b) El número de pasos por la carcasa y por los tubos.
 - c) Tipo de arreglo de tubos.

- 3.- ¿Porqué se dice que los condensadores retiran sólo calor latente y no calor sensible?

- 4.- Mencione los mecanismos de transferencia de calor presentes en el condensador.

- 5.- ¿Qué ocurre con el calor retirado y las pérdidas cuando se incrementa el flujo de agua de enfriamiento?

6.- ¿Qué función tienen los fuelles que posee el condensador?

7.- ¿Qué ventajas y desventajas presenta un arreglo de tubos en cuadro respecto al arreglo en triángulo?

8.- ¿Cómo se logra variar los flujos de agua de enfriamiento al condensador?

9.- ¿Para qué nos sirve una torre de enfriamiento?

10.- ¿Cómo se logra el vacío en el condensador y de qué manera afecta a la condensación?

7.9. CONCLUSIONES.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE PRÁCTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 8

"ANÁLISIS DE LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA EN ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL
GENERADOR C.D. DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS"

MATERIA:	MÁQUINAS ELÉCTRICAS.
TEMA:	MÁQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA.
SUBTEMA:	ESTRUCTURA DE LAS MÁQUINAS C.D. TIPO DE EXCITACIÓN. FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA.
SEMESTRE:	OCTAVO.
MATERIAL DE APOYO:	APUNTES TEÓRICOS, INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y USO DE EQUIPO.
LUGAR:	LABORATORIO L-2 DE MÁQUINAS TÉRMICAS.

ACTIVIDADES DEL ALUMNO:

- 1.- Estudiar los conceptos teóricos que se indican para la realización de la práctica:
 - Corriente alterna y corriente directa.
 - Velocidad angular, par, trabajo y potencia.
 - Campo magnético, ley de Faraday, voltaje inducido por un campo magnético.
 - Fuerza electromotriz, fuerza magnetomotriz.
 - Generadores de C.D. y sus circuitos equivalentes.
 - Pérdidas en los generadores de C.D.

- 2.- Realizar un examen de diagnóstico sobre los conceptos teóricos y sobre el desarrollo de la práctica.

- 3.- Recibir una explicación general del funcionamiento del equipo.

- 4.- Tomar lecturas de los instrumentos del equipo y llenar la tabla de lectura.

- 5.- Realizar el reporte de la práctica donde incluirá una memoria de cálculo, tablas de resultados, gráficas si se piden, conclusiones y cuestionario resuelto.

Practica no. 8

Análisis de la conversión de energía mecánica en energía eléctrica en el generador C.D. de la turbina de vapor Coppus.

8.1. OBJETIVOS:

- 8.1.1. El alumno comprenderá como se realiza la transformación de energía mecánica a energía eléctrica.
- 8.1.2. El alumno comprenderá el funcionamiento de un generador de corriente directa, mediante el análisis de su circuito equivalente.
- 8.1.3. El alumno identificará las partes que componen un generador c. d.
- 8.1.4. El alumno calculará las diferentes pérdidas que se producen en un generador c. d.
- 8.1.5. El alumno calculará la eficiencia de un generador c. d.

8.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- Suministro de agua de enfriamiento al condensador.
- Suministro de vapor mediante el generador.
- Turbina de vapor.

8.3. INTRODUCCIÓN.

Una máquina eléctrica es un dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o convertir energía eléctrica en energía mecánica. Cuando dicho dispositivo se usa para convertir energía mecánica en energía eléctrica se le llama generador. Asimismo, cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica, se le denomina motor. Prácticamente todos los motores o generadores convierten energía de una forma en otra mediante la acción de un campo magnético.

La conversión de energía térmica o mecánica en energía eléctrica puede efectuarse en sitios distantes, luego transmitirse por alambres hasta el sitio donde ha de utilizarse en cualquier casa, oficina o fábrica. Los transformadores colaboran en este proceso reduciendo las pérdidas de potencia entre el sitio de generación de la energía eléctrica y el sitio de su utilización.

Todo generador debe ser accionado por una fuente de potencia mecánica, generalmente como *primo motor* o máquina motriz del generador. La máquina motriz de un generador de c. d. puede ser una turbina de vapor, un motor diesel o aún un motor eléctrico. Como la velocidad del primo motor incide sobre el voltaje de un generador, y como las características de velocidad de las máquinas motrices varían ampliamente, se acostumbra comparar las regulaciones de voltaje y las características externas de los distintos generadores *asumiendo velocidad constante*.

8.3.1. Constitución de un generador C.D.

Un generador c. d. comprende un *circuito inductor* que mantiene el campo de inducción magnética, un *circuito inducido*, en el que se desarrolla la f.e.m. de inducción, y un *colector* que recoge la corriente y la hace pasar al circuito exterior.

El *inductor* suele ser fijo; produce la fuerza magnetomotriz que origina el flujo. Esta fuerza magnetomotriz es producida por un bobinado excitador alimentado por una corriente anexa: la corriente inductora o corriente de excitación.

El *circuito inducido* es, por lo general, móvil; está constituido por un sistema de arrollamientos montado en una armadura de chapas magnéticas. Las chapas apiladas forman unos paquetes de 40 a 100 mm de espesor, limitados por chapas maestras de 1 mm y separados por unos canales de ventilación de 8 a 15 mm. En las máquinas pequeñas, las chapas van montadas directamente en el árbol. En las máquinas grandes están fijadas en unos travesaños calados en el árbol.

El inducido puede ser en forma de anillo (apilamiento de chapas angulares), o de tambor. En este último caso -el que más se emplea en razón de su ligereza y de que las pérdidas son menos grandes- los ramales de los conductores están alojados en unas ranuras, a lo largo de las generatrices y unidas entre sí en sus extremos.

Para el enfriamiento del inducido se prevén unos canales de *ventilación*. Las máquinas cuyo inducido está montado sobre travesaños, estos canales son laterales, paralelos a las caras terminales del inducido, de una anchura como mínimo igual a un centímetro. En las máquinas pequeñas son longitudinales, en forma de orificios paralelos al eje.

El *colector* es un órgano exterior al arrollamiento del inducido, que asegura la conexión del arrollamiento con un circuito exterior, de forma tal que la corriente en este tenga continuamente el mismo sentido. Es un haz cilíndrico y concéntrico al árbol, y que gira con el inducido; está constituido por láminas de cobre aisladas entre sí y aisladas del árbol.

La calidad de una máquina de C.D. depende en gran parte de su colector. Es necesario que éste sea mecánicamente sólido, que sufra calentamientos moderados y que los aislantes se desgasten con menos rapidez que las láminas.

La conexión eléctrica se realiza mediante unos órganos llamados *escobillas*, que rozan sobre el colector. En la actualidad son de una mezcla grafitica. El desgaste del colector se reduce si se metalizan las puntas de las escobillas. Las escobillas están sujetas en unos *portaescobillas*, de los que existen diversos tipos: de pinzas, de fundas deslizantes (los más utilizados), de reacción, etc.

8.3.2. Generador con excitación independiente.

El generador Scott C.D. acoplado a la turbina de vapor es un generador de excitación independiente donde la corriente de campo es suministrada por una fuente, separada de voltaje. La figura III.8.1 muestra el circuito equivalente de la máquina: allí V_T es el voltaje medido en las terminales del generador, e I_L representa la corriente que circula por las líneas a las cuales se han conectado dichos terminales. La f.e.m. generada es E_A , e I_A es la corriente de armadura. Es evidente que en este generador las corrientes de línea y de armadura son iguales.

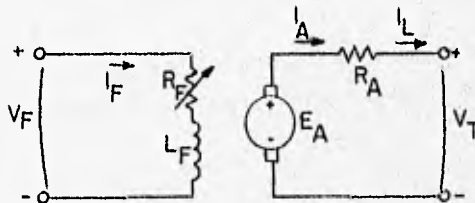


Figura III.8.1

La característica terminal de este tipo de generador es una gráfica de la tensión de terminales V_T contra la corriente de línea I_L a velocidad constante ω . Por la ley de voltajes de Kirchoff la tensión entre terminales es:

$$V_T = E_A - I_A R_A$$

Cuando se incrementa la carga que suministra el generador, aumenta I_L (y por consiguiente I_A); a medida que aumenta la corriente de armadura también se incrementa la caída $I_A R_A$, así que disminuye el voltaje entre terminales del generador.

El voltaje en las terminales del generador de excitación independiente puede controlarse variando la tensión generada interna E_A de la máquina, de la fórmula $V_T = E_A - I_A R_A$, si E_A aumenta, aumentará V_T y si E_A disminuye, disminuirá V_T . Como la tensión generada se expresa por $E_A = K\omega\phi$, existen dos posibilidades para controlar el voltaje del generador:

- 1) *Modificar la velocidad de rotación:* Si ω aumenta, entonces $E_A = K\omega\phi$ aumenta, de tal manera que V_T también aumenta.
- 2) *Variar la corriente de campo:* Si R_F disminuye, la corriente de campo aumenta ($I_F = V_F / R_F$), aumentando el flujo de la máquina. Si el flujo aumenta, E_A debe aumentar también, así que V_T se incrementa.

En muchas aplicaciones la velocidad de la máquina motriz es limitada, así que la forma más común de regular el voltaje es variando la corriente de excitación.

8.4. DESARROLLO.

En este experimento se analiza la transformación de la energía mecánica a eléctrica, y se calculan también las diferentes pérdidas que ocurren durante dicha conversión de energías.

El experimento se considera listo para iniciarse cuando se han logrado condiciones estables de presión y temperatura a la entrada de la turbina, además, se debe procurar mantener constantes las 3000 r.p.m. durante todo el experimento.

Se tomarán lecturas de voltaje, amperaje y par para condiciones de no carga con tan solo una tobera abierta. Las mismas lecturas se registrarán para la condición de plena carga, no olvidando que para llegar a esta situación se deben ir abriendo toberas para poder mantener constantes las r.p.m.

Con los datos recabados se calcularán las pérdidas en los devanados del rotor y estator, así como las pérdidas rotacionales o mecánicas tanto en vacío como a plena carga para calcular la eficiencia del generador C.D.

8.5. TABLA DE LECTURAS.

		CONDICIÓN	
		NO CARGA (EN VACÍO)	PLENA CARGA
Carga del torque	(Newton)		
Voltaje de armadura	V_A (Volts)		
Amperaje de armadura	I_A (Amps.)		
n	(r.p.m.)		

8.6. PROCEDIMIENTO DE CALCULO.

8.6.1. En vacío.

$$P_{\text{entrada}} = T_{\text{aplicado}} \omega_m \text{ (Watt)}$$

donde T_{aplicado} es el par que se lee del dinamómetro en vacío (sin carga).

$$\omega_m = 314.15927 \text{ rad/seg.}$$

En vacío, el generador no entrega potencia; por lo tanto, toda la potencia absorbida se transforma en pérdidas rotacionales (pérdidas mecánicas y pérdidas en el hierro).

Perdidas en el cobre $P_F = (I_f)^2 R_F$

donde:

$I_f = 0.565$ amp en vacío.

R_F Es la resistencia del devanado en el estator.

Perdidas en las escobillas $P_{BD} = V_{BD} I_A$

donde:

V_{BD} es la caída de voltaje de las escobillas aproximadamente constante para corrientes de armadura comprendidas en un amplio rango normalmente se considera de 2 Volts.

Perdidas mecánicas. En las máquinas, están asociadas con su funcionamiento mecánico. Hay dos tipos básicos de pérdidas mecánicas: de *fricción* y de *ventilación*. Las pérdidas por fricción se deben al rozamiento de los rodamientos del eje de la máquina y las pérdidas por ventilación se deben a la fricción de las partes en movimiento de la máquina con el aire que se encuentra dentro de la carcasa. Estas pérdidas varían proporcionalmente con el cubo de velocidad de rotación.

$$P_{rotacionales} = P_{entrada} - P_F - P_{BD}$$

8.6.2. A plena carga.

Perdidas en el cobre del inducido $P_A = (I_A)^2 R_A$

Perdidas en el cobre $P_F = (I_F)^2 R_F$

donde:

$I_F = 0.31$ amp. a plena carga.

R_A Es la resistencia del devanado del rotor.

Perdidas totales en el cobre del generador a plena carga $P_{cu} = P_A + P_F$

Potencia entregada al generador a plena carga $P_{salida} = V_T I_L$

eficiencia del generador a plena carga $n = P_{salida} / P_{entrada}$

Potencia de entrada $P_{entrada} = P_{salida} + P_{cu} + P_{mecanicas} + P_{adicionales}$

Perdidas adicionales $P_{adicionales}$ = pérdidas parásitas y se toman como el 1% de la potencia a plena carga

Par inducido en el generador y par aplicado por el primo motor a plena carga:

$$T_{ind.} = P_{conv} / \omega_m$$

$$T_{aplicado} = P_{entrada} / \omega_m$$

La potencia mecánica convertida a eléctrica por el generador es $P_{conv.} = P_{salida} + P_{cu}$

8.7. TABLA DE RESULTADOS.

	CONDICIÓN	
	NO CARGA (EN VACÍO)	PLENA CARGA
P_{entrada} (Watt)		
P_F (Watt)		
P_{BD} (Watt)		
$P_{\text{rotacionales}}$ (Watt)		
P_A (Watt)		
P_{cu} (Watt)		
P_{salida} (Watt)		
P_{entrada} (Watt)		
$P_{\text{adicionales}}$ (Watt)		
P_{conv} (Watt)		
η (%)		
T_{ind} (N-m)		
T_{ap} (N-m)		

8.8. CUESTIONARIO.

- 1.- ¿Que es un par? y ¿Que papel desempeña el par en el movimiento rotacional de las maquinas?
- 2.- Diferencie mediante una explicación breve los tres tipos de par que se mencionan en la practica. (par de arranque, par aplicado y par inducido).
- 3.- ¿Cual es el mecanismo fundamental por medio del cual el generador convierte en energía eléctrica la mecánica?
- 4.- Defina que es una máquina eléctrica y diferencie entre un generador y un motor.
- 5.- Defina que es corriente de excitación y corriente de armadura.
- 6.- ¿Porque no se consideran iguales la potencia convertida y la potencia de salida?
- 7.- ¿Qué es el primo motor?
- 8.- ¿Qué necesitaríamos para aprovechar la energía convertida si no se disipara en forma de calor en las resistencias?

8.9. CONCLUSIONES.

CAPITULO IV

***MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DEL
EQUIPO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS***

CAPITULO IV

***MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DEL
EQUIPO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS***

CAPITULO IV.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DEL EQUIPO DE LA TURBINA DE VAPOR COPPUS.

IV.1 INTRODUCCION.

El mantenimiento consiste en la acción de reparar y mantener en buen estado de servicio los bienes de equipo, materias primas, etc., de una empresa industrial.

Las partes de un equipo se desgastan por uso y se producen paros por averías. Es frecuente, que antes de la avería el equipo no funcione correctamente.

El mantenimiento de los equipos consiste en corregir oportunamente los desgastes que se producen en los mismos por su uso, mediante una *conservación* adecuada, o mediante una acción preventiva sobre los mismos.

La *conservación* es toda acción humana que mediante la aplicación de los conocimientos científicos y técnicos contribuye al óptimo aprovechamiento de los recursos existentes en el hábitat humano, propiciando con ello el desarrollo integral del hombre y de la sociedad³.

La *conservación* se divide en dos grandes ramas :

A. La preservación.

B. El mantenimiento.

La preservación es la actividad humana encargada de evitar daños a los recursos existentes en el hábitat humano.

El mantenimiento es la actividad humana que garantiza el FUNCIONAMIENTO eficaz de los recursos empleados por el hombre.

Es importante hacer notar la diferencia que existe entre estas dos ramas de la conservación, ya que ambas se aplican a cualquier clase de los recursos existentes en la naturaleza. Una máquina puede haber estado sujeta a trabajos de limpieza, lubricación, reparación o pintura, los cuales pueden ser catalogados como labores de preservación, si fueron hechos para evitar que la máquina fuera atacada por agentes nocivos; pero serán calificadas como de mantenimiento, si fueron hechos para que ésta proporcione o continúe proporcionando un servicio de calidad estipulada. Con lo anterior queda claro que la preservación se enfoca al cuidado del recurso, y el mantenimiento se enfoca al cuidado del servicio que proporciona dicho recurso.

Desde el punto de vista de mantenimiento, su objetivo es el de MANTENER LA CALIDAD DE SERVICIO que nos proporcionan los equipos, instalaciones y construcciones que componen nuestro

3. La productividad en el mantenimiento industrial (E. Dounce V. y J.F. Dounce P.)

sistema fabril, y que a éstos los limpiamos, aceitamos, corregimos, ajustamos, reparamos, preservamos, etc., todo con respecto a la calidad de servicio que esperamos deben proporcionar. Existen dos clases o tipos de mantenimiento industrial.

IV.1.1. EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO : que se define como la "actividad humana desarrollada en equipos, instalaciones o construcciones; cuando a consecuencia de alguna falla, han dejado de prestar la calidad de servicio esperada".

IV.1.2. EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO : que se considera como "la actividad humana desarrollada en equipos, instalaciones o construcciones; con el fin de garantizar que la calidad de servicio que éstos proporcionan, continúe dentro de los límites establecidos".

También se determina que dentro del concepto de *mantenimiento preventivo*, deben considerarse todos los tipos de mantenimiento que de una u otra forma tengan la misión de conservar *la calidad de servicio*, tales como el mantenimiento periódico, el progresivo, el analítico, el técnico, el predictivo, etc.

IV.1.2.1. Mantenimiento Preventivo Predictivo.

En este tipo de mantenimiento, los trabajos por efectuar proceden de un diagnóstico permanente derivado de inspecciones continuas utilizando detectores (transductores) que tienen la propiedad de cambiar cualquier tipo de energía (luminica, sonora, ultrasónica, radiante, vibratoria, calorifica, etc.) en señales de energía eléctrica, las que son enviadas a una unidad electrónica procesadora, la cual analiza e informa del buen o mal estado de funcionamiento de la máquina en cuestión.

Este tipo de mantenimiento requiere para su aplicación de un estudio profundo del recurso por mantener para conocer sus partes vitales, su tiempo de vida útil y la calidad de servicio que se espera de cada una de éstas, así como de su conjunto, con el objeto de colocar los transductores en los lugares idóneos y ajustarlos a su norma y tolerancia, a fin de que todas las variaciones que éstos registren sean enviadas a la unidad electrónica procesadora.

En esta forma el procesador, al registrar un funcionamiento defectuoso en el recurso sujeto a predictivo, prácticamente hace un diagnóstico de confiabilidad y *predice* la posibilidad de una falla catastrófica; es decir, que el servicio se salga de la calidad esperada; por lo que el técnico de mantenimiento a cargo analizará la situación y realizará la labor adecuada, para eliminar el funcionamiento defectuoso detectado.

La implementación de este tipo de mantenimiento en la fábrica es costosa, pero su operación es económica y se obtiene el más alto grado de confiabilidad; su uso es ideal para partes y recursos vitales.

IV.1.2.2. Mantenimiento Preventivo Periódico.

Este es un sistema con el cual al recurso sujeto a mantenimiento, por principio, se le da una atención rutinaria por un tiempo y luego se somete a un proceso llamado "overhaul" durante el cual, se desarma, se limpian sus partes, se cambian las que han llegado al límite de vida útil acusen o no deficiencias; las restantes se revisan minuciosamente, en algunos casos con rayos X o pruebas muy sofisticadas dependiendo del grado de confiabilidad que se espere de la máquina; se cambian o reparan las partes deficientes restantes, se arma el conjunto y se prueba hasta obtener la seguridad de un buen funcionamiento, entregándose el recurso rehabilitado al usuario para obtener su conformidad. A fin de lograr esto, es necesario hacer una planeación previa minuciosa, auxiliándose no solamente con la información proporcionada por el fabricante, sino también tomando en cuenta la estadística de fallas, los trabajos que anteriormente se le han hecho, el punto de vista del personal de conservación y operación que conocen el recurso y, en fin, toda la información que ayude a aplicar la ingeniería de confiabilidad no sólo en el conjunto del recurso, sino también en sus partes o subsistemas, a fin de determinar su importancia y probabilidad de falla.

Este tipo de mantenimiento requiere que se disponga de un equipo auxiliar o redundante o que el equipo por atender no vaya a ser utilizado durante el tiempo que duren los trabajos de preventivo. Esta forma de mantenimiento, cada vez que se ejecuta, lleva al recurso nuevamente a los niveles de confiabilidad requeridos y, por lo tanto, su costo es alto, por lo que se recomienda sólo para recursos calificados como vitales o importantes.

IV.1.2.3. Mantenimiento Preventivo Analítico.

Este tipo de mantenimiento se basa en un análisis profundo de la información proporcionada por captadores y sensores dispuestos en los sitios más convenientes de los recursos vitales e importantes de la fábrica, de tal manera que por medio de un programa de visitas, éstos pueden ser inspeccionados con la frecuencia necesaria, a fin de anotar los datos y las lecturas resultantes, las cuales trabaja un analista en el gabinete combinándolas con la información que para el efecto tiene en el banco de datos relativos al recurso analizado, entre la que debe encontrarse, la edad del recurso, el tiempo que ha estado trabajando sin que se produzca una falla, la carga de trabajo a que está sujeto, las condiciones del ambiente en donde está instalado, la cantidad y tipos de fallas que ha sufrido, etc. Con esta información el técnico mencionado estará en posibilidades de aplicar sus conocimientos de ingeniería de confiabilidad (fiabilidad), a fin de calcular la probabilidad que tiene el recurso de sufrir una falla. Cuando el analista corrobora con estos estudios, que el recurso debe ser atendido ya que esta próximo a fallar, preparará la orden de trabajo necesaria en la que ordenará los trabajos que a su juicio vuelven a rehabilitar al recurso hasta su grado de confiabilidad esperado, los

cuales serán llevados a cabo cuando se cuente con que el recurso tiene el tiempo ocioso necesario, por lo que en repetidas ocasiones debe tenerse disponible una máquina redundante o de reserva para lograrlo. Es conveniente hacer notar que, en este tipo de mantenimiento no se interviene al recurso periódicamente, sino hasta el momento en que el análisis lo indique. Sigue en calidad de confiabilidad y costo al mantenimiento periódico.

IV.1.2.4. Mantenimiento Preventivo Técnico.

Este es una combinación de los criterios establecidos para el mantenimiento periódico y para el progresivo: es decir, mientras en el mantenimiento periódico se tiene la necesidad de contar con que el recurso tenga el tiempo ocioso suficiente, para poder llevar a cabo toda la labor planeada o, en su defecto, tener un recurso redundante que lo proporcione, en el mantenimiento progresivo se está prácticamente a la expectativa de tiempos ociosos cortos, por lo general, que caigan aproximadamente en nuestras fechas programadas; en el mantenimiento técnico, se atiende al recurso por partes progresando en él cada fecha programada la cual está calculada como en el mantenimiento periódico, por un analista auxiliándose de la información necesaria, a fin de conocer el grado de confiabilidad del equipo y de ahí deducir el "tiempo para fallar" de cada etapa, con lo cual su programación o rutina de atención obligaría a atender el recurso un poco antes del final del mencionado tiempo. El mantenimiento preventivo técnico sigue en calidad de confiabilidad y costo al mantenimiento analítico.

IV.1.2.5. Mantenimiento Preventivo Progresivo.

Como su nombre lo indica, este tipo de mantenimiento consiste en atender al recurso por partes, progresando en su atención cada vez que se tiene oportunidad de contar con un tiempo ocioso de éste. La diferencia primordial que existe entre el mantenimiento técnico y progresivo es, que éste se halla a la espera de tiempos ociosos generalmente cortos y aleatorios, mientras que en el mantenimiento técnico, aunque sus tiempos sean cortos, éstos están programados y es obligatorio para el personal de producción suministrar el equipo según la programación.

El mantenimiento progresivo, aunque es el menos costoso de todos, también es el que menos confiabilidad proporciona.

IV.2. Mantenimiento correctivo realizado a la turbina.

Este apartado es, a manera de bitácora, para dar a conocer los pormenores de el mantenimiento correctivo que se realizo a la turbina como parte de las actividades del programa de Servicio Social. Consideramos que es útil como material de consulta para futuros mantenimientos del equipo.

Se hizo una revisión general de las condiciones en que se encontraba la turbina. Al inspeccionar el eje se encontró que este estaba trabado y no podía girar. Se observo el interior de la carcasa y nos encontramos que existía una seria situación de incrustaciones con oxidación, tanto en los álabes del rotor como en las paredes interiores de la carcasa. La única solución a este problema fue desarmar las dos cubiertas para tener acceso al rotor y limpiarlo totalmente de las incrustaciones y la oxidación. Esto implico quitar todos los elementos adjuntos a las dos cubiertas, apoyados en los procedimientos del manual y bajo la supervisión de los técnicos académicos.

El desarme se realizó en dos etapas. La primera consistió en dejar libres los extremos del eje del rotor, quitando los acoplamientos flexibles que los unen tanto al generador C.D. como al gobernador. también se quitaron la tubería de admisión y de escape del vapor en el orden que a continuación se indica. Los números entre paréntesis hacen referencia a la figura II.2 del capítulo II.

IV.2.1. Desmontaje del gobernador.

Para quitar el gobernador seguir los siguientes pasos se debe drenar el aceite por el drene (336). Quitar el tornillo que conecta la barra (186) a la palanca del gobernador (256) para desconectar la conexión de estrangulación. Destornillar el gobernador del soporte del bastidor (315) y deslizarlo fuera de este.

El acoplamiento (314) permanecerá en la extensión de la flecha del gobernador y el otro acoplamiento permanecerá en la extensión de la flecha de la turbina. Los centros de acoplamiento pueden ser removidos fácilmente de sus respectivas extensiones quitando sus tornillos.

Tener cuidado de sujetar el gobernador por sus bordes y no por su eje.

Para recolocar el gobernador, primero instalar su palanca, apretando los tornillos de manera correcta. Los dos centros de acoplamiento deben estar colocados firmemente a sus respectivas extensiones de flecha. colocar el acoplamiento de araña entre las aberturas de los acoplamientos, y deslizar el gobernador a su sitio en el soporte del bastidor verificando que acople adecuadamente. El acceso al área de acoplamiento es posible quitando las tapas laterales del soporte del bastidor. Atornillar el gobernador verificando que el juego final para el cople araña entre la abertura de los coples sea de aproximadamente 1.588 mm (1/16 de pulgada).

Reinstalar la barra de conexión a la palanca del gobernador, verificando que no se hayan hecho cambios en el montaje de la conexión de estrangulación.

Llenar el gobernador con aceite.

Girar manualmente la turbina para asegurarse que el gobernador y el acoplamiento estén girando libremente.

Consultar la sección de ajuste de velocidad del gobernador antes de arrancar la turbina.

IV.2.2. Ajuste de la conexión de estrangulación.

El ajuste de la conexión entre el gobernador y la conexión de estrangulación no es muy difícil, pero debe ser realizado cuando los componentes de las conexiones, o el propio gobernador, son recolocados. La conexión de estrangulación debe ser montada de la siguiente manera:

Con las conexiones desconectadas, girar la palanca del gobernador (265) a la posición de completamente cerrada. Tomar como referencia la flecha grabada en un lado del gobernador y girar en sentido de las manecillas del reloj tan rápido como sea posible para detener internamente el gobernador. La palanca del gobernador debe estar posicionada como se muestra en la figura IV.1 con la flecha terminal del gobernador girada a la posición de completamente cerrada

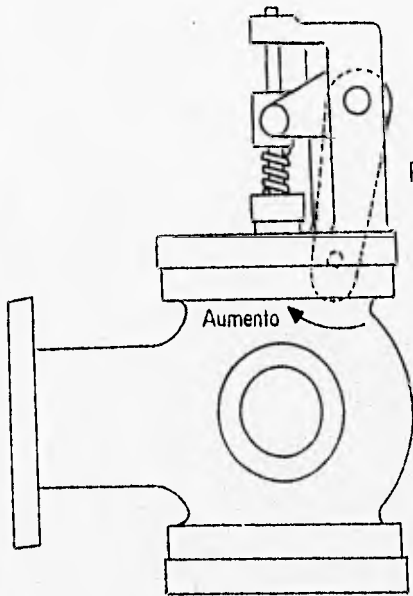
Girar la palanca que acciona la válvula (173) a la posición de completamente cerrada. Girar en sentido antihorario tan rápido como sea posible para detener la válvula interiormente, referirse a la figura IV.1.

Con ambas palancas giradas a la posición de completamente cerradas, ajustar la longitud de la barra de conexión (197) para cubrir el hueco entre palancas. El ajuste de la longitud es logrado roscando hacia adentro o hacia afuera de los extremos de la barra conductora (185), entonces apretar las tuercas en los extremos de la barra. Instalar el ensamble de la barra conectora usando una tolerancia cerrada de los pernos de conexión de la barra conectora (186).

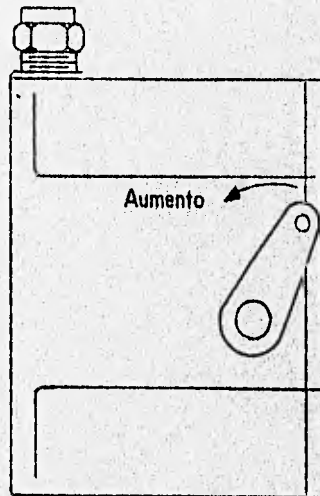
IV.2.3. Desensamble del collarín del gatillo de seguridad.

Este ensamble consiste del collarín (S-41), el peso giratorio (S-42), un perno (S-43), y el tornillo fijador del resorte (S-43). Para desmontarlo, una vez que se ha quitado el gobernador, girar la flecha de la turbina (21) hasta que los tornillos que sujetan el acoplamiento (314) a la flecha puedan ser removidas, para que nos permita sacar el collarín espaciador (316), y remover el ensamble del collarín.

Cuando se reinstale el ensamble, asentarlo sólidamente contra los bordes del eje. Una flecha estampada en el collarín nos indica su correcta dirección de rotación en el eje de la turbina. Introducir el collarín en el eje, colocar la chaveta en su lugar, y deslizar la caja del collarín sobre la chaveta y sólidamente contra el collarín espaciador y ensamble del collarín. Por último apretar los tornillos del acoplamiento en su lugar.



Palanca de la
Valvula de Estrangulacion



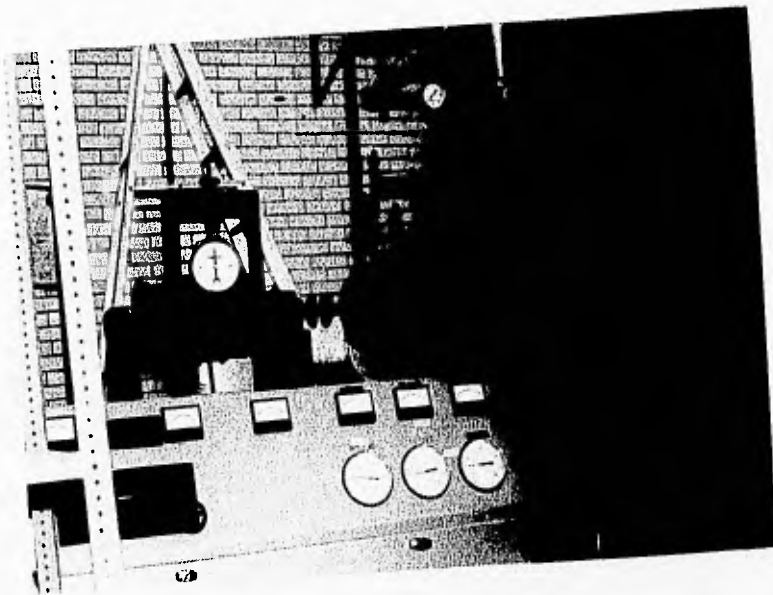
Palanca del
Governador.

FIGURA IV.1. AJUSTE DE LA CONEXION DE ESTRANGULACION

ENEP ARAGON UNAM | INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

TESIS PROFESIONAL: PROPUESTA DE PRACTICAS PARA LA TURBINA DE VAPOR COPPUS

PRESENTAN: HERNANDEZ MARTINEZ SERGIO Y PEREZ LARES JOSE A.



PRIMERA ETAPA DE DESARME: SE DEJARON LIBRES LOS EXTREMOS DEL EJE DEL ROTOR



UNA VEZ AISLADA DEL CIRCUITO DE TUBERIA Y RETIRADA DE SU BASTIDOR, LA TURBINA FUE LLEVADA AL LABORATORIO L-1 PARA INICIAR LA SEGUNDA ETAPA DEL DESARME

IV.2.4. Remoción de la válvula del gatillo de seguridad.

Se desconectó el cuerpo de la válvula del gatillo de seguridad desde las bridas de sus extremos. La brida superior conecta con la línea de vapor de entrada. la inferior está unida a un codo de 90° que comunica a la válvula de estrangulación.

Se recomienda que siempre que se afloje o aprieten las tuercas de los tornillos que unen las bridas se realice en forma cruzada

Para desarmar la válvula del gatillo de seguridad (S-2), remover la tapa final de la válvula piloto (S-3A) usando los tornillos como botadores en el extremo de la tapa como se requiera. remover la junta (S-72). La válvula del gatillo de seguridad puede ser removida.

En este paso, una porción de la malla filtrante de vapor (S-8) puede ser extraída para limpieza o inspección. Para remover la otra porción de la malla, o hacer una completa inspección del cuerpo de la válvula del gatillo de seguridad (S-1), desconectar la tubería en la tapa final del resorte (S-4A).

Quitar el resorte en el extremo de la tapa usando los tornillos como botadores en los agujeros suministrados. La válvula del gatillo de seguridad, el resorte de cierre de la válvula (S-6) deben ser removidos con el resorte en el extremo de la tapa. Quitar la junta (S-72). En este punto, la otra parte de la malla filtrante de vapor puede ser removida para inspección o limpieza.

Con la válvula completamente desarmada, checar los asientos de la válvula en el cuerpo de la misma y los soportes del pistón de la válvula en los extremos de las tapas por un posible desgaste.

Rearmar reinstalando ambas porciones de la malla filtrante del vapor. Instalar la tapa final, resorte, y junta. reconectar la tubería en el extremo de la tapa del piloto. reinstalar la válvula del gatillo de seguridad asegurándose que se deslice suavemente sobre el resorte al final de la tapa.

Reemplazar las juntas y tapa final del piloto.

IV.2.5. Remoción de las válvulas de estrangulación y de admisión.

La válvula de estrangulación (162) y la de admisión (163) deben ser removidas como un subensamble.

Nosotros removimos todo el cuerpo de la válvula de estrangulación desde la brida en la cubierta de entrada.

Antes de removerlo se debe quitar el perno de la barra conectora (186) en la palanca de la válvula (173).

Los componentes de estrangulación deben ser soportados adecuadamente para prevenir daños durante el desensamble y ensamble.

Cuando se reinstale, se recomienda verificar que la válvula tenga libre movimiento durante todo su recorrido, moviendo manualmente su palanca.

Reinstalar la barra conectora a la palanca asegurando que no existan cambios y todo este en su lugar.

La primera etapa de desarme quedo concluida cuando se quito la tubería de escape de vapor hacia el condensador; constituida por una junta de expansión, válvula de compuerta y conexión "T" cubiertas todas por un aislante térmico removible.

La turbina fue removida de su lugar en el bastidor para ser trasladada al laboratorio L-1 dónde se inicio la segunda etapa de desarme misma que a continuación se menciona.

IV.2.6. Desmontaje del soporte del bastidor y brida con rodamiento de la cubierta de entrada.

Primero se desconecta la tubería de sello de vapor a la turbina se drena el aceite desde la brida (5B) a través del drenaje (71).

Destornillar el soporte del bastidor (315) y removerlo. Quitar el anillo lubricador de la cubierta (112B), el anillo elástico de sujeción (223), la funda del eje (262). Remover los tornillos que sujetan la brida a la cubierta (2). Ahora el rodamiento puede ser extraido del eje de la flecha usando un extractor. La arandela del rodamiento (27) y la brida deben ser removidos en este paso. Proceder con precaución al remover la brida para que el anillo de sello (40) no sea dañado por los bordes de la flecha.

Para reinstalar seguir el procedimiento de manera inversa, teniendo cuidado a la hora de recolocar el rodamiento aplicando fuerza únicamente en su diámetro interior, aceitando ligeramente tanto sus pistas como su lugar en la flecha así como en su alojamiento.

IV.2.7. Desmontaje de la brida y rodamiento de la cubierta de salida.

Remover el acoplamiento en la extensión de la flecha de la turbina. Y si está muy apretado al eje usar una rueda a manera de botador aplicando calor uniformemente al acoplamiento si es necesario.

Drenar el aceite de la brida del colector (5A) a través del drenaje (71). Remover el anillo lubricador de la cubierta (112A). Desdoblar las puntas de la arandela de cierre (113) y destornillar la tuerca de la flecha (23). Remover la arandela de cierre y el anillo de lubricación (262). Quitar los tornillos que sujetan la brida a la cubierta de salida y deslizarla a lo largo de la flecha forzando a la arandela del rodamiento (27) y el rodamiento (33) a salir junto con está. Se debe tener cuidado de no dañar los anillos de sello grafitado (41) con los bordes de la flecha durante la remoción.

Para reensamblar seguir el procedimiento inverso, aceitando ligeramente las pistas del nuevo cojinete, el espacio del cojinete tanto en la flecha como en su alojamiento y colocar el cojinete o



DESMONTAJE DE LA BRIDA DE LA CUBIERTA DE ENTRADA



DESMONTAJE DE LA BRIDA DE LA CUBIERTA DE SALIDA

rodamiento aplicando fuerza únicamente en la pista interior, debe entrar en la flecha con una ligera presión asegurando que asiente sólidamente contra su arandela.

IV.2.8. Desmontaje del cárter que contiene los anillos de carbón.

Quitar los tornillos que sostienen las glándulas del cárter (211A y B) a las cubiertas de salida (1) y entrada (2), usar dos de estos tornillos para botar o separar las glándulas de las cubiertas. Cada glándula tiene dos orificios para meter los tornillos botadores. Las juntas (217) entre las glándulas del cárter y las cubiertas también serán removidas. Sacar las glándulas del cárter deslizándolas a lo largo de la flecha. Remover los tornillos y usar dos de ellos como botadores para separar las dos mitades de las glándulas. Las dos mitades deben ser separadas uniformemente teniendo cuidado de no forzar o hacer palanca entre ellas porque se puede causar daños a las placas separadoras (212 y 213). Los anillos de carbón están entonces expuestos y podrán ser reemplazados fácilmente después de quitar los resortes circulares (216) y la arandela de retención de los anillos de carbón (214). Remover los anillos de carbón (existen tres segmentos por anillo) y reemplazarlos asegurándose de mantener la relación correcta entre los 3 segmentos como se indica en las marcas de cada segmento. Reemplazar el resorte circular y la arandela de retención. Cerrar las dos glándulas sobre los anillos de carbón colocando permatex o un sellador equivalente entre las dos mitades. Asegurándose que las arandelas de retención sean propiamente posicionadas dentro de las dos mitades.

Recolocar y apretar los tornillos que unen las dos mitades.

Aplicar un sello como Keytite o un equivalente en la parte de unión de las glándulas del cárter con las cubiertas. Verificar que las juntas estén limpias y en la posición correcta. Deslizar la glándula del cárter a lo largo de la flecha y reensamblar a las cubiertas de entrada y salida.

IV.2.9. Reemplazo del rodete o flecha de la turbina.

Hasta este punto solo resta desensamblar las cubiertas (1 y 2) quitando los tornillos de su periferia y separándolas usando dos de estos tornillos como botadores. La junta (218) entre las dos cubiertas, instalada para una alta presión de salida o de escape, es removida en este paso. Quitar los dos tornillos que sujetan el sector (15) de álabes fijos a la cubierta de salida. El subensamble formado por rodete y eje pueden ser extraídos fuera de la cubierta de salida trayendo consigo el sector de álabes fijos.

Para reinstalar el rodete y la flecha a la cubierta de salida, primero colocar el sector de álabes fijos entre las dos hileras de álabes en el rodete hacia el interior de la cubierta de salida. Verificar que la flecha y el rodete están sólidamente soportados durante esta operación. Colocar nuevas arandelas de sello bajo las cabezas de los anillos que sujetan el sector. Golpear ligeramente el sector para



DESMONTAJE DEL CARTER QUE CONTIENE LOS ANILLOS DE CARBON



DESENSAMBLE DEL CARTER. SE PUEDEN APRECIAR LOS TRES SEGMENTOS CIRCULARES QUE FORMAN UN ANILLO, SU RESORTE CIRCULAR Y LAS ARANDELAS DE RETENCION

asegurar que está sólidamente asentado contra la cubierta y entonces apretar los tornillos teniendo cuidado de no transroscarlos.

Acoplar la cubierta de entrada, y su junta, usando un sello tal como Keylite o su equivalente entre las caras de unión de las cubiertas.

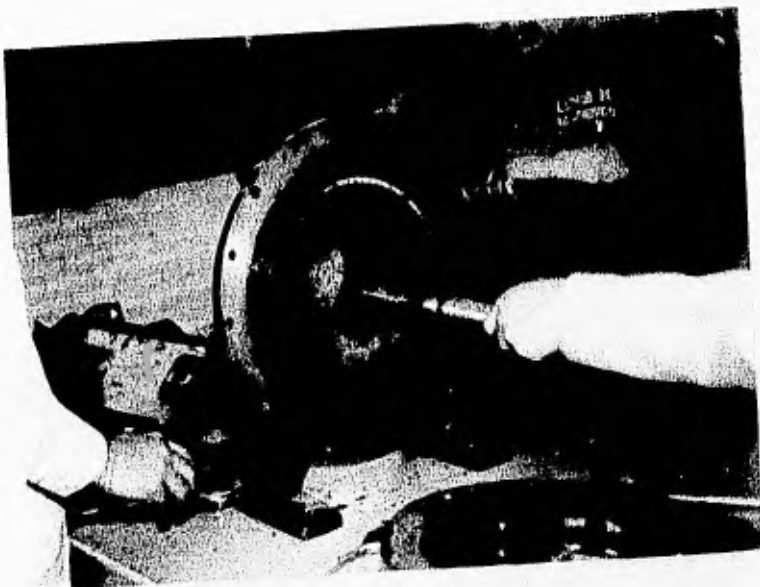
IV.2.10. Limpieza de la corrosión.

Una vez que se tuvo acceso al rodete, se procedió a su limpieza, así como también a la de las paredes interiores de las dos cubiertas, el sector de álabes fijos, filtro de la válvula del gatillo de seguridad, válvula de estrangulación y tubería de escape hacia el condensador.

Se nos proporcionaron tres sustancias químicas con las cuales se procedió a limpiar las superficies contaminadas. Primero se aplicó un ácido (Habillite) para ablandar la capa de incrustaciones y óxido, se dejó actuar durante dos horas al término de las cuales se limpió la superficie y se aplicó la segunda sustancia de acción desoxidante (Multiphos) por un lapso de 24 horas; la última sustancia aplicada fue de acción desengrasante (A.A.) dejándola actuar por 48 horas y dando por terminado el procedimiento de limpieza.

En lo que respecta a las dos glándulas que conforman el cárter que contiene los anillos de carbón se procedió a limpiarlos de sus incrustaciones y oxidación con una mezcla de diesel y gasolina. Se limpiaron los segmentos de los anillos, sus resortes circulares y arandelas o platos de retención.

Una vez que se dio por concluida la etapa de limpieza de los componentes que lo requerían se procedió al reensamble apoyados en material visual (fotos y video), y siguiendo los procedimientos anteriormente descritos de manera inversa, se cambiaron juntas de las bridas que lo requerían.



DESEMSAMBLE DE LAS CUBIERTAS. SE PUEDE APRECIAR LA OXIDACION DEL RODETE Y LAS CUBIERTAS



EXTRACCION DEL SUBENSAMBLE DEL RODETE Y FLECHA JUNTO CON EL SECTOR DE ALABES FIJOS

IV.3. CORRECCIÓN DE FALLAS.

Esta sección es propuesta para consultarse cuando la turbina y el generador C.D., estén operando insatisfactoriamente. Los siguientes 2 cuadros enlistan los problemas más comunes, posibles causas, y las soluciones recomendadas en cada caso.

IV.3.1. Corrección de fallas en la turbina.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN.
1 - Vibración excesiva o ruido.	Desalineación.	Desconectar el acoplamiento que une la flecha de la turbina con la del generador c.d. Hacer girar la turbina, si esta gira suavemente, entonces el desgaste del acoplamiento es la causa del problema.
	Rodamientos gastados.	Reemplazarlos.
	Acoplamientos desgastados.	Verificar la condición del acoplamiento ya que el desgaste puede ser la causa de la vibración.
	Desbalance entre generador y turbina.	Remueva las dos mitades del acoplamiento y Checar su balanceo.
	Rodete desbalanceado.	Supervisar el rodete de la turbina para ver que no tenga indicios de desbalanceo debido a la sobrevelocidad. Se debe revisar el rodete para ver que no existan incrustaciones de materia sólida en su parte baja, como resultado de que la turbina haya estado parada por un período largo de tiempo sin haber drenado completamente el escape de la carcasa. De ser así el rodete deberá ser rebalanceado o reemplazado.
Esfuerzos en la tubería.	Las líneas de vapor de entrada y salida deben ser soportadas correctamente para prevenir esfuerzos generados desde la turbina. Se debe hacer una tolerancia de ajuste para prever la expansión debida al calor.	

	Flecha curvada.	Checar el pando de la flecha si es excesivo reemplazarla.
2.- Mal funcionamiento de los cojinetes.	Mala lubricación.	Se debe asegurar que se este usando el lubricante apropiado, supervisando periódicamente que el aceite este libre de agua y sedimentos.
	Desalineamiento.	Consultar desalinamiento bajo vibración descrito anteriormente.
	Ajuste de los cojinetes.	Los cojinetes de bola deben ajustarse a la flecha de la turbina con un ligero ajuste de presión. Un ajuste excesivo puede ser la causa de una traba, un ajuste poco apretado provocara un desbocamiento interno en el giro de la flecha, ambas cosas provocan desgaste, vibración, sobrecalentamiento y falla del cojinete. Reemplazar la flecha si el desgaste es excesivo.
	Excesiva tracción.	Asegurar que el acoplamiento esta limpio e instalado de manera que, no exista una tracción excesiva que provoque un empuje axial en la flecha conducida.
	Desbalanceo.	Consultar desbalanceo bajo vibración descrito anteriormente.
	Oxidación de los cojinetes.	La oxidación ocurre en la superficie del cojinete cuando la turbina esta fuera de servicio por largo tiempo sin la atención adecuada.

3.- Excesivas fugas de vapor por debajo de los anillos de carbón.	Suciedad debajo de los anillos.	Remover los anillos y limpiarlos.
	Flecha con muescas	La superficie de la flecha bajo los anillos de carbón debe estar perfectamente lisa para prevenir fugas. Se debe pulir la flecha si es necesario.
	Anillos gastados o rotos.	Reemplazarlos con nuevos anillos. Un anillo está constituido por 3 segmentos. Se debe reemplazar todo el anillo y no solo algún segmento.
4.- Fugas de aceite en el anillo de carbón de sello.	Tubería de escape obstruida.	Asegurar que todo el condensado salga libremente.
	Alto nivel de aceite.	Bajar el nivel hasta la marca que se indica en los medidores de aceite.
	Flecha arañada o áspera bajo el anillo de sello.	Pulir la flecha bajo el sello, e instalar un nuevo anillo de sello.
	Anillo de sello mal instalado.	Verificar que el procedimiento de instalación sea apropiado.
	Vibración de la flecha.	Consultar todas las causas debidas a vibración. Instalar nuevos anillos de ser necesario.
5.- Potencia insuficiente (La turbina no alcanza su velocidad establecida).	Demasiadas toberas cerradas.	Abrir válvulas manuales adicionales.
	Asentamiento de velocidad del gobernador muy bajo.	Checar el ajuste de velocidad y los límites de rangos de velocidad.
	Presión del vapor de entrada demasiado baja o presión de escape demasiado alta.	Checar la presión tanto a la entrada como a la salida y comparar con los valores establecidos en la placa de la turbina los cuales indican las condiciones del vapor deseadas para el diseño de la turbina
	Sobrecarga.	Determinar la carga requerida de acuerdo a especi-

ficaciones.

	<p>La válvula de estrangulación no abre completamente.</p>	<p>Cerrar la válvula de entrada principal y desconectar el acoplamiento de la válvula de estrangulación. La válvula debe moverse libremente desde la posición de completamente cerrada hasta la de completamente abierta. De no ser así desensamblar la válvula y liberar su mecanismo.</p>
	<p>La válvula del gatillo de seguridad no abre adecuadamente.</p>	<p>Asegurarse de que las palancas del gatillo de seguridad embragüen adecuadamente. Checar que la válvula piloto no tenga fugas. Remover la tapa al final del piloto, y la válvula del gatillo de seguridad. Checar en que condición se encuentra el resorte de la válvula del gatillo de seguridad.</p>
	<p>Toberas obstruidas.</p>	<p>Remover los tapones de las toberas y válvulas manuales. Iluminar con una linterna por el orificio de la tobera para descubrir alguna posible obstrucción. En caso necesario limpiar las toberas.</p>
	<p>Esfuerzos debidos al vapor.</p>	<p>Limpiar de toda materia extraña los conductos que tienen esfuerzos debido al vapor.</p>
<p>6.- Incremento excesivo de velocidad cuando disminuye la carga.</p>	<p>La válvula de estrangulación no cierra completamente.</p>	<p>Consultar: la válvula de estrangulación no abre completamente bajo potencia insuficiente descrito anteriormente.</p>
	<p>Válvula de estrangulación y su asiento cortado o gastado.</p>	<p>Remover y verificar el estado de la válvula y su asiento, si están gastados deben ser reemplazados.</p>
<p>7.- Excesiva variación de la velocidad.</p>	<p>Ajuste de la caída del gobernador.</p>	<p>Un incremento en el asentamiento de la caída interna debe reducir la variación u oscilación de velocidad.</p>
	<p>Lubricación del gobernador.</p>	<p>Bajo nivel de aceite, aceite sucio o espumoso, pueden ser la causa de una mala operación del regulador. Drenar y volver a llenar el gobernador con el</p>

aceite especificado.

Fricción en el
ensamblaje de la
válvula de
estrangulación.

Desensamblar la válvula, e inspeccionar la libertad y suavidad de movimiento de todas las partes móviles. La válvula, asiento y vástago pueden ser pulidos con un esmeril muy fino. Inspeccionar la correcta verticalidad del vástago, y la posible acumulación de materia extraña. Reemplaza los componentes que se requieran.

Fricción del
prensaestopas.

Checar que exista libertad y suavidad de movimiento de la válvula de vapor a través del montaje prensaestopas. Si el empaque se ha comprimido demasiado por el vástago, deberá ser reemplazado.

Carga ligera y alta
presión del vapor de
entrada.

En algunos casos dónde hay una gran reserva de energía disponible para la turbina y la presión del vapor a la entrada es suficientemente alta, la tendencia a variaciones de velocidad se incrementa. Intentar operar la turbina abriendo válvulas manuales adicionales.

Rápido cambio en la
carga.

Los cambios bruscos de carga pueden algunas veces provocar oscilaciones en el gobernador.

8.- Arranque atrasado.

General.

Consultar todas las causas debido a potencia insuficiente.

Torque de arranque
demasiado alto.

Checar que todos los interruptores de carga estén en la posición de apagado.

9.- El gobernador no está operando.	Movimientos restringidos de la válvula de estrangulación.	Consultar: La válvula de estrangulación no abre completamente bajo potencia insuficiente.
	El gobernador no opera en el arranque.	Si en el arranque la velocidad se incrementa continuamente y el gobernador no cierra la válvula de estrangulación, la bomba del gobernador puede estar instalada en una posición de rotación equivocada. Verificar también que el rango correcto de velocidad del gobernador se esta respetando por parte de la turbina. Si la rotación de la bomba parece ser la causa del problema, remover el gobernador. Reemplazarlo con un gobernador con una adecuada rotación.
10.- Fugas de aceite en el gobernador.	General.	Puede ser que apretando la junta o empaque de la cubierta, el tapón de drene o el respiradero de aceite se detenga la fuga. Pero si el problema son los sellos de la flecha terminal o el sello de la flecha conductora, se debe reemplazar el gobernador.
	Vibración en el ensamble conductor.	La vibración en la flecha de la turbina o en el acoplamiento conductor del gobernador puede inducir fugas en el sello de la flecha conductora del gobernador. Consultar todas las causas bajo excesiva vibración o ruido. Inspeccionar y de ser necesario apretar el acoplamiento.
11.- El gatillo de seguridad se dispara con cambios de carga.	El gatillo de seguridad cierra cuando la turbina opera a velocidad normal.	El gatillo de seguridad deberá ser ajustado para un exceso de velocidad del 25% por arriba de la velocidad normal de operación.
	General.	Consultar todas las causas bajo incremento excesivo de velocidad cuando disminuye la carga.
	Carga ligera y alta presión del vapor de	Consultar: Carga ligera y alta presión del vapor de entrada bajo variación excesiva de velocidad.

9.- El gobernador no está operando.

Movimientos restringidos de la válvula de estrangulación.

Consultar: La válvula de estrangulación no abre completamente bajo potencia insuficiente.

El gobernador no opera en el arranque.

Si en el arranque la velocidad se incrementa continuamente y el gobernador no cierra la válvula de estrangulación, la bomba del gobernador puede estar instalada en una posición de rotación equivocada. Verificar también que el rango correcto de velocidad del gobernador se esta respetando por parte de la turbina. Si la rotación de la bomba parece ser la causa del problema, remover el gobernador. Reemplazarlo con un gobernador con una adecuada rotación.

10.- Fugas de aceite en el gobernador.

General.

Puede ser que apretando la junta o empaque de la cubierta, el tapón de drene o el respiradero de aceite se detenga la fuga. Pero si el problema son los sellos de la flecha terminal o el sello de la flecha conductora, se debe reemplazar el gobernador.

Vibración en el ensamble conductor.

La vibración en la flecha de la turbina o en el acoplamiento conductor del gobernador puede inducir fugas en el sello de la flecha conductora del gobernador. Consultar todas las causas bajo excesiva vibración o ruido. Inspeccionar y de ser necesario apretar el acoplamiento.

11.- El gatillo de seguridad se dispara con cambios de carga.

El gatillo de seguridad cierra cuando la turbina opera a velocidad normal.

El gatillo de seguridad deberá ser ajustado para un exceso de velocidad del 25% por arriba de la velocidad normal de operación.

General.

Consultar todas las causas bajo incremento excesivo de velocidad cuando disminuye la carga.

Carga ligera y alta presión del vapor de

Consultar: Carga ligera y alta presión del vapor de entrada bajo variación excesiva de velocidad.

entrada.

12.- El gatillo de seguridad se dispara a velocidad normal.

Fugas en la válvula piloto.

Verificar alguna posible fuga de vapor en la válvula piloto. Asegurarse de que la válvula piloto asiente correctamente y que el hueco entre esta y la palanca horizontal sea el adecuado. Reemplazar la válvula piloto y el cuerpo de válvula ~~de~~ ser necesario.

Bordes de contacto desgastados entre las palancas horizontal y vertical del gatillo de seguridad.

Reemplazar las palancas desgastadas.

Excesiva vibración.

Consultar vibración.

Válvula del gatillo de seguridad sucia.

Suciedad o incrustaciones alrededor del resorte al final de la tapa de la válvula del gatillo de seguridad puede bloquear el espacio entre la válvula y su resorte.

13.- El gatillo de seguridad no se dispara en una sobrevelocidad.

El resorte de la válvula está demasiado apretado.

Colocar los tornillos con el apriete que se requiera. Un resorte diferente puede ser requerido.

La válvula del gatillo de seguridad es incapaz de cerrar.

Remover la válvula del gatillo de seguridad y limpiarla completamente.

Ensamble del collar atascado.

Limpiar el ensamble del collar para asegurar que los contrapesos se mueven libremente.

Palanca horizontal desgastada.

Si la palanca horizontal ha sido desgastada debido al peso giratorio, deberá ser reemplazada.

IV.3.2. Problemas que se pueden presentar en el generador c.d. y sus posibles causa.

SÍNTOMA	POSIBLE CAUSA
Sobrecalentamiento de los cojinetes.	<ol style="list-style-type: none">1 - Grasa excesiva en el cojinete.2.- Basura en el cojinete.3.- Tolerancia de ajuste del cojinete demasiado pequeña.4.- Mala lubricación.5.- Grasa incorrecta.6.- Mala alineación.
Golpeo de cojinetes.	<ol style="list-style-type: none">1 - Basura en los cojinetes.2.- Tolerancia de ajuste del cojinete muy grande.3.- Superficie defectuosa del cojinete.4.- Cojinete desajustado o inclinado.
Cojinete ruidoso.	<ol style="list-style-type: none">1 - Tolerancia de ajuste muy cerrada.
Cojinetes que se desgastan muy rápido.	<ol style="list-style-type: none">1.- Basura en el cojinete.2.- Superficie defectuosa del cojinete.3.- Cojinete desajustado o inclinado.4.- Mala lubricación.5.- Mala alineación.

PROBLEMAS ELÉCTRICOS:

No da energía el conmutador.	<ol style="list-style-type: none">1 - Las escobillas están haciendo mal contacto.2.- Suministro de energía interrumpido.3.- Falla en suministro de campo.
El generador solo funciona al comienzo.	<ol style="list-style-type: none">1 - Corto circuito en el devanado de la armadura.2.- Falla en el circuito del campo.
El generador gira demasiado rápido o demasiado lento.	<ol style="list-style-type: none">1 - Las escobillas están mal colocadas.2.- Falla en el suministro de campo.3.- Corto circuito en el devanado de campo.

Sobrecalentamiento del generador.

- 1.- Sobrecarga.
- 2.- Ventilación obstruida.
- 3.- Corto circuito en el devanado de campo.

Chisporroteo.

- 1.- Sobrecarga.
- 2.- Escobillas rotas o que se adhieren demasiado.
- 3.- Las escobillas están mal colocadas.
- 4.- Suciedad o corrosión en el conmutador.
- 5.- Superficie del conmutador contaminada con aceite u otros factores ambientales.
- 6.- Pérdida de tensión en el resorte de la escobilla.
- 7.- Corto circuito en el devanado de la armadura.
- 8.- Corto circuito en el devanado de campo.

Chisporroteo y operación ruidosa de las escobillas en el conmutador.

- 1.- Corto circuito en los segmentos adyacentes al conmutador.
- 2.- Conmutador flojo.

Chisporroteo, superficie áspera del conmutador, líneas finas en la trayectoria de las líneas.

- 1.- Bajo promedio de densidad de corriente en las escobillas debido a que el generador tiene una carga ligera.
- 2.- Conmutador contaminado por aceite, u otros factores ambientales.
- 3.- Baja humedad.
- 4.- Escobillas demasiado abrasivas.
- 5.- El conmutador está funcionando a una temperatura muy baja.
- 6.- Pérdida de tensión en el resorte de las escobillas.

Rápido desgaste del conmutador y escobillas.

- 1.- Material abrasivo bajo las escobillas.
- 2.- Escobillas demasiado abrasivas.
- 3.- Bajo promedio de densidad de corriente en las escobillas debido a que el generador tiene una carga ligera.

Ennegrecimiento del conmutador en ciertos puntos.

- 1.- Segmentos del conmutador en corto circuito.
- 2.- Vibración mecánica.

IV.4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

GENERAL.

Como regla general el equipo se deberá conservar en condiciones de perfecto estado de limpieza y lubricación en una habitación seca y despejada.

IV.4.1. Mantenimiento de la Turbina.

La siguiente rutina de inspección y servicio esta basada en una aplicación industrial y varían de acuerdo a las condiciones que prevalezcan en un laboratorio.

IV.4.1.1. Mantenimiento diario. Supervisar el nivel de aceite en la turbina de vapor y en su mecanismo regulador de velocidad de acuerdo a las marcas calibradas que indican el nivel correcto, agregue aceite si es necesario.

Para la lubricación de la turbina se debe usar aceite de excelente calidad y con una viscosidad aproximada de 300 SSU para operar a una temperatura de 38° C. Se debe agregar el aceite a través de las entradas para lubricante hasta observar que llegue a la marca calibrada, un bajo nivel de aceite puede causar mala lubricación y un alto nivel de sobrecalentamiento.

El regulador o gobernador requiere aproximadamente 2 litros de aceite para el funcionamiento de su sistema hidromecánico, este aceite debe tener un mínimo de viscosidad de 100 SSU y operar a 65° C.

IV.4.1.2. Mantenimiento semanal. Se deberá supervisar que el gatillo de seguridad este operando apropiadamente. Para ello deberá empujar hacia abajo la palanca horizontal (S-46) con la cual se abre la válvula piloto (S-63B), esto deberá cerrar la válvula (S-2) cortando el suministro de vapor, entonces la turbina bajará su velocidad lentamente hasta un nivel muy bajo de velocidad de operación normal. Este proceso es automático cuando la turbina excede su velocidad normal en aproximadamente un 25%.

Para recolocar la palanca horizontal se deberá empujar la palanca vertical (S-48) sobre el extremo final de la palanca horizontal hasta que queden embragadas.

IV.4.1.3. *Mantenimiento mensual.*

a) En condiciones de uso normal es recomendable que el aceite en los cojinetes sea cambiado cada mes, a menos que debido a severas condiciones de operación se requiera de cambios más frecuentes.

b) Es importante asegurar que el gobernador y la válvula de estrangulación estén en buenas condiciones de trabajo todo el tiempo.

Por lo menos una vez al mes, la operación de estos componentes deberá ser supervisada disparando manualmente el gatillo de seguridad como se describió anteriormente, o estrangulando el suministro de vapor a la turbina. Cuando la turbina empiece a disminuir su velocidad el gobernador deberá activar inmediatamente la válvula de estrangulación hacia una posición de apertura. Esto indicará que el gobernador está respondiendo adecuadamente, y que la válvula de estrangulación es capaz de moverse libremente a través de su alojamiento.

Todas las partes móviles de la válvula de estrangulación son resistentes a la corrosión y deberán operar suavemente bajo condiciones normales de operación sin ninguna atención especial. Los rodamientos esféricos de los extremos son lubricados con grasa y deben funcionar adecuadamente sin algún lubricante adicional requerido.

c) Las válvulas centinelas se deben checar mensualmente. Esto puede hacerse cerrando parcialmente una válvula en la línea de salida del vapor con lo cual debe incrementarse la presión en la carcasa haciendo funcionar la válvula centinela. Esta presión no debe exceder a la indicada en la placa de la válvula.

IV.4.1.4. *Mantenimiento anual.* El gobernador está virtualmente libre de mantenimiento siempre y cuando tenga aceite su sistema hidromecánico, ya que este se encarga de lubricar todas las partes móviles. Para asegurar, una larga vida sin problemas al gobernador, el aceite debe ser cambiado cada año. Este cambio se hace abriendo el tapón (336), para drenar el aceite usado, luego se debe llenar con un aceite ligero, limpio y claro, drenar este y agregar el aceite requerido.

IV.4.2. *Mantenimiento del Generador de CD Scott.*

¡PRECAUCIÓN!

Las partes internas del generador c.d. pueden estar energizadas aún cuando no esté girando. Antes de intentar algún mantenimiento que conlleve a tener contacto con partes internas, se debe estar seguro de desconectar toda potencia del generador.

GENERAL.

Checar que todas las tuercas, pernos y aseguradores estén bien apretados, que toda cubierta y protección sean seguras, y que todas las conexiones eléctricas estén firmes y aisladas.

IV.4.2.1. Limpieza habitual.

Mantener el interior y exterior del generador limpio y seco. El interior debe conservarse libre de polvo, basura, corrosión, aceite y humedad. Se debe tener cuidado de que las rejillas de ventilación estén siempre limpias y despejadas.

Para limpiar el interior del generador es preferible utilizar una aspiradora que un soplador, debido a que el soplador puede arrastrar e introducir basura entre el devanado.

a) Mecanismo de la escobilla.- Se debe checar periódicamente que las escobillas se muevan libremente en sus soportes y que no estén desgastadas y que conserven sus dimensiones especificadas, Reemplazar las escobillas rotas.

Toda acumulación de polvo de carbón o basura alrededor de el mecanismo de la escobilla debe ser removido.

Checar que todos los aislamientos y otras conexiones eléctricas sean seguras. Observar que los aislamientos no estorben el libre movimiento de las escobillas en sus soportes.

Cuando sea necesario un cambio de escobillas, las nuevas deben ser de la misma calidad que las originales.

Las escobillas nuevas se deben agregar al conmutador aplicando una aplicación normal al resorte y pasando una tira de papel de lija hacia atrás y hacia adelante del conmutador. La áspera cara del papel de lija colocará en su lugar a la escobilla.

Después de colocarlas, asegurarse de aspirar toda partícula de carbón. Mantenga limpias las escobillas y sus soportes.

b) Conmutador.- Mantener el conmutador limpio.

Bajo condiciones adecuadas el conmutador desarrollará una saludable película de color marrón.

Para limpiar el conmutador se debe usar una pieza de lona o alguna tela sin pelusa.

No use solventes, lubricantes, o abrasivos para limpiar el conmutador, a menos que existan condiciones anormales.

Checar que no existan desgastes en las aristas o bordes del conmutador. Si existe un desgaste mínimo se puede usar un esmeril para restaurar la superficie del conmutador, pero si el desgaste es de un grado mayor se deberá torneear para mantener la concéntrica removiendo el mínimo de material.

Después de torneear, limpiar entre cada rejilla toda partícula de cobre.

Girar el conmutador y pulirlo con una lija muy fina removiendo todo el polvo.

Eludir toda clase de silicones, grasas o aceites para limpiar el conmutador ya que esto pueden desgastar las escobillas e inhibir la formación de la capa saludable del conmutador.

IV.4.2.2. Lubricación.

La lubricación se puede hacer en periodos desde 6 meses hasta 5 años dependiendo de las condiciones del lugar, tiempo de operación y de la temperatura ambiente. Como regla general si el equipo trabaja 8 horas al día se deberá reengrasar cada 2 años; trabajando las 24 horas del día se deberá engrasar cada año. Sin embargo, cuando el generador esta sujeto a altas temperaturas ambientales y/o severas condiciones de servicio se recomienda una lubricación más frecuente, por ejemplo cada 6 meses.

Cuando agreguemos o renovemos la grasa, se debe estar seguro de utilizar grasa Shell Alvania 3 o su equivalente en calidad a base de litio.

La grasa de alto punto de fusión deberá usarse solamente en circunstancias excepcionales como por ejemplo cuando la grasa se endurece y no le da una adecuada lubricación a la temperatura ambiente del lugar.

No se debe engrasar de manera excesiva porque provocaría batimiento, altas temperaturas y el consiguiente fracaso de lubricante. Como una referencia para la cantidad de grasa requerida, se deberá llenar completamente la mitad del cárter en su parte inferior y medio llenar la otra mitad superior.

Bajo ninguna circunstancia se debe mezclar diferentes tipos de grasa en el cárter.

IV.4.3. Mantenimiento de la bomba de vacío.

IV.4.3.1. Sello mecánico.- Estos no requieren mantenimiento.

IV.4.3.2. Caja del prensaestopas.- Tras el rodaje, la bomba requiere de un mínimo de mantenimiento después de su operación. Los únicos puntos que se consideran son los siguientes:

El diseño correcto de la caja del prensaestopas y la adecuada instalación del empaquetado con ajuste de apriete, casquillo de sello a prueba de fugas. Ver figura IV.2.

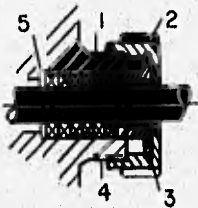


Figura IV.2.

- 1.- Cubierta de la caja del prensaestopas.
- 2.- Tuerca del casquillo de la caja del prensaestopas.
- 3.- Espaciador de la caja del prensaestopas.
- 4.- Anillos del empaquetado de la caja del prensaestopas.
- 5.- Anillo del casquillo.

Después de un periodo considerable de operación la tuerca del casquillo debe ser apretada frecuentemente para comprimir el empaquetado de la caja (4) hasta que el espaciador del casquillo (3) tope con la cubierta (1) cuando esto ocurra la caja del prensaestopas debe ser rellena. Para ello la tuerca del casquillo debe ser aflojada y tanto la tuerca como el espaciador deben ser retrocedidos hasta que se tenga el espacio necesario para colocar los nuevos anillo del empaquetado.

Cuando el empaquetado usado sea blando, el anillo suministrado deberá ser cortado en diagonal y abierto desde los extremos formando una hélice para de esta manera deslizarlo sobre la flecha. Después de esto el anillo deberá ser doblado hacia atrás a su forma original, la tuerca de la caja del prensaestopas apretada. Ahora la bomba puede entrar en operación. Cuando este en su posición, el empaquetado deberá comprimirse vigorosamente por medio de una llave en la tuerca del casquillo para asegurar que el nuevo anillo se expanda y llene completamente el espacio entre la flecha y el interior de la caja del prensaestopas.

Cuando use una llave para apretar la tuerca del casquillo, la conexión o acoplamiento debe ser girado únicamente por la mano hasta sentir una ligera resistencia. La tuerca del casquillo deberá ser liberada y atornillada nuevamente con la mano.

Si la adición de anillos no es suficiente para suministrar un apriete completo a la caja del prensaestopas, entonces los anillo de la empaquetadura están desgastados y deberán ser reemplazados por otros nuevos.

Antes de reempaquetar la caja del prensaestopas es necesario asegurarse de que el empaquetado gastado a sido removido en su totalidad y que el espacio en la caja del prensaestopas esta completamente limpio. Solo hasta entonces coloque los anillos nuevos que forman el empaquetado. Debido a que tanto el soporte del cojinete de bolas y el cojinete son usualmente removidos cuando se reempaqueta la bomba, se recomienda presionar los anillos del empaquetado sobre la flecha tanto como sea posible para evitar interferencia.

Si se usan anillos divididos o partidos, debe tenerse mucho cuidado de que se unan perfectamente.

IV.4.3.3. Los cojinetes de bolas deben ser lubricados con grasa libre de ácido, la cual debe ser renovada después de 3000 a 5000 horas de trabajo.

La grasa recomendada es:

Shell Alvania 3.

Esso Beacon 2.

BP Enegrease L.S. 2.

IV.4.3.4. Otros puntos de importancia.

a) El depósito de agua de servicio deberá ser limpiado de vez en cuando de impurezas tales como óxido, suciedad, etc., así como también el arreglo de tubería de este depósito o contenedor.

b) La bomba al igual que el contenedor deberá drenarse cuando haya peligro de sedimentaciones.

c) Si la bomba está operando con agua demasiado dura, el líquido de servicio deberá ser tratado o alternativamente la bomba deberá ser abierta cada 6 meses para remover los minerales incrustados.

d) El desagüe de la bomba es necesario después de la operación, para esto se deberán abrir los drenes que se localizan debajo de la bomba.

IV.4.4. Mantenimiento de la bomba de retorno de condensados Ryvin.

Los únicos puntos que requieren atención son:

IV.4.4.1. *Lubricación del cojinete de bolas del motor eléctrico.*

El motor fue entregado por la fábrica con el cárter del cojinete correctamente lleno de grasa. Bajo condiciones normales de operación, esto será suficiente para por lo menos 2 años. La tolerancia de ajuste anular entre la flecha y cubierta de cojinete es lo suficientemente cerrada, asegurando así que no salga la grasa del cárter del cojinete y que no entre polvo ni suciedad. Cuando una pequeña parte de la grasa funde por alguna razón, se tendrá pequeñas fugas pero, no representará ningún problema si se prevé antes llenando con la cantidad correcta de grasa recomendada. La lubricación de los cojinetes se recomienda realizarla cuando el motor es desmontado para su limpieza e inspección periódica.

Los motores están provistos de un ventilador al final de la flecha de transmisión, el tapón de la grasa está localizado en el extremo del bastidor del motor en la unión entre el ventilador enfriador y el comienzo del bastidor.

La grasa recomendada es Energrease L.S.3. Tiene un punto de fusión alto y conserva sus propiedades lubricantes a elevados rangos de temperatura. Se puede usar algún otro tipo de grasa

a base de litio y de buena consistencia pero, se debe limpiar perfectamente la grasa usada ya que una mezcla de grasas no dará buenos resultados.

Nunca se debe permitir que los cojinetes giren en seco, por otra parte, se debe evitar sobrellenar el cárter del cojinete ya que puede provocar sobrecalentamiento y fugas debido a la fisión de la grasa.

IV.4.4.2. Desairear el área del obturador mecánico, en orden para asegurar que no hay ni aire ni gas atrapado en esta área lo cual puede resultar en una rotación en seco de las caras del obturador mecánico. Existe un tornillo de desaire en el taburete aislador del motor en cada bomba y la desaireación debe ser efectuada periódicamente hasta que se tenga la certeza de que aire ni gas pueda ser formado en las cavidades.

CONCLUSIONES

En la actualidad las turbinas de vapor constituyen el órgano principal de una planta termoeléctrica. Debido a que las grandes conversiones del calor en energía mecánica se efectúan en este tipo de máquina, además la versatilidad de los generadores de vapor (conocidas todavía más como calderas) para trabajar con diferentes tipos de combustibles constituye la ventaja principal para generar electricidad mediante las turbinas de vapor.

Todas estas prácticas propuestas son en el aspecto didáctico un complemento de gran utilidad para las materias: Turbomaquinaria, Laboratorio de máquinas térmicas, Plantas termoeléctricas, Termodinámica aplicada, Transferencia de calor y Máquinas eléctricas. Las cuales se hacen mucho más interesantes cuando se puede llevar a cabo experimentos con equipo similar al que se utiliza a nivel industria y que funciona con los mismos principios de operación.

Los dos primeros capítulos han sido redactados de una manera clara y sencilla para que en un momento dado puedan ser empleados por el profesor como una introducción a las prácticas.

Se hace énfasis en los aspectos de seguridad básicos que se deben tener presentes al utilizar el equipo para fomentar en el alumno la importancia de la seguridad en el trabajo desde su formación académica.

Las prácticas tienen los fundamentos teóricos y cálculos matemáticos que permiten evaluar los intercambios de energía que existen en el equipo los cuales se evalúan de manera similar a los de equipos de grandes centrales termoeléctricas.

El alumno al realizar estas prácticas conocerá la importancia del mantenimiento y podrá ver la diferencia entre mantenimiento preventivo y correctivo, en tanto que el primero permite conservar en buen estado de operación el equipo, mientras que el segundo se realiza cuando el equipo ha dejado de operar satisfactoriamente y además esto ayudará para adentrarlo a lo que enfrentará en su vida profesional.

Este trabajo de tesis ha sido planeado y propuesto con la finalidad de servir como material didáctico y de apoyo para la realización de experimentos mediante la turbina de vapor y sacarle el mayor provecho posible al equipo, que como hemos visto es un tipo de máquina de gran versatilidad.

Las prácticas tienen la finalidad de reforzar los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera, lo cual le permitirá al alumno tener una mayor preparación académica y de esta manera preparar profesionistas de mejor calidad, que es la tendencia que se debe tener como meta en todas las instituciones de Educación.

BIBLIOGRAFÍA:

- TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS. Claudio Malaix.
EDITORIAL DOSSAT.
- TURBOMÁQUINAS DE FLUIDO COMPRESIBLE. Polo Encinas.
EDITORIAL LIMUSA.
- TERMOFLUIDOS, TURBOMÁQUINAS Y MÁQUINAS TÉRMICAS. F.M. Golden, L. Balres, G. Terrones.
EDITORIAL CECSA.
- INGENIERÍA TERMODINÁMICA. M. David Burghardt.
EDITORIAL HARLA.
- CENTRALES ELÉCTRICAS. E. Santos Patess.
EDITORIAL GUSTAVO GILI.
- COGENERACIÓN. (CONSERVACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA C.A.E.).
PEMEX.
- ENERGÍA MEDIANTE VAPOR, AIRE O GAS. W.H. Severns.
EDITORIAL REVERTE S.A.
- MANUAL DE LA TURBINA DE VAPOR COPFUS.
- MÁQUINAS MOTRICES GENERADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA. D. José Ramirez Vázquez.
EDICIONES CEAC.
- PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. Donald Q. Kern.
CIA. EDITORIAL Mc. GRAW HILL.
- PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE INGENIERO MECÁNICO-ELECTRICISTA. 1992.
E.N.E.P. ARAGÓN. DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES. JEFATURA DE CARRERA DE I.M.E.
- ENCICLOPEDIA DE TÉRMINOS CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS.
PLANETA AGOSTINI.
- ENCICLOPEDIA DE LA CIENCIA Y DE LA TÉCNICA DANAE.
- DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO DE TÉRMINOS TÉCNICOS. INGLÉS-ESPAÑOL. J. L. Collazo.
Mc GRAW-HILL.
- LA PRODUCTIVIDAD EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. E. DOUNCE V. Y J.F. DOUNCE P.
EDITORIAL CECSA.