

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERIA

ELABORACION DE UN SOFTWARE DE ENTRENAMIENTO TERMODINAMICO PARA LA CENTRAL TERMICA DE ESMERALDAS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO

**RAUL ERNESTO CASTILLO LORA
JUAN JOSE PICO MANTILLA**

DIRECTOR: Miguel Ortega López Msc.

Quito, febrero 2007

DECLARACION

Nosotros, Raúl Ernesto Castillo Lora y Juan José Pico Mantilla, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Raúl Ernesto Castillo Lora

Juan José Pico Mantilla

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Raúl Ernesto Castillo Lora y Juan José Pico Mantilla, bajo mi supervisión.

Miguel Ortega López

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi Familia por ser parte fundamental de este logro ya que son la esencia y la razón fundamental de todo.

A mis amigos tanto estudiantes como ingenieros, ya que por su compañía, adecuados consejos y amistad han hecho de la universidad un segundo hogar.

A todas las personas que directa o indirectamente ayudaron a que este proyecto se pueda realizar.

Raúl

Al Ingeniero Miguel Ortega, quien además de ser un excelente profesional es un gran ser humano.

A Raúl, por su gran espíritu cooperativo y don de gente.

Al Ingeniero Vicente Bravo por su colaboración.

A Laura Paredes, quien me brindó el apoyo para sacar adelante el proyecto y quien ha sido una gran jefa.

A Gloria Castellanos, quien es el símbolo de cooperación y buena voluntad de esta carrera.

Juan

DEDICATORIA

A mi Familia por que en cada uno de sus miembros encontré un ejemplo de vida.

Raúl

A mi padre, mi mejor ejemplo de trabajo; a mi madre quien ha fortalecido mi carácter; a mis tíos, Octavio y Gilma, quienes me apoyaron cuando nadie más podía hacerlo; a Mariana, por su amor.

Juan

CONTENIDO

DECLARACION	II
CERTIFICACION	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN	XIV
PRESENTACION.....	XV
CAPITULO 1	1
FUNDAMENTO TEORICO.....	1
1.1 PROCESOS DEL CICLO RANKINE EN EL DIAGRAMA T-S.....	1
1.1.1 BOMBA	2
1.1.2 GENERADOR DE VAPOR.....	2
1.1.3 TURBINA	4
1.1.4 CONDENSADOR.....	4
1.1.5 INTERCAMBIADORES DE SUPERFICIE.....	5
1.1.6 DESAERADOR.....	6
1.2 DESCRIPCION DEL CICLO RANKINE	7
1.2.1 CICLO RANKINE SIMPLE	7
1.2.2 CICLO RANKINE CON RECALENTAMIENTO	9
1.2.3 CICLO RANKINE CON RECALENTAMIENTO Y REGENERACION.....	10
1.3 CENTRAL TERMOELECTRICA ESMERALDAS.....	12
1.3.1 DESCRIPCION DEL CICLO RANKINE.....	12
1.3.2 SISTEMA DE COMBUSTIBLES.....	15
1.3.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	16
1.4 ANALISIS DE LA EFICIENCIA DE LA CTE.....	17
1.4.1 ANALISIS DE DATOS INICIALES.....	17
1.4.2 ANALISIS DE LAS ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA.....	19
1.4.2.1 Balances de masa y energía	19
1.4.2.1.1 Intercambiador de calor de superficie LR-6.....	20
1.4.2.1.2 Intercambiador de calor de superficie LR-5.....	21

1.4.2.1.3 Intercambiador de calor por contacto directo LU1	22
1.4.2.1.4 Intercambiador de calor de superficie LR-3.....	23
1.4.2.1.5 Intercambiador de calor de superficie LR-2.....	24
1.4.2.1.6 Condensador.....	25
1.4.2.1.7 Intercambiador de calor de superficie LR-1.....	26
1.4.2.2 Ecuaciones para determinar la eficiencia térmica del ciclo Rankine de la CTE.....	27
1.4.2.3 Ecuaciones para determinar la eficiencia de planta de la CTE	28
CAPITULO 2	29
HERRAMIENTAS DE PROGRAMACION	29
2.1 HERRAMIENTAS MATEMATICAS.....	29
2.1.1 ECUACIONES EMPÍRICAS PARA EL CÁLCULO DE PROPIEDADES	29
2.1.1.1 ECUACIONES PARA LA REGION UNO	32
2.1.1.2 ECUACIONES PARA LA REGION DOS.....	34
2.1.1.3 ECUACIONES PARA LA REGION TRES.....	35
2.1.1.4 ECUACIONES PARA LA REGION CUATRO	37
2.1.1.5 ECUACIONES PARA LAS CURVAS LÍMITE DE LAS DIFERENTES REGIONES	38
2.2 ESTRATEGIAS DE PROGRAMACION	39
2.2.1 RECONOCIMIENTO DEL COLOR	39
2.2.2 ELABORACION DE PLANTILLAS PARA LA LECTURA DE DATOS.....	40
2.2.2.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA PARA ELABORAR PLANTILLAS DEL DIAGRAMA T-S	42
2.2.3 ANIMACIONES	42
2.2.3.1 ANIMACIONES CON CAMBIO DE IMAGEN	43
2.2.3.2 ANIMACIONES SECUENCIALES.....	43
2.2.4 TABLAS DE ACCESO A FORMULARIOS.....	44
2.2.5 VARIACION DE PARAMETROS MEDIANTE SCROLLBAR	44
2.2.6 GRAFICOS DE BARRAS.....	45
2.2.7 TABLAS RELACIONADAS CON GRAFICOS.....	46

2.2.8 CONEXIÓN CON OTROS PROGRAMAS	47
CAPITULO 3	48
ESTRUCTURA GENERAL DEL SOFTWARE	48
3.1 ESTRUCTURA BASICA	48
3.1.1 VENTANA DE INICIO	49
3.1.2 VENTANA MENU PRINCIPAL.....	50
3.1.3 VENTANA MENU DE INGRESO	51
3.1.4 VENTANA DE INFORMACION.....	53
3.1.5 VENTANAS DE ANALISIS DE LA EFICIENCIA	55
3.1.5.1 ESTRUCTURA PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA.....	56
3.1.5.2 VENTANA DIAGRAMA T-S.....	56
3.1.5.3 VENTANA DIAGRAMA T-S MODIFICABLE	58
3.1.5.4 VENTANA DATOS.....	60
3.1.5.5 VENTANA DE EVALUACION	61
CAPITULO 4	63
APLICACIONES DEL PROGRAMA	63
4.1 ESTUDIO TERMODINÁMICO DEL CICLO RANKINE	63
4.1.1 DIAGRAMA T-S	63
4.1.2 COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DE LOS EQUIPOS DEL CICLO RANKINE	64
4.1.3 CICLO RANKINE	64
4.2 ESTUDIO DEL CICLO DE LA CTE.....	64
4.2.1 GRÁFICA T-S	64
4.2.2 DIAGRAMA T-S MODIFICABLE	65
4.2.3 DATOS.....	65
4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS QUE COMPONEN LA CTE	66
CAPITULO 5	68
ANALISIS DE RESULTADOS	68
5.1 ANALISIS DE ERRORES PRODUCTO DE LAS ECUACIONES EMPLEADAS PARA EL CALCULO DE PROPIEDADES	68

5.1.1 LIQUIDO COMPRIMIDO	69
5.1.2 VAPOR SOBRECALENTADO	70
5.1.3 REGION DE SATURACION.....	71
5.1.3.1 Presión de saturación.....	71
5.1.3.2 Vapor Saturado	72
5.1.3.3 Líquido Saturado	72
5.1.4 PROXIMIDADES DEL PUNTO CRITICO.....	72
5.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE LA CTE	73
5.2.1 ANALISIS DE LA EFICIENCIA, MODIFICANDO LAS CONDICIONES REALES DE FUNCIONAMIENTO	73
5.2.1.1 Análisis de la Regeneración	74
CAPITULO 6	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
6.1 CONCLUSIONES	75
6.2 RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
ANEXOS	81

CONTENIDO DE FIGURAS

Fig. 1. 1.-Representación del proceso efectuado por la bomba en un diagrama T-S.....	2
Fig. 1. 2.- Representación del proceso efectuado por la caldera en un diagrama T-S.....	3
Fig. 1. 3.- Representación del proceso efectuado por la turbina en un diagrama T-S.....	4
Fig. 1. 4.- Representación del proceso efectuado por el condensador en un diagrama T-S.....	5
Fig. 1. 5.- Representación del proceso efectuado por un intercambiador de superficie en un diagrama T-S	6
Fig. 1. 6.- Representación del proceso efectuado por el desaireador en un diagrama T-S.....	7
Fig. 1. 7.- Diagrama T-S de un ciclo Rankine simple	8
Fig. 1. 8.- Esquema de los equipos de un ciclo Rankine simple.....	8
Fig. 1. 9.- Diagrama T-S de un ciclo Rankine con recalentamiento.....	9
Fig. 1. 10.- Esquema de los equipos de un ciclo Rankine con recalentamiento.....	10
Fig. 1. 11.- Diagrama T-S, Ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración	11
Fig. 1. 12.- Esquema de los equipos de un ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración	11
Fig. 1. 13.- Procesos del ciclo Rankine real de la CTE omitiendo la zona de líquido subenfriado	12
Fig. 1. 14.- Diagrama T-S, ampliación de zona de líquido subenfriado	13
Fig. 1. 15.- Diagrama de la ubicación de los equipos en la CTE	14
Fig. 1. 16.- Esquema de los equipos del sistema de combustión.....	16
Fig. 1. 17.- Intercambiador de calor de superficie LR-6, analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía.....	20

Fig. 1. 18.- Intercambiador de calor de superficie LR-5, analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía.....	21
Fig. 1. 19.- Intercambiador de calor por contacto directo LU1, analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía.....	22
Fig. 1. 20.- Intercambiador de calor de superficie LR-3, analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía.....	23
Fig. 1. 21.- Intercambiador de calor de superficie LR-3 analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía.....	24
Fig. 1. 22.- Condensador (Intercambiador de calor de superficie), analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía.....	25
Fig. 1. 23.- Intercambiador de calor de superficie LR-1, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía	26
Fig. 2. 1.- Regiones y curvas límite para el comportamiento del agua en un diagrama T-S	30
Fig. 2. 2.- Regiones y curvas límite para el comportamiento del agua en un diagrama P-T	31
Fig. 2. 3.- Diagrama T-S en el cual se encuentra codificado en el color los valores de presión	40
Fig. 2. 4.- Diagrama T-S en el cual se encuentra codificado en el color los valores de entalpía	41
Fig. 2. 5.- El gráfico representa una de las imágenes utilizadas para la simulación de un intercambiador de calor de superficie	43
Fig. 2. 6.- Acceso a un formulario de análisis de la eficiencia mediante un botón de comando y mediante una tabla de acceso	44
Fig. 2. 7.- ScrollBar utilizado para la variación de un parámetro en el cálculo de la eficiencia.....	45
Fig. 2. 8.- Gráfico de barras utilizado para la comparación de valores de eficiencia	45

Fig. 2. 9.- Ventana Esquema Tecnológico de la CTE.....	46
Fig. 3. 1.- Esquema de la estructura básica del programa	48
Fig. 3. 2.- Ventana de Inicio.....	50
Fig. 3. 3.- Ventana Menú Principal	51
Fig. 3. 4.- Esquema de un tipo de ventana de ingreso a la parte teórica (a)	52
Fig. 3. 5.- Esquema de un tipo de ventana de ingreso a la parte teórica (b)	53
Fig. 3. 6.- Esquema de una Ventana de Información para descripción teórica	54
Fig. 3. 7.- Esquema de una Ventana de Información para simulaciones	55
Fig. 3. 8.- Ventana Diagrama T-S.....	57
Fig. 3. 9.- Ventana Diagrama T-S Modificable.....	59
Fig. 3. 10.- Ventana Datos.....	60
Fig. 3. 11.- Ventana Evaluación	61
Fig. 4. 1.- Estructura de los accesos a nuevas pantallas a partir de Equipos de una central Termoeléctrica.....	67

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. 1.- Descripción de los diferentes procesos del ciclo Rankine de la CTE.	14
Tabla 1. 2.- Ubicación de los puntos de referencia del ciclo Rankine de la CTE en los que existe información proporcionada para el cálculo de la eficiencia	17
Tabla 1. 3.- Parámetros adicionales para el cálculo de la eficiencia	18
Tabla 2. 1.- Descripción de las regiones de comportamiento y curvas límite del agua	31
Tabla 2. 2.- Valores de los términos $n(\mu)$ y $l(\mu)$ así como de los exponentes $z(\mu, \nu)$ y $x(\mu, \nu)$	35

RESUMEN

El presente proyecto es la creación de un software educativo, el mismo que describe el funcionamiento de los equipos de una central termoeléctrica, a partir de información proporcionada por la Central térmica Esmeraldas. El objetivo principal de este proyecto es el de servir como material de capacitación para el personal de cualquier central termoeléctrica a vapor y de proporcionar material didáctico a los estudiantes de ingeniería. Para lo cual, se hace uso de herramientas audiovisuales que mejoran la comprensión y disminuyen el tiempo de aprendizaje. El proyecto incluye el funcionamiento de los equipos y procesos la CTE, la introducción al ciclo Rankine, el análisis de la eficiencia de la CTE y la evaluación de los conocimientos adquiridos a través del programa. Para la descripción del ciclo Rankine y los equipos involucrados se hace uso de animaciones, esquemas y reproducciones de audio que son complementarias. En el caso del análisis de la eficiencia, se utiliza las ecuaciones para el cálculo de propiedades del ASME Steam tables, desarrolladas en 1967 (Ver Anexo 1) y el método de la secante para aproximar ciertas soluciones; esto fue empleado en la elaboración de plantillas en las que se codificaron propiedades del agua y en el cálculo de la eficiencia del ciclo Rankine. Para llevar a cabo el análisis de sensibilidad de la eficiencia se compara el funcionamiento real de la CTE con el funcionamiento en situaciones supuestas y se analiza dicho comportamiento. El software desarrollado posee además una evaluación en la que se hacen 5 preguntas, tomadas al azar de una base de datos, cada una de las cuales tiene tres alternativas y un tiempo límite para responder.

Además se lleva a cabo el análisis de resultados obtenidos por el programa, para lo cual se compara las propiedades del agua obtenidas con las que aparecen en tablas. También se lleva a cabo un análisis de la eficiencia de la CTE bajo ciertas condiciones específicas de operación.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones que han sido producto del desarrollo de este proyecto.

PRESENTACION

El presente proyecto tiene por objetivo que cualquier profesional de la Central Térmica Esmeraldas o estudiante de Termodinámica pueda tener acceso a un software educativo, acerca de los equipos y funcionamiento de una central termoeléctrica que trabaja con ciclo Rankine.

En el capítulo 1 se presenta una introducción teórica del ciclo Rankine, la descripción de la Central Térmica Esmeraldas, el ciclo Rankine real y el cálculo de la eficiencia de la misma.

En el capítulo 2 se detallan las herramientas y estrategias de programación, mediante las cuales es posible realizar los diferentes cálculos y presentaciones requeridas para el desarrollo del software.

En el capítulo 3 se presenta la estructura del programa y se detallan las diferentes ventanas a las cuales es posible acceder en el software.

En el capítulo 4 se presentan las aplicaciones del programa en donde se realiza un análisis detallado de los diferentes enfoques en base a los que se desarrolló este proyecto, en lo que se refiere a enseñanza.

En el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos en el cálculo de la eficiencia de la central, en donde se detallan los errores al utilizar ecuaciones empíricas para el cálculo de propiedades del agua y se presenta el análisis del comportamiento de la eficiencia al variar ciertos parámetros.

Finalmente en el capítulo 6 se presentan un conjunto de conclusiones y recomendaciones que han sido producto del desarrollo del presente proyecto.

CAPITULO 1

FUNDAMENTO TEORICO

El Software ha sido creado con el fin de servir especialmente a la CTE¹ para lo que se ha incorporado información que tiene relación con la misma. Así, el enfoque dado por el programa incluye la descripción del ciclo Rankine en diagramas T-S; el estudio del ciclo utilizado en la central y la descripción de los equipos empleados por la CTE. Por lo que es necesario establecer los conceptos que han sido manejados para llevar a cabo estas aplicaciones. De modo que en este capítulo, se realiza una descripción de los conceptos que se han tomado en cuenta en el desarrollo del programa.

1.1 PROCESOS DEL CICLO RANKINE EN EL DIAGRAMA T-S

El ciclo Rankine esta compuesto por un conjunto de procesos que son llevados a cabo por diferentes equipos, por lo cual resulta conveniente la representación termodinámica de estos procesos en el Diagrama T-S, que es el más adecuado para este tipo de ciclo. Por esta razón, a continuación se detallan los procesos principales en un ciclo Rankine.

Para la mejor descripción de los distintos procesos en el diagrama T-S se ha utilizado la siguiente simbología:

Las flechas sobre las líneas, indican la dirección en la que ocurre el proceso. En tanto que las flechas tomatas indican si entra o sale calor al ciclo durante un proceso y las flechas de color morado indican si entra o sale trabajo del ciclo durante un proceso. La línea continua de color verde representa el proceso ideal, es decir sin considerar las irreversibilidades en el proceso. El proceso real es representado mediante la línea entrecortada de color rojo. Para la condensación del vapor que ocurre en los intercambiadores cerrados y abiertos se emplea una línea entrecortada de color rosado.

¹ CTE: abreviatura de Central Térmica Esmeraldas

1.1.1 BOMBA

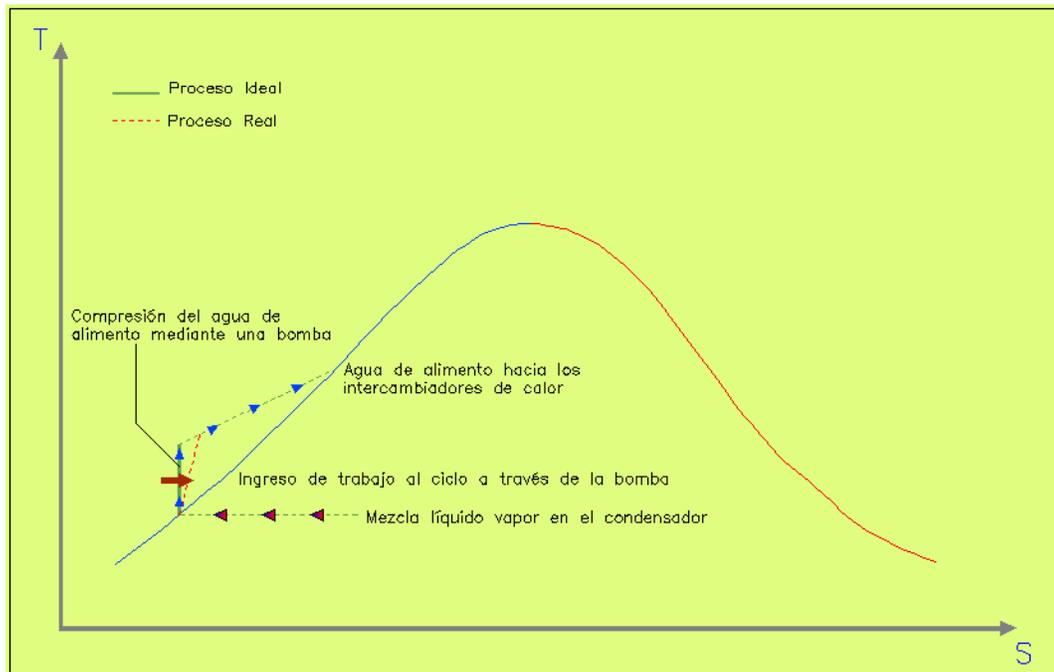


Fig. 1. 1.-Representación del proceso efectuado por la bomba en un diagrama T-S²

En este equipo se desarrolla un proceso de compresión, elevando la presión del agua de alimento, para impulsarla hacia la caldera, por lo cual existe un ingreso de trabajo al ciclo. Este proceso puede ser considerado en forma ideal como isentrópico, aunque en el proceso real no resulte así.

En la figura 1.1 se han representado los dos casos. Es importante señalar que un proceso isentrópico como el caso ideal se representa en el diagrama T-S con una línea vertical.

1.1.2 GENERADOR DE VAPOR

² ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

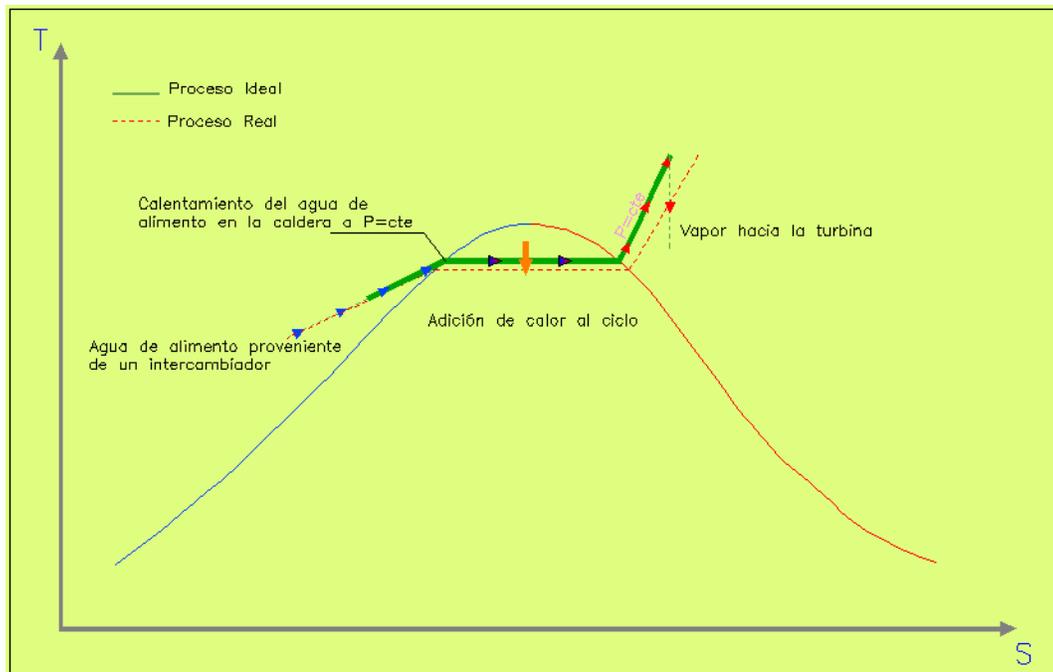


Fig. 1. 2.- Representación del proceso efectuado por la caldera en un diagrama T-S³

La caldera o generador de vapor es el principal intercambiador de calor, en el cual se entrega calor al agua, de manera que ésta pase de líquido a vapor durante este proceso.

El proceso de la evaporación del agua es representado en la figura 1.2 mediante una línea horizontal que une la línea de líquido saturado con la línea de vapor saturado. También se produce el último calentamiento del agua de alimento antes de que ésta pase al proceso de evaporación, lo cual se encuentra representado mediante la parte de la línea que se encuentra a la izquierda de la línea de líquido saturado. Además, se produce el calentamiento del vapor saturado hasta conseguir vapor sobrecalentado, lo cual está representado mediante la parte de la línea del proceso que se encuentra a la derecha de la línea de vapor saturado. Todos estos procesos ocurren a presión constante.

Es importante señalar que todo el proceso ocurre en tres intercambiadores: el economizador, el cual calienta el agua de alimento; los tubos evaporadores, en

³ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

los cuales se produce la evaporación del agua y el sobrecalentador, en el cual se eleva la temperatura del vapor saturado.

1.1.3 TURBINA

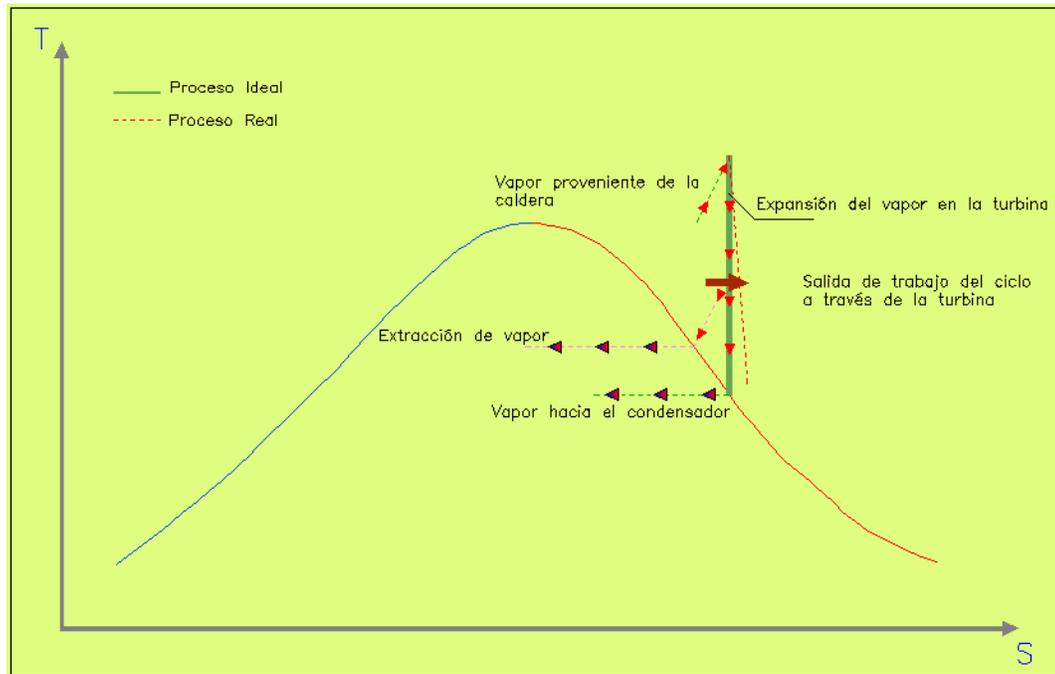


Fig. 1. 3.- Representación del proceso efectuado por la turbina en un diagrama T-S⁴

La turbina es un equipo, en el que el vapor proveniente de la caldera es empleado para girar un eje, por lo cual el vapor empleado en este proceso pierde energía y el ciclo entrega trabajo.

En el diagrama T-S de la figura 1.3, el proceso ideal representa una expansión isentrópica. El vapor sobrecalentado se encuentra en la parte superior de la línea. En tanto que en la parte intermedia del proceso se ha representado una extracción de vapor o regeneración, la cual se emplea para calentar el agua de alimento.

1.1.4 CONDENSADOR

⁴ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

Es un intercambiador de calor en el que, el vapor entrega parte del calor que posee a un medio frío. Durante este proceso el agua pasa de vapor a líquido saturado a una presión y temperatura constante. La representación del proceso ideal y real en un diagrama T-S es mostrada en la figura 1.4.

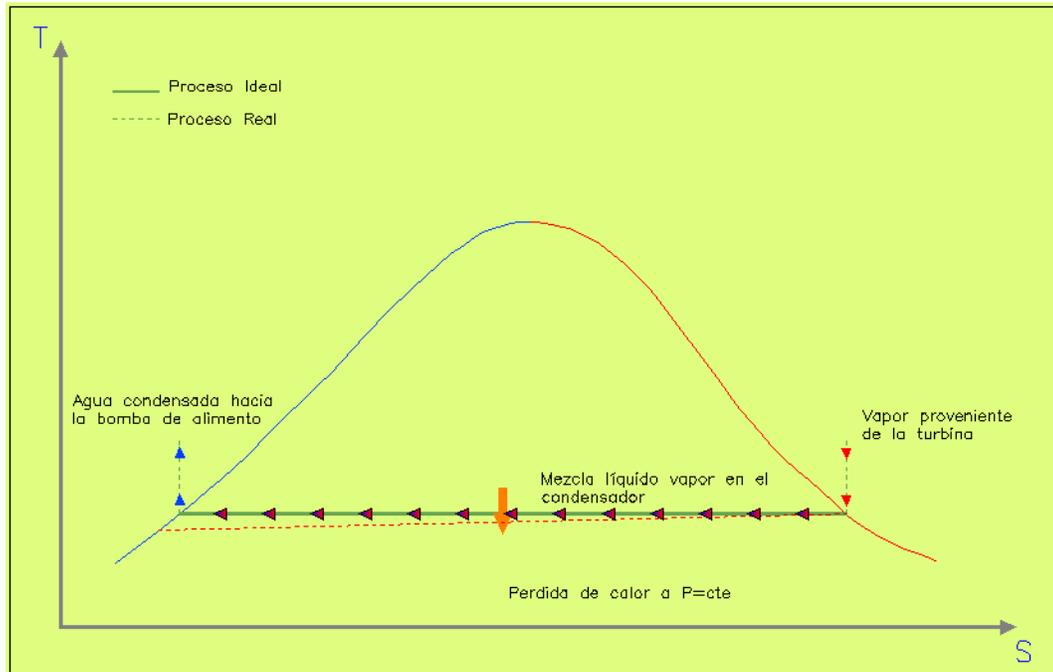


Fig. 1. 4.- Representación del proceso efectuado por el condensador en un diagrama T-S⁵

1.1.5 INTERCAMBIADORES DE SUPERFICIE

Este tipo de intercambiadores llamados también regeneradores, toman el calor del vapor proveniente de las extracciones de la turbina y lo entregan al agua de alimento a presión constante, a través de una superficie que los separa, encontrándose los dos fluidos a diferentes presiones. El vapor que entra al intercambiador sale de éste como líquido saturado, luego de ceder el calor de condensación.

⁵ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

Se los clasifica de acuerdo al cuerpo de la turbina de donde toman la extracción. De manera que se los denomina de alta, media y baja presión.

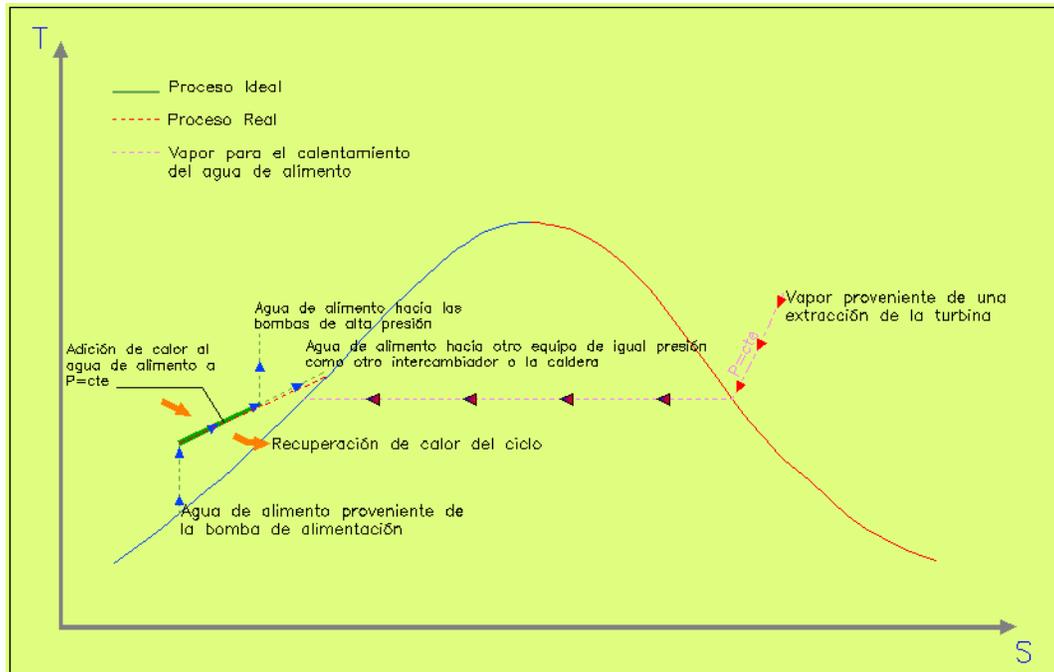


Fig. 1. 5.- Representación del proceso efectuado por un intercambiador de superficie en un diagrama T-S⁶

1.1.6 DESAERADOR

Es un intercambiador de calor de contacto en el que existe una mezcla de los fluidos, de manera que se produce un mejor intercambio de calor. Además, realiza el proceso de separación de los gases no condensables del agua de alimento, a lo cual debe su nombre.

Al igual que el intercambiador de superficie, toma el calor de condensación del vapor proveniente de las extracciones de la turbina y lo entrega al agua de alimento a presión constante; pero en este, los dos fluidos deben encontrarse a la misma presión.

⁶ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

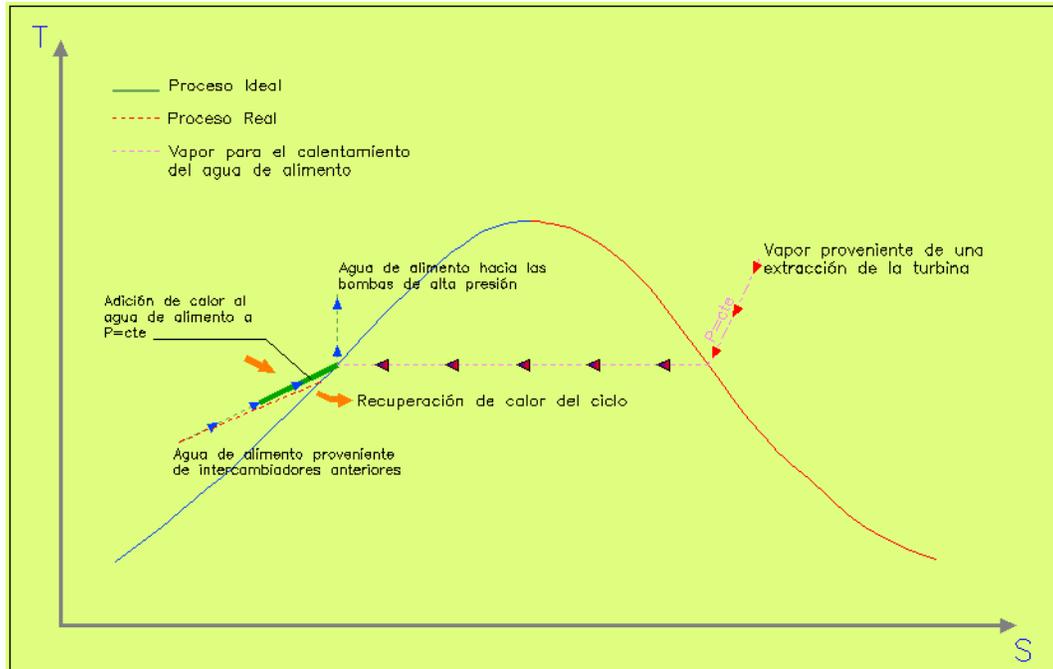


Fig. 1. 6.- Representación del proceso efectuado por el desaireador en un diagrama T-S⁷

1.2 DESCRIPCION DEL CICLO RANKINE

Primero se describirá un ciclo simple y a continuación otros ciclos más complejos. Para mejorar la descripción de los distintos ciclos en el diagrama T-S se ha utilizado la simbología indicada en las figuras 1.7 y 1.8:

Al igual que en los diagramas anteriores las flechas sobre la línea del ciclo indican la dirección en la que ocurre el proceso. En tanto que las flechas tomates indican si entra o sale calor al ciclo durante un proceso y las flechas de color morado indican si entra o sale trabajo del ciclo durante un proceso.

1.2.1 CICLO RANKINE SIMPLE

⁷ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

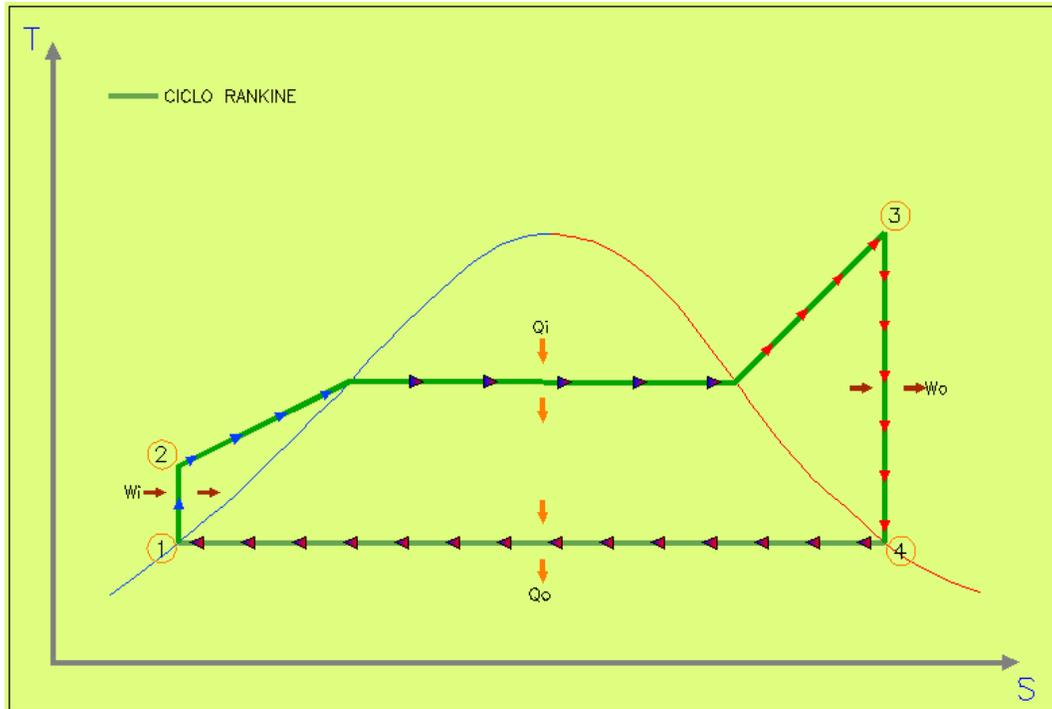


Fig. 1. 7.- Diagrama T-S de un ciclo Rankine simple⁸

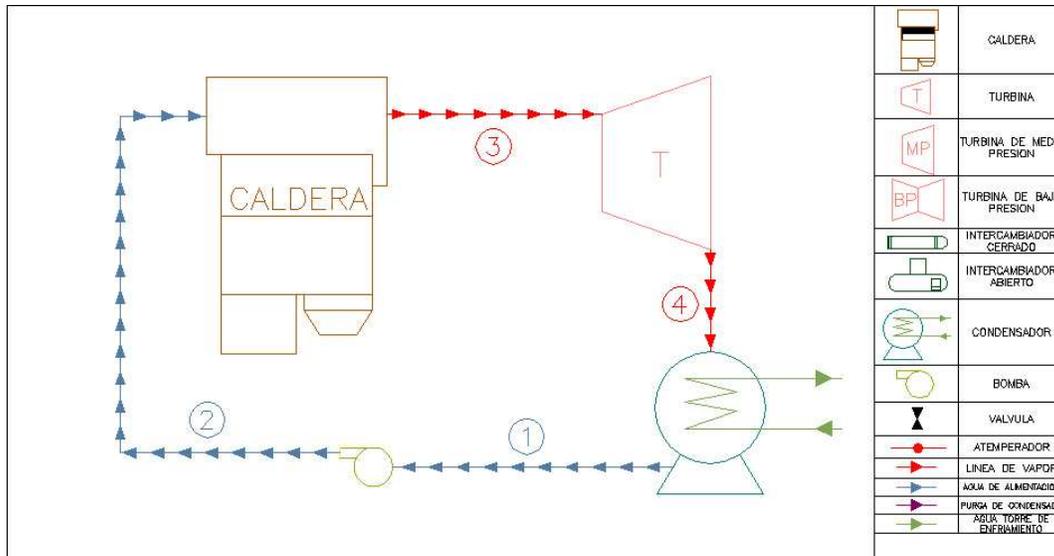


Fig. 1. 8.- Esquema de los equipos de un ciclo Rankine simple⁹

⁸ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

⁹ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

¹⁰ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

El ciclo Rankine simple se encuentra compuesto por cuatro procesos básicos. La figura 1.7 muestra la representación del ciclo en un diagrama T-S, y debido a que es necesario distinguir los procesos llevados a cabo, se muestran en el diagrama, distintos estados marcados con números, los cuales hacen referencia a la figura 1.8 en donde se detalla el esquema de configuración de los equipos en un ciclo Rankine simple. De esta manera se puede relacionar el proceso representado en el diagrama T-S con el equipo donde se lleva a cabo dicho proceso.

1.2.2 CICLO RANKINE CON RECALENTAMIENTO

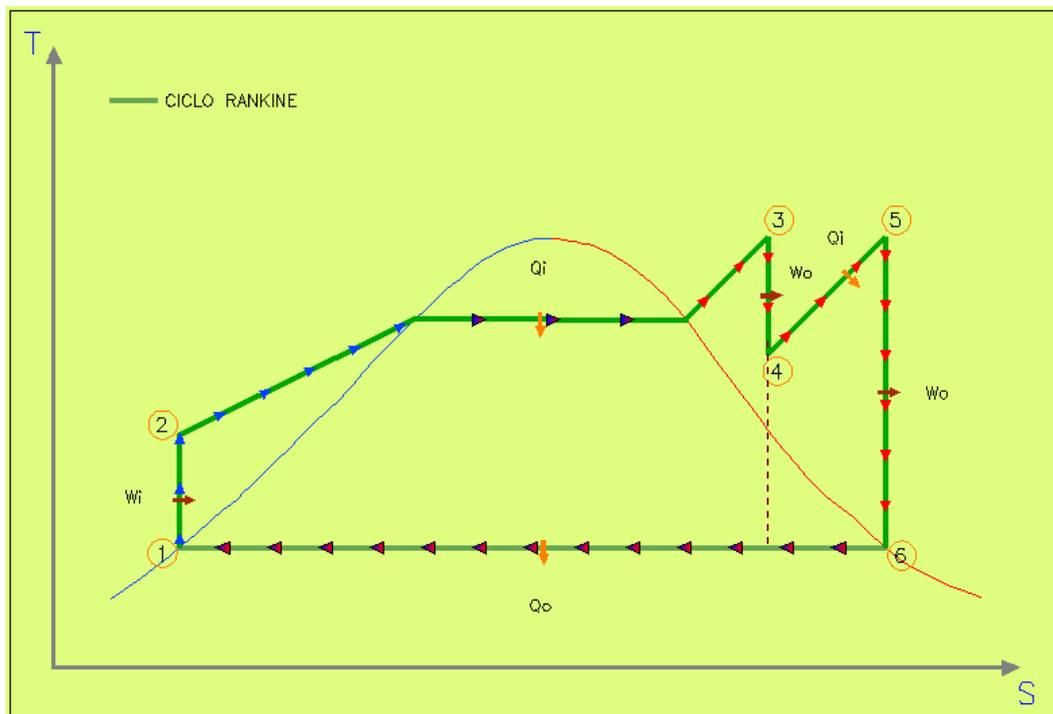


Fig. 1. 9.- Diagrama T-S de un ciclo Rankine con recalentamiento¹⁰

El ciclo que se muestra en la figura 1.9 es un ciclo Rankine con recalentamiento, el mismo que se desarrolló basándose en que, un aumento en la presión de la caldera aumenta la eficiencia del ciclo, debido al aumento de la temperatura promedio a la cual se añade calor, pero como efecto secundario puede producir humedad excesiva del vapor a la salida de la turbina, como se observa en la

figura 1.9 en el proceso representado con línea entrecortada. Debido a esto se introduce un ciclo Rankine con recalentamiento, en el que el vapor se expande en dos etapas y es recalentado en la caldera luego de la primera expansión, dependiendo del valor de la presión intermedia la eficiencia del ciclo puede incrementarse de un 4 a un 5 %¹¹ y no se tiene problemas de humedad excesiva. Al igual que en el caso del ciclo Rankine simple, el diagrama T-S de la figura 1.9 se encuentra relacionado con el esquema de la figura 1.10.

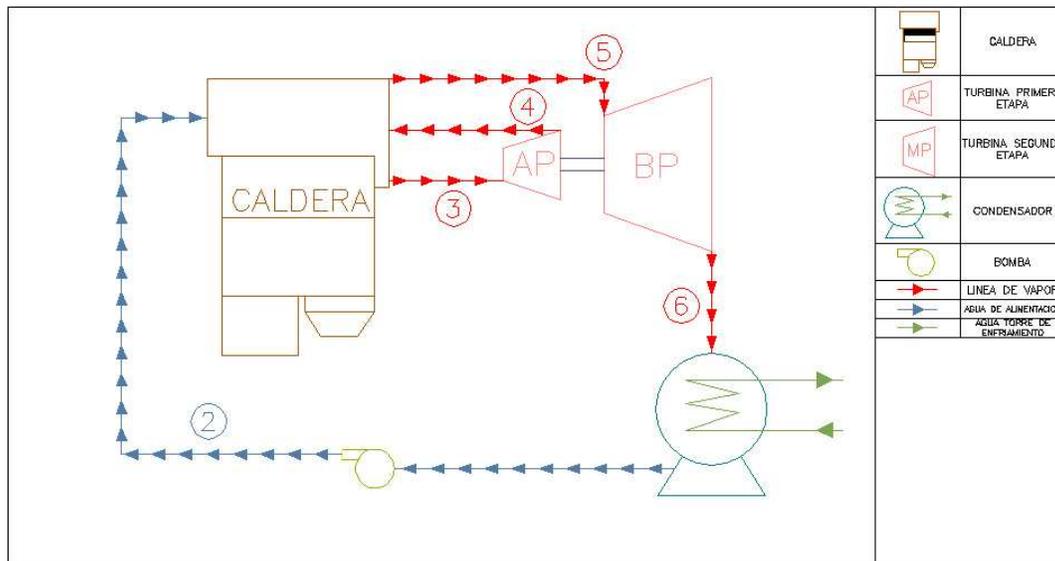


Fig. 1. 10.- Esquema de los equipos de un ciclo Rankine con recalentamiento¹²

1.2.3 CICLO RANKINE CON RECALENTAMIENTO Y REGENERACION

El ciclo que se muestra en las figuras 1.11 y 1.12 es un ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración, el mismo que se desarrolló basándose en que, al elevar la temperatura del agua de alimento antes de que ingrese a la caldera, aumenta la temperatura promedio a la cual se añade calor y por consiguiente aumenta la eficiencia del ciclo, para lo cual se realiza una serie de extracciones o drenajes de vapor de la turbina que se utilizan para calentar al agua de alimento mediante una serie de intercambiadores de calor. Además existe una disminución

¹¹ CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996; Tomo 2; Pag. 535

¹² ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

del flujo de masa que se dirige hacia el condensador, disminuyendo la energía rechazada en el ciclo.

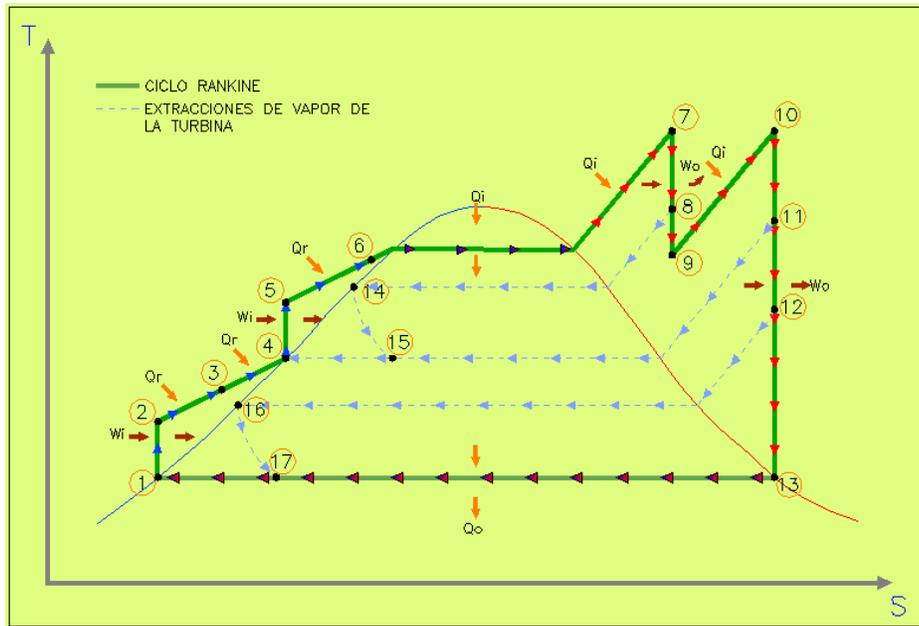


Fig. 1. 11.- Diagrama T-S, Ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración¹³

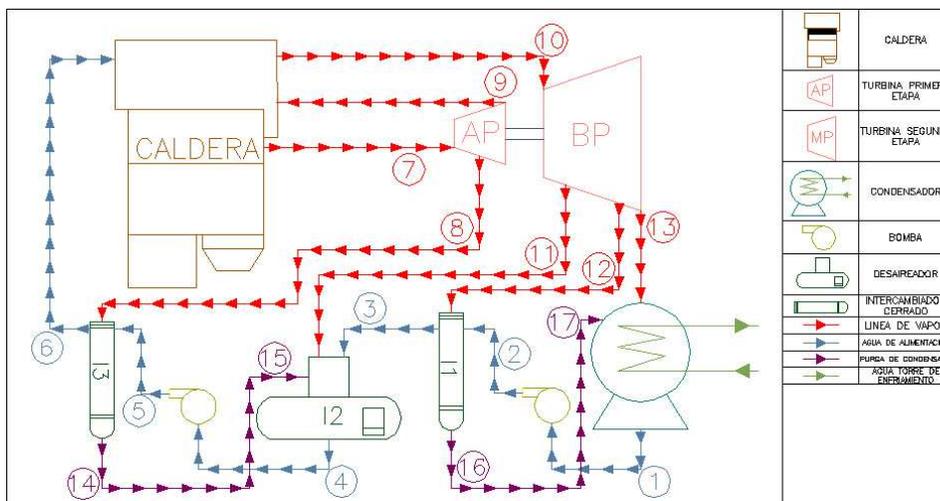


Fig. 1. 12.- Esquema de los equipos de un ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración¹⁴

¹³ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

¹⁴ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

El aumento de la temperatura del agua de alimento se combina con el aumento de la presión en la caldera y se obtienen mejores eficiencias con este ciclo.

Al igual que en los ciclos anteriores, el diagrama T-S de la figura 1.11 se encuentra relacionado con el esquema de la figura 1.12, mediante los estados indicados.

1.3 CENTRAL TERMOELECTRICA ESMERALDAS

La CTE es una central termoeléctrica con turbina de vapor en la que se emplea como combustible, fuel oil. Con una capacidad máxima continua de 132.5 MW. La energía eléctrica entregada al sistema interconectado tiene una tensión de 138000 V a 60 Hz. A continuación se detalla el ciclo Rankine y algunos de los sistemas de mayor importancia de la CTE.

1.3.1 DESCRIPCION DEL CICLO RANKINE

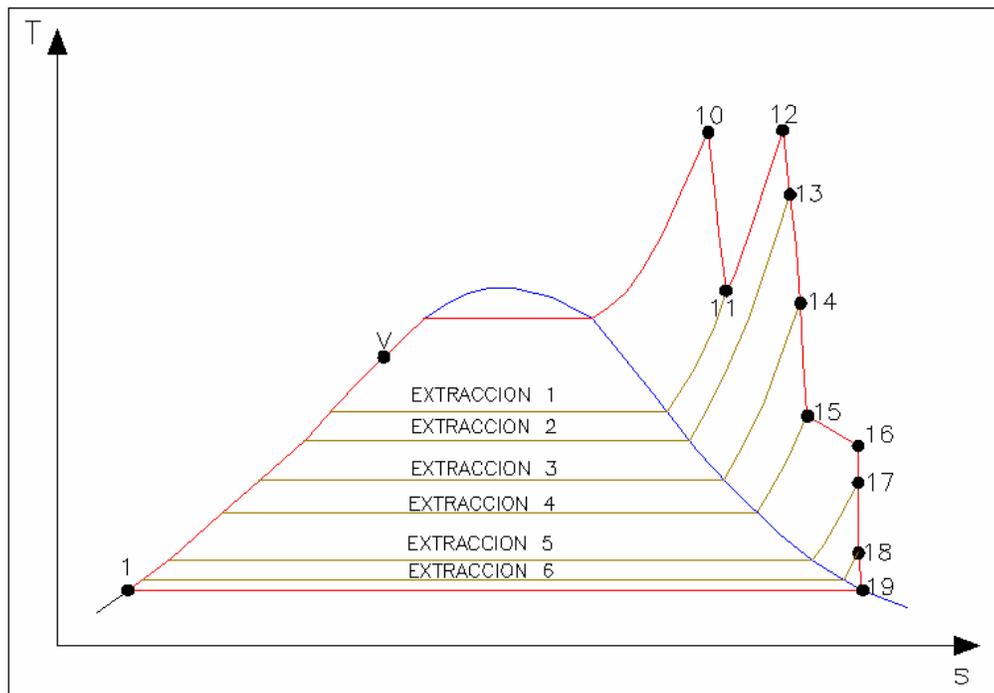


Fig. 1. 13.- Procesos del ciclo Rankine real de la CTE omitiendo la zona de líquido subenfriado¹⁵

¹⁵ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

Para la completa descripción del ciclo Rankine se utilizan las figuras 1.13, 1.14 y 1.15 en las cuales, se presenta el ciclo Rankine en un diagrama T-S en forma general, una ampliación del diagrama T-S en la zona de líquido subenfriado y el diagrama de ubicación de los equipos dentro de la central, así es posible obtener una descripción completa del ciclo.

Todos los estados involucrados dentro de los procesos del ciclo se encuentran numerados, tanto en el diagrama T-S como en el esquema de la distribución de los equipos. Cabe indicar que los números que hacen referencia a las extracciones en la zona de líquido saturado han sido omitidos en el diagrama T-S de la figura 1.13 y se han colocado en la figura 1.14 para mejorar la visualización del mismo.

Todos los procesos a los que hacen referencia las figuras 1.13, 1.14 y 1.15 se encuentran detallados en la tabla 1.1.

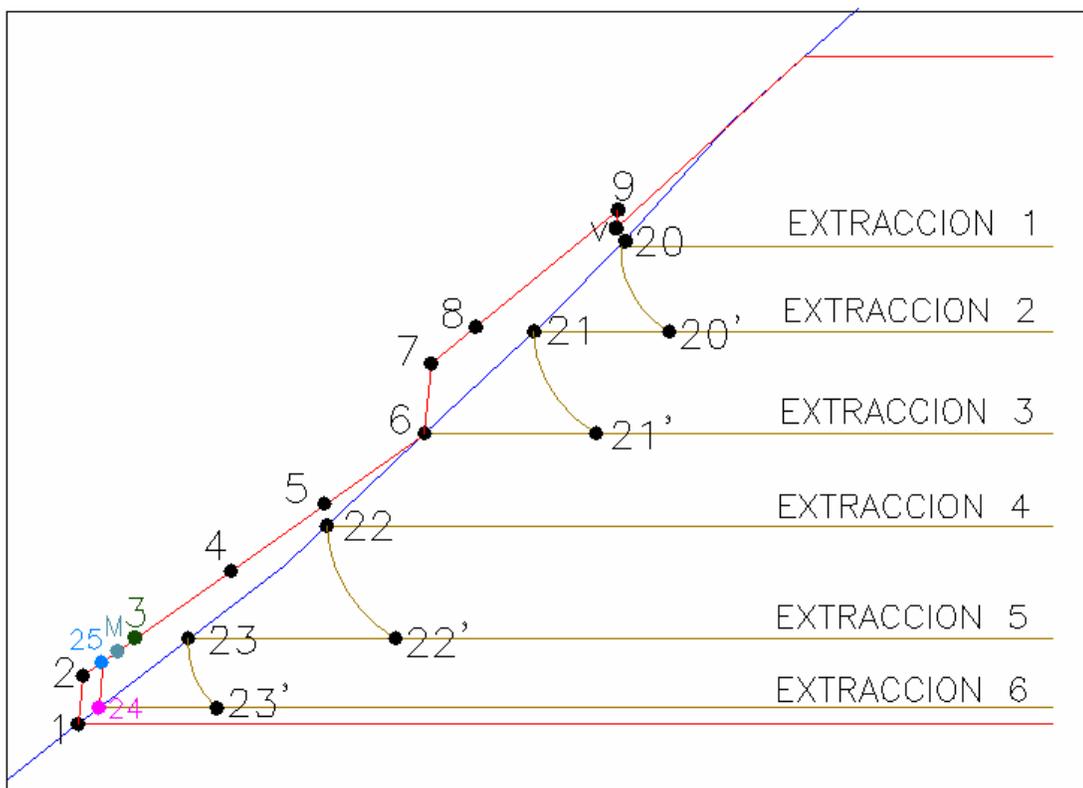


Fig. 1. 14.- Diagrama T-S, ampliación de zona de líquido subenfriado¹⁶

¹⁶ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

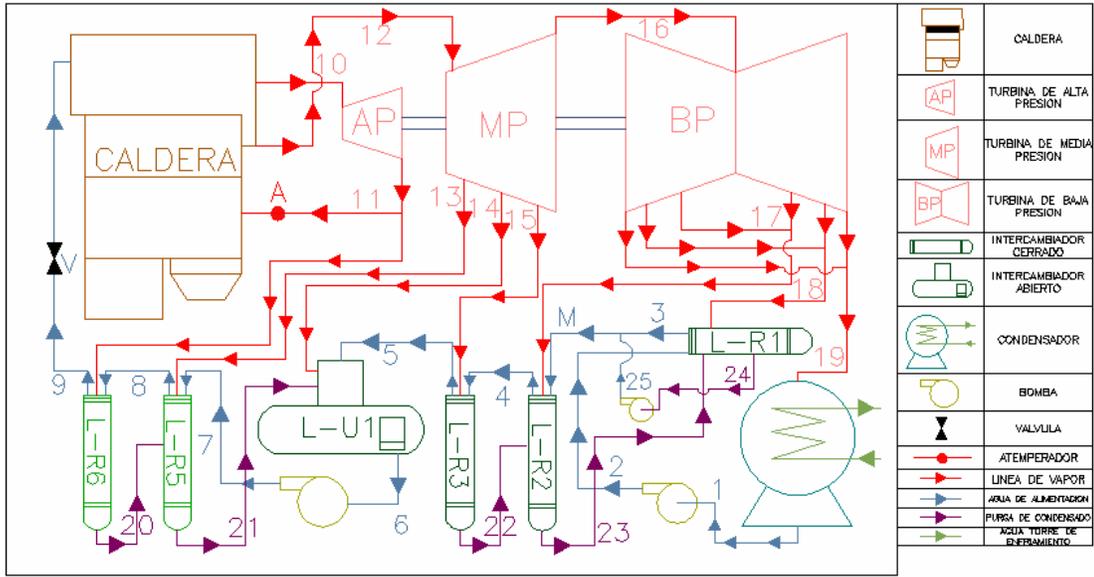


Fig. 1. 15.- Diagrama de la ubicación de los equipos en la CTE¹⁷

Tabla 1. 1.- Descripción de los diferentes procesos del ciclo Rankine de la CTE.

PROCESO	DESCRIPCION
1 - 2	Bombas de baja presión
2 - 3	Calentador de superficie LR1 que utiliza vapor de la sexta extracción
M	Producto de la mezcla entre el agua de alimento proveniente del LR1 y la purga de condensado proveniente del mismo
M - 4	Calentador de superficie LR2 que utiliza vapor de la quinta extracción
4 - 5	Calentador de superficie LR-3 que utiliza vapor de la cuarta extracción
5 - 6	Calentador de contacto directo LU1 que utiliza vapor de la tercera extracción
6 - 7	Bombas de alta presión
7 - 8	Calentador de superficie LR-5 que utiliza vapor de la segunda extracción

¹⁷ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

PROCESO	DESCRIPCION
8 – 9	Calentador de superficie LR-6 que utiliza vapor de la primera extracción
9 - V	Válvula de control de las condiciones del agua de alimento que ingresa a la caldera
V - 10	Primera etapa de la caldera
10 - 11	Primera etapa de la turbina
11 – A	Atemperador o regulador de las condiciones del vapor antes de su ingreso a la segunda etapa de la caldera.
A – 12	Segunda etapa de la caldera
12 – 15	Segunda etapa de la turbina
15 - 16	By pass entre la segunda y primera etapa de la turbina
16 - 19	Tercera etapa de la turbina
19 - 1	Condensador
11 - 20	Primera extracción de la turbina y su paso a través del LR-6
13 - 21	Segunda extracción de la turbina y su paso a través del LR-5
14	Tercera extracción de la turbina que llega al LU1
15 - 22	Cuarta extracción de la turbina y su paso a través del LR-3
17 - 23	Quinta extracción de la turbina y su paso a través del LR-2
18 - 24	Sexta extracción de la turbina y su paso a través del LR-1
24 - 25	Bomba del precalentador LR1

Es necesario indicar que los números asignados a los diferentes puntos de análisis del ciclo sirven de referencia en las posteriores secciones de este capítulo.

1.3.2 SISTEMA DE COMBUSTIBLES

Una central termoeléctrica requiere una gran cantidad de combustible fósil para la generación eléctrica, lo que hace necesario buscar los medios para reducir su costo.

Es posible disminuir el costo de generación eléctrica, mediante el uso de combustibles fósiles de bajo costo, para lo cual, se emplean ciertos equipos que

tienen como fin, preparar el combustible. La CTE emplea Fuel oil N° 6 y Fuel oil N° 2, siendo este último utilizado únicamente durante el arranque. Como el combustible utilizado es líquido, la función que cumplirán los equipos de preparación de combustible es: reducir la viscosidad, mejorar la atomización y eliminar las impurezas.

En la figura 1.16 se muestra un esquema de los equipos del sistema de combustión.

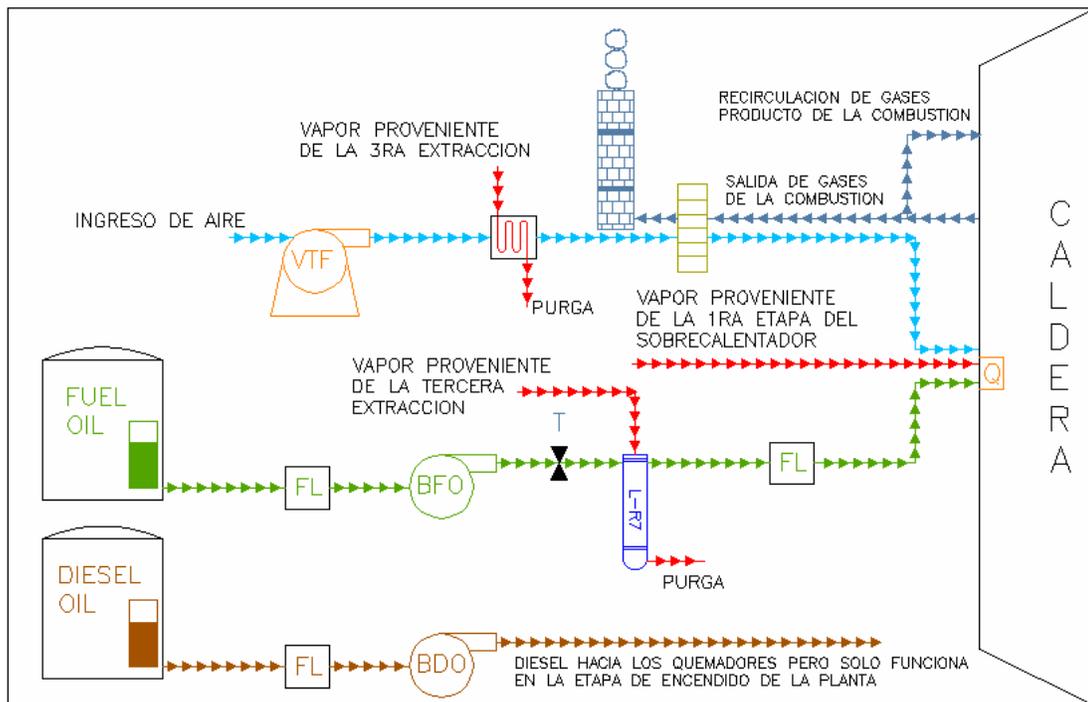


Fig. 1. 16.- Esquema de los equipos del sistema de combustión¹⁸

1.3.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El condensador requiere de un medio de enfriamiento, el cual debe absorber el calor de condensación del vapor. El refrigerante empleado es agua y para tener una idea de la cantidad de agua requerida; en promedio se requieren 50 kg. de agua para condensar 1 kg. de vapor¹⁹. Por lo que el flujo de agua refrigerante es alto. Razón para que las centrales termoeléctricas se ubiquen en la cercanía de

¹⁸ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

¹⁹ ENRIQUEZ, Gilberto; Elementos de Centrales Eléctricas I; Limusa; México D.F.; 1982; Pag. 434

ríos, lagos o del mar. Una solución es a través de las torres de enfriamiento, en las que el agua refrigerante circula en un circuito cerrado. La torre de enfriamiento es la encargada de disminuir la temperatura del refrigerante para que regrese al condensador.

1.4 CALCULO DE LA EFICIENCIA DE LA CTE

El cálculo de la eficiencia del ciclo Rankine requiere de la descripción del mismo, la cual se ha realizado en la sección 1.3.1 de este proyecto, además es necesario el análisis de datos iniciales y formulación para obtener la eficiencia, los puntos mencionados se desarrollan a continuación.

1.4.1 ANALISIS DE DATOS INICIALES

La CTE trabaja bajo un software de levantamiento de información llamado DeltaV, el mismo que permite obtener datos de temperatura, presión y flujo de masa en distintos puntos del ciclo así como ciertos datos relevantes para el cálculo de la eficiencia, dicha información se presenta en una base de datos de Excel, la misma que es recuperada y analizada para su posterior utilización. Los datos recuperados, para un posterior análisis, se establecen en el anexo 4.

Tabla 1. 2.- Ubicación de los puntos de referencia del ciclo Rankine de la CTE en los que existe información proporcionada para el cálculo de la eficiencia

Punto de referencia	Parámetros		
	Temperatura	Presión	Flujo de Masa
1	x	P_1	x
2	T_2	P_2	m_2
3	T_3	x	x
M	x	x	m_M
4	T_4	x	x
5	T_5	x	x
6	x	P_6	x
7	T_7	P_7	m_7

Punto de referencia	Parámetros		
	Temperatura	Presión	Flujo de Masa
8	T_8	x	x
9	T_9	x	x
V	T_V	P_V	x
10	T_{10}	P_{10}	m_{10}
11	T_{11}	P_{11}	x
A	T_A	x	x
12	T_{12}	P_{12}	m_{12}
13	T_{13}	P_{13}	x
14	T_{14}	P_{14}	x
15	T_{15}	P_{15}	x
16	x	x	x
17	T_{17}	P_{17}	x
18	x	x	x
19	x	x	x
20	x	x	x
21	x	x	x
22	x	x	x
23	x	x	x
24	x	x	x
25	x	x	x

En la tabla 1.2 se tienen los diversos puntos de interés del ciclo, los cuales se colocan en la columna llamada punto de referencia. En las columnas de parámetros se encuentra la abreviación de la propiedad y el subíndice de referencia en el caso en que los datos sean recuperados de una base datos, de lo contrario se marca una X, para la información no proporcionada.

Tabla 1. 3.- Parámetros adicionales para el cálculo de la eficiencia

PARAMETROS ADICIONALES	ABREVIATURA
Potencia Generada Bruta	Pg

PARAMETROS ADICIONALES	ABREVIATURA
Flujo de masa del vapor de atomización y barrido de quemadores	Mvaq
Caudal de consumo de fuel oil	mfo
Poder calorífico Neto del Combustible	PC

En la tabla 1.3 se encuentran parámetros adicionales de interés en el cálculo de la eficiencia.

1.4.2 ANALISIS DE LAS ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA

Se inicia este análisis con los balances de masa y energía de algunos de los equipos de la central, para posteriormente establecer las ecuaciones de la eficiencia tanto del ciclo como de planta.

1.4.2.1 Balances de masa y energía

Se realizan balances de energía y de masa en todos los intercambiadores de calor del agua de alimento a la caldera, debido a que el manejo de parámetros que no se encuentran a disposición en la zona de líquido subenfriado, introduce errores menores, ya que la variación de los valores de las propiedades en esta zona es pequeña.

Es necesario indicar que los datos utilizados para el desarrollo de este proyecto son tomados del DeltaV, el mismo que no recopila la información necesaria para el cálculo exacto de la eficiencia, razón por la cual se han establecido las suposiciones más convenientes para determinar los valores de las propiedades desconocidas. Es importante mencionar que existen aparatos de medida que se encuentran instalados en los diferentes equipos, de los cuales es posible levantar información acerca de las propiedades de manera manual, pero uno de los objetivos de este proyecto es el cálculo de la eficiencia en tiempo real, razón por la cual se realiza únicamente un cálculo aproximado de la eficiencia en base a los datos disponible en el programa DeltaV.

Los diferentes análisis de cada equipo se presentan con la ayuda de un gráfico, la formulación respectiva y si es el caso las respectivas consideraciones de los datos que no se encuentran a disposición.

1.4.2.1.1 Intercambiador de calor de superficie LR-6

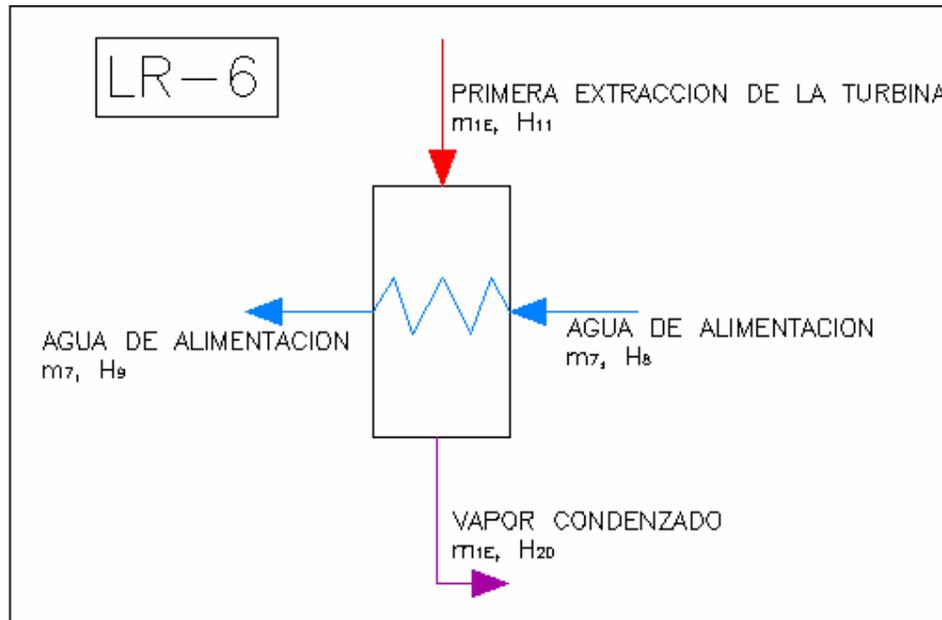


Fig. 1. 17.- Intercambiador de calor de superficie LR-6, analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía²⁰

Los valores de H_8 y H_9 no se encuentran definidos ya que para el cálculo de propiedades se necesitan dos propiedades y solo se conoce una propiedad que es la temperatura. Debido a esto, se establece una caída proporcional de la presión a través de los intercambiadores LR-5 y LR-6, desde P_7 hasta P_V para poder establecer las entalpías y entropías.

El valor de H_{20} no se encuentra definido debido a que no existen datos de temperatura y presión en ese punto; debido a esto es necesario introducir el

²⁰ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

criterio de que el agua sale como líquido saturado a la presión de la primera extracción con lo que este punto queda definido.

El flujo de masa de la primera extracción se determina en base a la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{1E} = \dot{m}_{10} - \dot{m}_{12} \quad (1.1)$$

Balance de energía:

$$\dot{m}_{1E} \times H_{11} + \dot{m}_7 \times H_8 = \dot{m}_{1E} \times H_{20} + \dot{m}_7 \times H_9 \quad (1.2)$$

$$H_{20} = \frac{\dot{m}_7 \times (H_8 - H_9) + \dot{m}_{1E} \times H_{11}}{\dot{m}_{1E}} \quad (1.3)$$

1.4.2.1.2 Intercambiador de calor de superficie LR-5

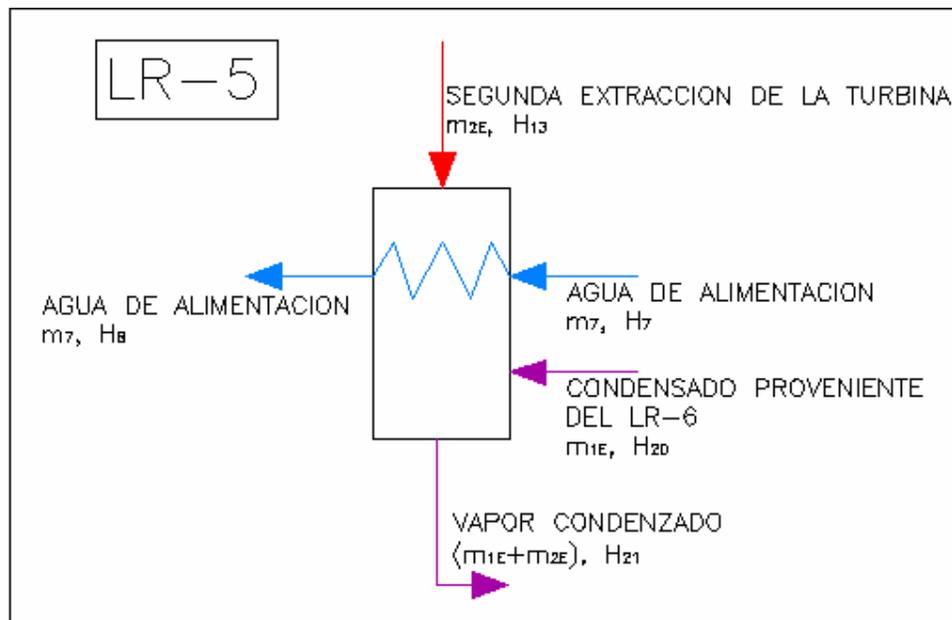


Fig. 1. 18.- Intercambiador de calor de superficie LR-5, analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía²¹

²¹ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

El valor de H_{21} no se encuentra definido debido a que no existen datos de temperatura y presión en ese punto; debido a esto, es necesario introducir el criterio de que el vapor sale como líquido saturado a la presión de la segunda extracción con lo que este punto queda definido.

Balance de energía:

$$\dot{m}_{2E} \times H_{13} + \dot{m}_7 \times H_7 + \dot{m}_{1E} \times H_{20} = (\dot{m}_{2E} + \dot{m}_{1E}) \times H_{21} + \dot{m}_7 \times H_8 \quad (1.4)$$

$$\dot{m}_{2E} = \frac{\dot{m}_{1E} \times (H_{21} - H_{20}) + \dot{m}_7 \times (H_8 - H_7)}{H_{13} - H_{21}} \quad (1.5)$$

1.4.2.1.3 Intercambiador de calor por contacto directo LU1

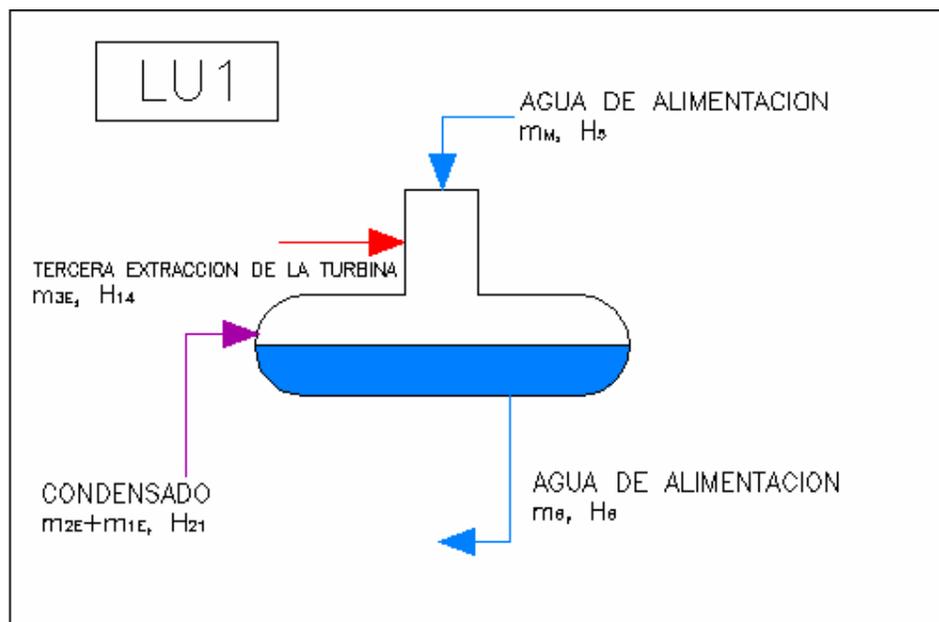


Fig. 1. 19.- Intercambiador de calor por contacto directo LU1, analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía²²

El valor de H_5 no se encuentra definido, ya que solo se conoce la temperatura; debido a esto, es necesario introducir el criterio de que para ingresar el vapor al intercambiador de contacto, este debe encontrarse a la presión de trabajo del

²² ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

equipo que es la presión de la tercera extracción de la turbina, en base a este dato es posible establecer H_5 .

El valor de H_6 no se encuentra definido ya que solo se conoce la presión; debido a esto, se introduce el criterio de que el agua sale como líquido saturado ya que, dentro del aparato las fases líquido y vapor coexisten, en base a esto, la temperatura de este punto será la de saturación a la presión indicada.

Balance de masa:

$$\dot{m}_M + \dot{m}_{3E} + \dot{m}_{2E} + \dot{m}_{1E} = \dot{m}_7 \quad (1.6)$$

$$\dot{m}_{3E} = \dot{m}_7 - \dot{m}_{2E} - \dot{m}_{1E} - \dot{m}_M \quad (1.7)$$

1.4.2.1.4 Intercambiador de calor de superficie LR-3

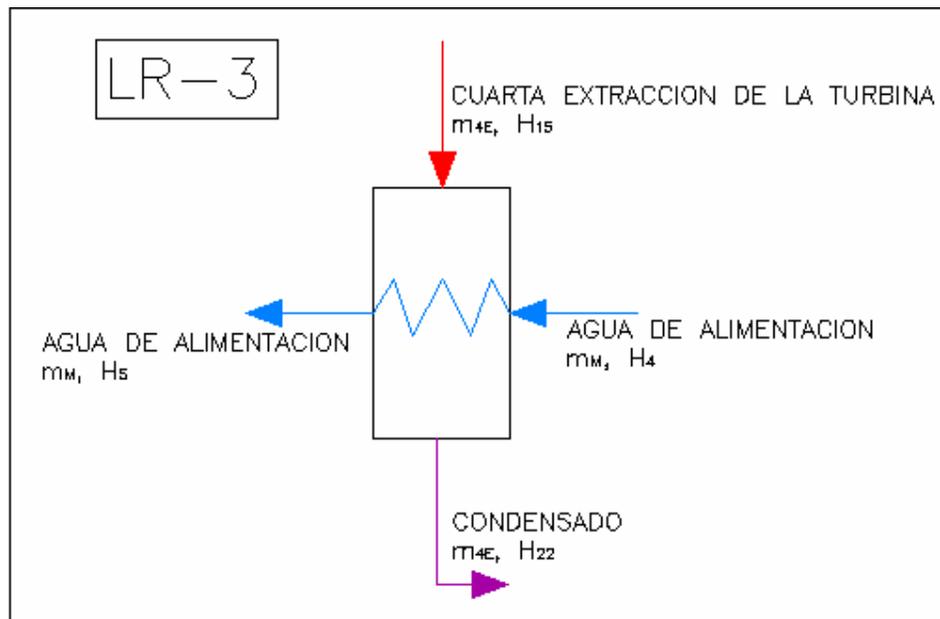


Fig. 1. 20.- Intercambiador de calor de superficie LR-3, analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía²³

Los valores de H_3 y H_4 no se encuentran definidos, ya que para el cálculo de propiedades se necesitan dos propiedades y solo se conoce la temperatura. Debido a esto, se establece una caída proporcional de la presión a través de los

²³ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

intercambiadores LR-1, LR-2 y LR-3, desde P_2 hasta P_5 para poder establecer las entalpías y entropías.

El valor de H_{22} no se encuentra definido, debido a que no existen datos de temperatura y presión en ese punto, debido a esto, es necesario introducir el criterio de que el vapor sale como líquido saturado a la presión de la cuarta extracción, con lo que este punto queda definido.

Balance de energía:

$$\dot{m}_{4E} \times H_{15} + \dot{m}_M \times H_4 = \dot{m}_{4E} \times H_{22} + \dot{m}_M \times H_5 \quad (1.8)$$

$$\dot{m}_{4E} = \frac{\dot{m}_M (H_5 - H_4)}{H_{15} - H_{22}} \quad (1.9)$$

1.4.2.1.5 Intercambiador de calor de superficie LR-2

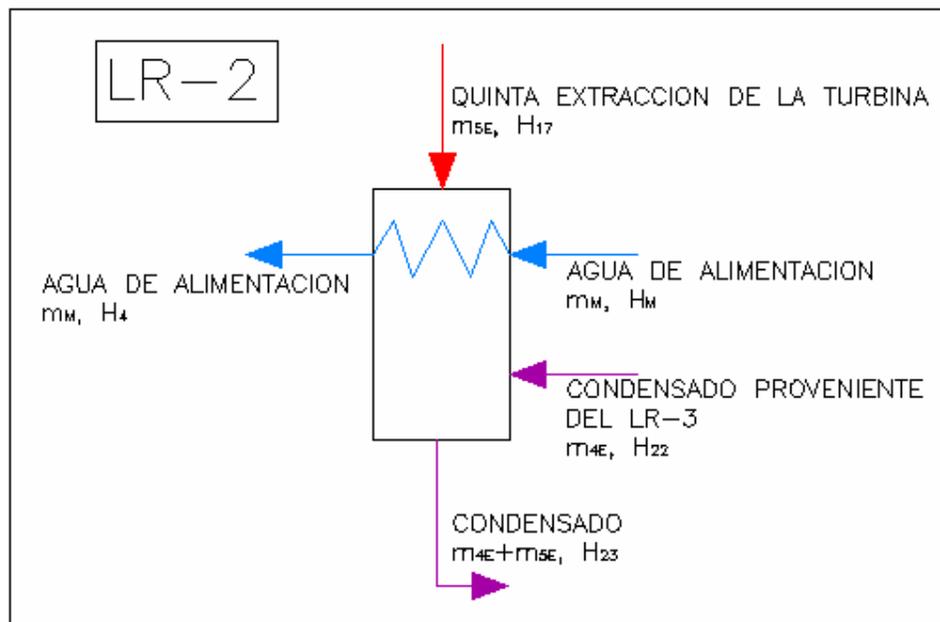


Fig. 1. 21.- Intercambiador de calor de superficie LR-3 analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía²⁴

²⁴ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

El valor de H_{23} no se encuentra definido, debido a que no existen datos de temperatura y presión en ese punto, debido a esto, es necesario introducir el criterio de que el vapor sale como líquido saturado a la presión de la quinta extracción, con lo que este punto queda definido.

$$\dot{m}_{5E} \times H_{17} + \dot{m}_M \times H_M + \dot{m}_{4E} \times H_{22} = (\dot{m}_{4E} + \dot{m}_{5E}) \times H_{23} + \dot{m}_M \times H_4 \quad (1.10)$$

$$\dot{m}_{5E} = \frac{\dot{m}_{4E} \times (H_{23} - H_{22}) + \dot{m}_M \times (H_4 - H_M)}{H_{17} - H_{23}} \quad (1.11)$$

1.4.2.1.6 Condensador

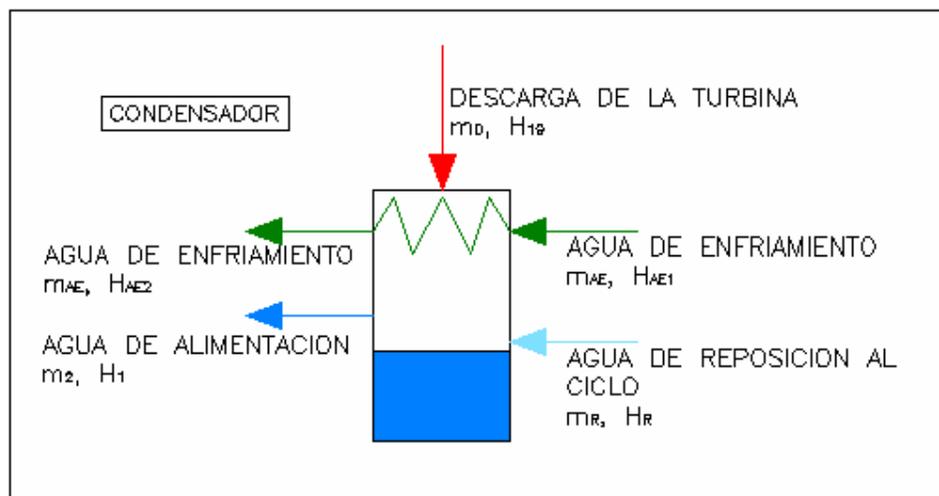


Fig. 1. 22.- Condensador (Intercambiador de calor de superficie), analizado como un volumen de control, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía²⁵

El valor de H_{19} no se encuentra definido, debido a que no existen datos de temperatura y presión en ese punto, debido a esto, es necesario introducir el criterio de que el vapor entra saturado a la presión del condensador, con lo que este punto queda definido.

El agua de reposición se calcula en base a la cantidad de vapor que se sale del ciclo, en este caso se determina por la suma entre el flujo de vapor utilizado para calentar el combustible, el flujo de vapor utilizado para los atomizadores de

²⁵ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

combustible en los quemadores y las pérdidas en la caldera, que son los procesos más significativos en los que el vapor sale del ciclo.

El flujo de vapor para calentar el combustible se toma de la tercera extracción de la turbina y su valor es desconocido, debido a lo cual se establece que este valor será de cinco toneladas hora.

El flujo de vapor para los atomizadores y las pérdidas en la caldera se determinan por la diferencia entre la cantidad de masa que ingresa a la caldera como líquido comprimido y la cantidad de masa que sale como vapor sobrecalentado.

El agua de reposición se calcula en base a la ecuación 1.12:

$$\dot{m}_R = \dot{m}_{vsfo} + (\dot{m}_7 - \dot{m}_{10}) \quad (1.12)$$

Balance de masa:

$$\dot{m}_D + \dot{m}_R = \dot{m}_2 \quad (1.13)$$

$$\dot{m}_D = \dot{m}_2 - \dot{m}_R \quad (1.14)$$

1.4.2.1.7 Intercambiador de calor de superficie LR-1

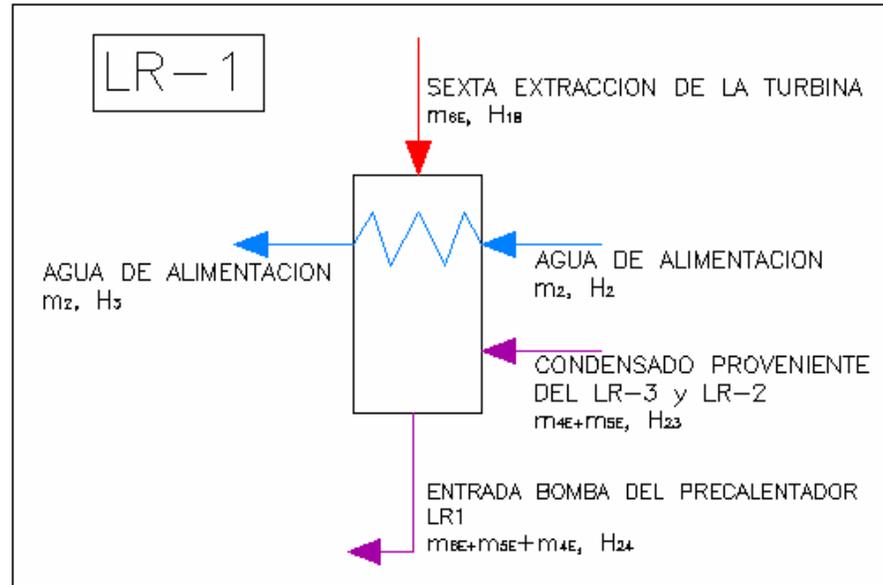


Fig. 1. 23.- Intercambiador de calor de superficie LR-1, en el cual se encuentran indicadas las entradas y salidas de masa y energía²⁶

²⁶ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

El valor de H_{18} no se encuentra definido, debido a que no existen datos de temperatura y presión en ese punto, por lo tanto es necesario introducir el criterio de que el vapor se expande en la turbina de manera isentrópica con lo que se tomará $S_{18}=S_{17}$ y además que el valor de la presión del vapor en la sexta extracción es 8 Kpa más que la presión del condensador, con lo que este punto queda definido.

Balance de masa en el punto M del ciclo:

$$\dot{m}_{6E} + \dot{m}_{5E} + \dot{m}_{4E} + \dot{m}_2 = \dot{m}_M \quad (1.15)$$

$$\dot{m}_{6E} = \dot{m}_M - \dot{m}_{5E} - \dot{m}_{4E} - \dot{m}_2 \quad (1.16)$$

1.4.2.2 Ecuaciones para determinar la eficiencia térmica del ciclo Rankine de la CTE

$$n = \frac{Wn}{Q_s} \quad (1.17)$$

n = Eficiencia

Wn = Trabajo Neto

Q_s = Calor entregado en la caldera al agua de alimento

$$Wn = Q_s - Q_r - Q_{sf} - Q_{ap} \quad (1.18)$$

Q_r = Calor rechazado en el condensador

Q_{sf} = Calor utilizado para calentar el combustible

Q_{ap} = Calor utilizado para los atomizadores de los quemadores y calor producto de las pérdidas en la caldera

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} \quad (1.19)$$

Q_{s1} = Calor añadido en la primera etapa de la caldera

Q_{s2} = Calor añadido en la segunda etapa de la caldera

$$Q_{s1} = \dot{m}_7 \times (H_{ap} - H_v) + \dot{m}_{10} (H_{10} - H_{ap}) \quad (1.20)$$

El punto H_{ap} define el lugar donde se extrae el vapor para los atomizadores de combustible y se considera como un punto promedio en donde se producen las pérdidas en la caldera, debido a la falta de información acerca de este punto se supone que este se encuentra como vapor saturado, cabe indicar que el software

desarrollado permite variar este parámetro y determinar que sucede con el comportamiento de la eficiencia.

$$Q_{s2} = m_{12}(H_{12} - H_A) \quad (1.21)$$

El punto H_A no se encuentra definido ya que solo se conoce su temperatura, pero el paso del vapor a través de este equipo no presenta caídas de presión debido a esto $P_A = P_{11}$, por lo que este punto queda definido.

$$Q_r = m_D \times (H_{19} - H_1) \quad (1.22)$$

El punto H_1 no se encuentra definido ya que solo se conoce la presión, pero debido a que este se encuentra a la salida del condensador en donde se produce el cambio de fase, la temperatura es la de saturación a la presión del condensador por lo que el punto queda definido.

$$Q_{sf} = \dot{m}_{vsfo} \times H_{14} \quad (1.23)$$

$$Q_{ap} = (\dot{m}_7 - \dot{m}_{10}) \times H_{ap} \quad (1.24)$$

La potencia consumida por los equipos se establece en un valor de 5000 KW.

1.4.2.3 Ecuaciones para determinar la eficiencia de planta de la CTE

$$np = \frac{Pn}{\dot{m}_{fo} \times PC} \quad (1.25)$$

$$Pn = Pg - Peq \quad (1.26)$$

np = Eficiencia de planta

Pn = Potencia generada

Pg = Potencia Bruta

Peq = Potencia equipos

\dot{m}_{fo} = Flujo de combustible

PC = Poder calórico del combustible

CAPITULO 2

HERRAMIENTAS DE PROGRAMACION

En el presente proyecto se ha utilizado un conjunto de herramientas matemáticas y estrategias de programación, las cuales han permitido optimizar el tiempo de aprendizaje de la parte teórica, así como el tiempo de cálculo de la eficiencia del ciclo de la Central Térmica Esmeraldas.

2.1 HERRAMIENTAS MATEMATICAS

El cálculo de la eficiencia de un a central termoeléctrica con ciclo Rankine así como la graficación de su comportamiento en un diagrama T-S, implica el conocimiento de las propiedades del fluido de trabajo, en este caso el agua.

Específicamente las propiedades a conocer son la temperatura, la presión, la entropía y la entalpía. De las propiedades mencionadas anteriormente, tanto la temperatura como la presión son cuantificables mediante sensores, pero las dos últimas deben ser calculadas. Debido a esto se hace uso de ciertas formulaciones y métodos matemáticos listados a continuación:

- Ecuaciones empíricas para el cálculo de propiedades
- Método de la secante

2.1.1 ECUACIONES EMPÍRICAS PARA EL CÁLCULO DE PROPIEDADES

Debido a la gran cantidad de estados en los cuales es necesario conocer las propiedades del fluido de trabajo, se hace necesario, la utilización de una serie de ecuaciones empíricas¹ las cuales son mostradas en el anexo 1, que permiten calcular la entalpía y entropía en función de la presión y la temperatura.

¹ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967 (Ver anexo 1)

Las ecuaciones empíricas utilizadas permiten conocer el comportamiento termodinámico del agua en un rango de temperatura de 0° C hasta 800° C y un rango de presión 0 bar hasta 1000 bar, razón por la cual su uso esta plenamente justificado ya que los límites de trabajo de una central termoeléctrica son bastante similares a los límites de las ecuaciones empíricas utilizadas.

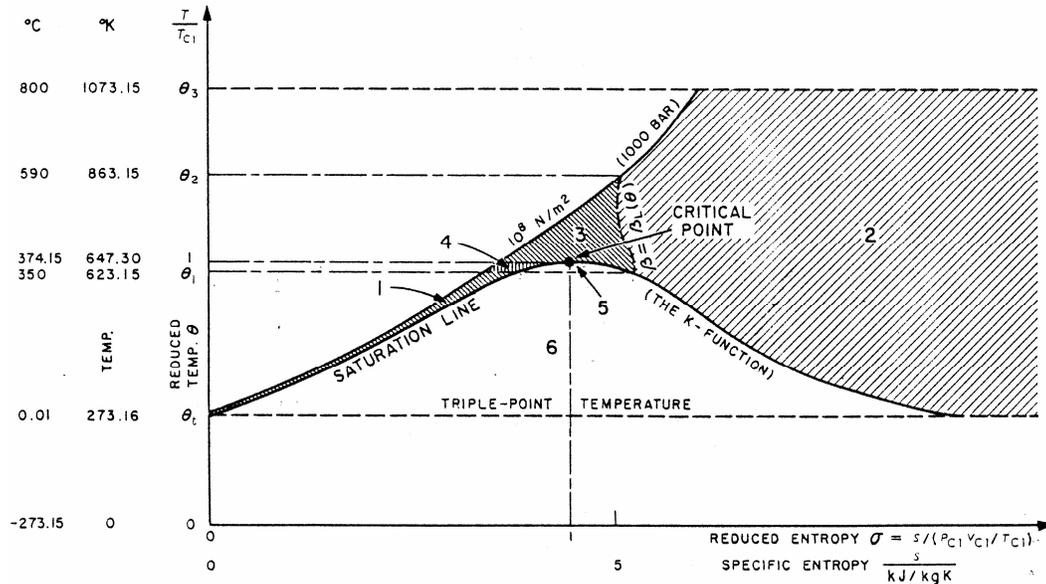


Fig. 2. 1.- Regiones y curvas límite para el comportamiento del agua en un diagrama T-S²

Para la aplicación de las ecuaciones, es necesario indicar que el comportamiento del agua esta analizado por regiones, de esta manera, si se observa el diagrama T-S de la figura 2.1 o el diagrama P-T de la figura 2.2, estos se encuentran divididos en seis regiones, las mismas que son limitadas por una serie de curvas.

La descripción de cada una de las regiones, así como de las curvas límite se encuentra en la Tabla 2.1.

² ASME; ASME Steam tables; ASME; New York; 1967; Pag. 29 (Ver anexo 1)

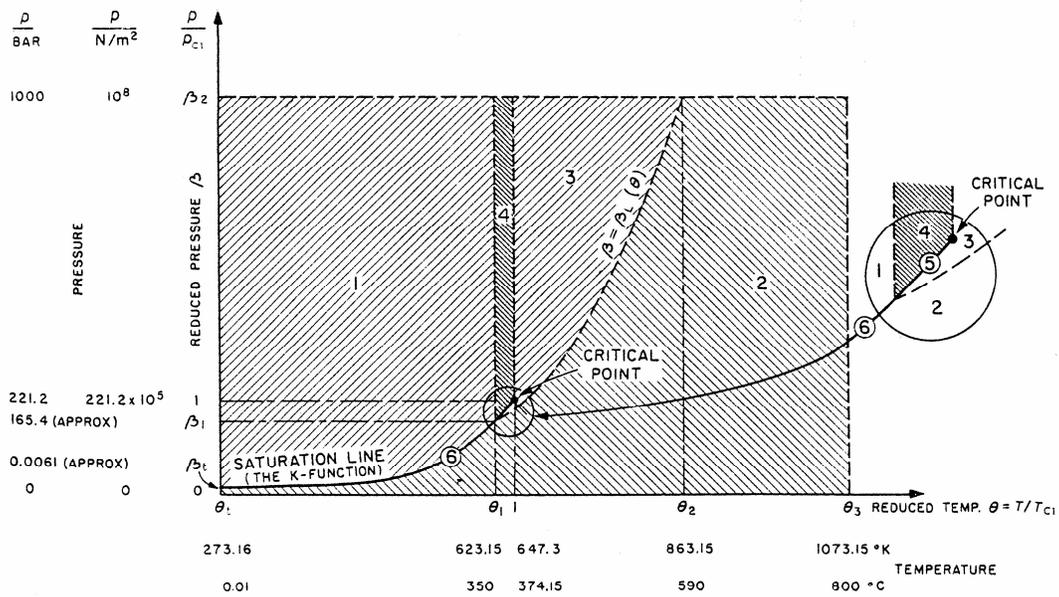


Fig. 2. 2.- Regiones y curvas límite para el comportamiento del agua en un diagrama P-T³

Tabla 2. 1.- Descripción de las regiones de comportamiento y curvas límite del agua

CURVA	DETALLE
P=1000 BAR	Esta curva representa la línea de presión constante de 1000 BAR, esta es la máxima presión a la cual las ecuaciones presentan resultados correctos.
THE K FUNCTION	Esta curva representa la línea de saturación en el cambio de fase de líquido vapor.
B	Esta curva representa el límite entre dos regiones de diferente comportamiento termodinámico.
REGION	DETALLE
1	Representa el comportamiento del agua como líquido comprimido y se encuentra limitada por las curvas: P=1000 BAR, la Función K y la isoterma a 350°C.

³ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag 29 (Ver anexo 1)

REGION	DETALLE
2	Representa el comportamiento del agua como vapor sobrecalentado y se encuentra limitada por las curvas: P=1000 BAR, β , la Función K y la isoterma 800°C
3	Representa el comportamiento del agua durante el cambio de fase sobre el punto crítico y se encuentra limitada por las curvas: P=1000 BAR, la isoterma a 374.15°C, la función K y β .
4	Representa el comportamiento del agua como líquido comprimido y se encuentra limitada por las curvas: P=1000 BAR, la Función K, la isoterma a 350°C y la isoterma a 374.15°C.
5	Representa el comportamiento del agua durante el cambio de fase dentro de la campana y se encuentra limitada por la isoterma a 374.15°C, la isoterma a 350°C y la función K. No presenta formulación ya que las propiedades se obtienen en base a: la calidad y las propiedades de vapor saturado y líquido saturado de las regiones adyacentes.
6	Representa el comportamiento del agua durante el cambio de fase dentro de la campana y se encuentra limitada por la isoterma a 350°, la isoterma a 0°C y la función K. No presenta formulación ya que las propiedades se obtienen en base a: la calidad y las propiedades de vapor saturado y líquido saturado de las regiones adyacentes.

Las ecuaciones empíricas utilizadas presentan relaciones para cada una de las curvas y regiones las cuales han sido ingresadas y desarrolladas en Visual Basic 6.0.

2.1.1.1 ECUACIONES PARA LA REGION UNO

Las ecuaciones para obtener la entropía y la entalpía en la región uno, se detallan a continuación:

$$\begin{aligned}
\sigma_1 = & A_0 \ln \theta - \sum_{\nu=2}^{10} (\nu-1) A_\nu \theta^{\nu-2} + A_{11} \left[\left\{ \frac{5}{12} Z - (a_3-1) Y \right\} Y' + a_4 \right] Z^{-5/17} \\
& + \left\{ -A_{13} - 2A_{14}\theta + 10A_{15}(a_6 - \theta)^9 + 19A_{16}(a_7 + \theta^{19})^{-2} \theta^{18} \right\} \beta \\
& - 11(a_8 + \theta^{11})^{-2} \theta^{10} (A_{17}\beta + A_{18}\beta^2 + A_{19}\beta^3) + A_{20}\theta^{17} (18 a_9 + 20 \theta^2) \left\{ (a_{10} + \beta)^{-3} + a_{11}\beta \right\} \\
& + A_{21}\beta^3 + 20A_{22}\theta^{-21}\beta^4 \tag{2.1}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 = & A_0 \theta - \sum_{\nu=1}^{10} (\nu-2) A_\nu \theta^{\nu-1} + A_{11} \left[Z \left\{ 17 \left(\frac{Z}{29} - \frac{Y}{12} \right) + 5\theta \frac{Y'}{12} \right\} + a_4\theta - (a_3-1)\theta Y Y' \right] Z^{-5/17} \\
& + \left\{ A_{12} - A_{14}\theta^2 + A_{15}(9\theta + a_6)(a_6 - \theta)^9 + A_{16}(20\theta^{19} + a_7)(a_7 + \theta^{19})^{-2} \right\} \beta \\
& - (12\theta^{11} + a_8)(a_8 + \theta^{11})^{-2} (A_{17}\beta + A_{18}\beta^2 + A_{19}\beta^3) + A_{20}\theta^{18} (17 a_9 + 19 \theta^2) \left\{ (a_{10} + \beta)^{-3} + a_{11}\beta \right\} \\
& + A_{21}a_{12}\beta^3 + 21A_{22}\theta^{-20}\beta^4 \tag{2.2}
\end{aligned}$$

$$Z = Y + (a_3 Y^2 - 2a_4 \theta + 2a_5 \beta) \tag{2.3}$$

$$Y = 1 - a_1 \theta^2 - a_2 \theta^{-6} \tag{2.4}$$

$$Y' = -2a_1 \theta + 6a_2 \theta^{-7} \tag{2.5}$$

σ_1 = Entropía Reducida

ε_1 = Entalpía Reducida

θ = Temperatura Reducida

β = Presión Reducida

A_{xy} = Constantes⁴

a_{xy} = Constantes⁵

⁴ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.20 (Ver anexo 1)

⁵ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.20 (Ver anexo 1)

2.1.1.2 ECUACIONES PARA LA REGION DOS

Las ecuaciones para obtener la entropía y la entalpía en la región dos se detallan a continuación:

$$\sigma_2 = -l_1 \ln \beta + B_0 \ln \theta - \sum_{\nu=1}^5 (\nu-1) B_{0\nu} \theta^{\nu-2} - b \sum_{\mu=1}^5 \beta^\mu \sum_{\nu=1}^{n(\mu)} z(\mu, \nu) B_{\mu\nu} X^{z(\mu, \nu)}$$

$$- b \sum_{\mu=6}^8 \left[\frac{\sum_{\nu=1}^{n(\mu)} B_{\mu\nu} X^{z(\mu, \nu)} \left(z(\mu, \nu) - \frac{\sum_{\lambda=1}^{l(\mu)} x(\mu, \nu) b_{\mu\lambda} X^{x(\mu, \lambda)}}{\beta^{2-\mu} + \sum_{\lambda=1}^{l(\mu)} b_{\mu\lambda} X^{x(\mu, \lambda)}} \right)}{\beta^{2-\mu} + \sum_{\lambda=1}^{l(\mu)} b_{\mu\lambda} X^{x(\mu, \lambda)}} \right]$$

$$+ \beta \left(\frac{\beta}{\beta_L} \right)^{10} \sum_{\nu=0}^6 \left[\left\{ \frac{10 \beta_L'}{\beta_L} + \nu b \right\} B_{9\nu} X^\nu \right] \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_2 = B_0 \theta - \sum_{\nu=1}^5 B_{0\nu} (\nu-2) \theta^{\nu-1} - \sum_{\mu=1}^5 \beta^\mu \sum_{\nu=1}^{n(\mu)} B_{\mu\nu} (1 + z(\mu, \nu) b \theta) X^{z(\mu, \nu)}$$

$$- b \sum_{\mu=6}^8 \left[\frac{\sum_{\nu=1}^{n(\mu)} B_{\mu\nu} X^{z(\mu, \nu)} \left([1 + z(\mu, \nu) b \theta] - \frac{b \theta \sum_{\lambda=1}^{l(\mu)} x(\mu, \nu) b_{\mu\lambda} X^{x(\mu, \lambda)}}{\beta^{2-\mu} + \sum_{\lambda=1}^{l(\mu)} b_{\mu\lambda} X^{x(\mu, \lambda)}} \right)}{\beta^{2-\mu} + \sum_{\lambda=1}^{l(\mu)} b_{\mu\lambda} X^{x(\mu, \lambda)}} \right]$$

$$+ \beta \left(\frac{\beta}{\beta_L} \right)^{10} \sum_{\nu=0}^6 \left[\left\{ 1 + \theta \left(\frac{10 \beta_L'}{\beta_L} + \nu b \right) \right\} B_{9\nu} X^\nu \right] \quad (2.7)$$

$$X = \exp\{b(1-\theta)\} \quad (2.8)$$

$$\beta_L = \beta_L(\theta) = L_0 + L_1 \theta + L_2 \theta^2 \quad (2.9)$$

σ_2 = Entropía Reducida

ε_2 = Entalpía Reducida

θ = Temperatura Reducida

β = Presión Reducida

B_{xy} = Constantes⁶

b_{xy} = Constantes⁷

Tabla 2. 2.- Valores de los términos $n(\mu)$ y $l(\mu)$ así como de los exponentes $z(\mu, \nu)$ y $x(\mu, \nu)$ ⁸

μ	$n(\mu)$	$z(\mu, \nu)$			$l(\mu)$	$x(\mu, \nu)$		μ
		$\nu = 1$	$\nu = 2$	$\nu = 3$		$\lambda = 1$	$\lambda = 2$	
1	2	13	3	-	-	-	-	1
2	3	18	2	1	-	-	-	2
3	2	18	10	-	-	-	-	3
4	2	25	14	-	-	-	-	4
5	3	32	28	24	-	-	-	5
6	2	12	11	-	1	14	-	6
7	2	24	18	-	1	19	-	7
8	2	24	14	-	2	54	27	8

2.1.1.3 ECUACIONES PARA LA REGION TRES

Las ecuaciones para el cálculo de la entropía y entalpía son dependientes de la temperatura y el volumen reducido, pero este último no es un dato que ingrese

⁶ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.20 (Ver anexo 1)

⁷ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.20 (Ver anexo 1)

⁸ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.18 (Ver anexo 1)

por medio de sensores, debido a esto, se determina el volumen reducido a partir de la ecuación de la presión reducida utilizando el método de la Secante.⁹

Las ecuaciones para obtener la presión, la entropía y la entalpía reducidas, en la región tres se detallan a continuación:

$$\begin{aligned}
 \beta_3 = & - \left\{ C_{01} + \sum_{\nu=2}^{11} (1-\nu) C_{0\nu} \chi^{-\nu} + C_{012} \chi^{-1} \right\} - \left\{ C_{11} + \sum_{\nu=2}^6 (1-\nu) C_{1\nu} \chi^{-\nu} + C_{17} \chi^{-1} \right\} (\theta-1) \\
 & - \left\{ C_{21} + \sum_{\nu=2}^7 (1-\nu) C_{2\nu} \chi^{-\nu} + C_{28} \chi^{-1} \right\} (\theta-1)^2 \\
 & - \left\{ C_{31} + \sum_{\nu=2}^9 (1-\nu) C_{3\nu} \chi^{-\nu} + C_{310} \chi^{-1} \right\} (\theta-1)^2 \\
 & + 5 C_{41} \chi^{-6} \theta^{-23} (\theta-1) - 6 \chi^5 \sum_{\nu=0}^4 C_{6\nu} \theta^{-2-\nu}
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_3 = & - \left\{ C_{11} \chi + \sum_{\nu=2}^6 C_{1\nu} \chi^{1-\nu} + C_{17} \ln \chi + C_{50} \right\} \\
 & - 2 \left\{ C_{21} \chi + \sum_{\nu=2}^7 C_{2\nu} \chi^{1-\nu} + C_{28} \ln \chi \right\} (\theta-1) \\
 & - 3 \left\{ C_{31} \chi + \sum_{\nu=2}^9 C_{3\nu} \chi^{1-\nu} + C_{310} \ln \chi \right\} (\theta-1)^2 \\
 & + (C_{40} + C_{41} \chi^{-5}) (22 \theta^{-23} - 23 \theta^{-24}) - C_{50} \ln \theta + \chi^6 \sum_{\nu=0}^4 \{ (\nu+2) C_{6\nu} \theta^{-3-\nu} \} \\
 & - \sum_{\nu=0}^8 \{ (\nu+1) C_{7\nu} (\theta-1)^\nu \}
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_3 = & \left\{ (C_{00} - C_{012} - C_{50}) - C_{11} \chi + \sum_{\nu=2}^{11} \nu C_{0\nu} \chi^{1-\nu} - \sum_{\nu=2}^6 C_{1\nu} \chi^{1-\nu} + (C_{012} - C_{17}) \ln \chi \right\} \\
 & + \left\{ (-C_{17} - C_{50}) - (C_{11} + 2 C_{21}) \chi + \sum_{\nu=2}^6 (\nu-1) C_{1\nu} \chi^{1-\nu} - 2 \sum_{\nu=2}^7 C_{2\nu} \chi^{1-\nu} - 2 C_{28} \ln \chi \right\} (\theta-1)
 \end{aligned}$$

⁹ CHAPRA, Steven; Métodos Numéricos para ingenieros; Mc-Graw Hill; México D.F.; 1988; Métodos Abiertos (Ver anexo 2)

$$\begin{aligned}
& + \left\{ -C_{28} - (2C_{21} + 3C_{31})\chi + \sum_{v=2}^7 (v-2)C_{2v}\chi^{1-v} - 3\sum_{v=2}^9 C_{3v}\chi^{1-v} - (C_{28} + 3C_{310})\ln\chi \right\} (\theta-1)^2 \\
& + \left\{ -C_{310} - 3C_{31}\chi + \sum_{v=2}^9 (v-3)C_{3v}\chi^{1-v} - 2C_{310}\ln\chi \right\} (\theta-1)^3 + (23C_{40} + 28C_{41}\chi^5)\theta^{-22} \\
& - (24C_{40} + 29C_{41}\chi^{-5})\theta^{-23} + \chi^6 \sum_{v=0}^4 \{(v-3)C_{5v}\theta^{-2-v}\} - \sum_{v=0}^8 \{C_{7v}(1+v\theta)(\theta-1)^v\} \quad (2.12)
\end{aligned}$$

β_3 = Presión Reducida

σ_3 = Entropía Reducida

ε_3 = Entalpía Reducida

θ = Temperatura Reducida

β = Presión Reducida

χ = Volumen Reducido

C_{xyz} = Constantes¹⁰

2.1.1.4 ECUACIONES PARA LA REGION CUATRO

Las ecuaciones para el cálculo de las propiedades de esta región son dependientes de la temperatura y el volumen específico; debido a esto, se realiza el mismo tratamiento que en las ecuaciones de la región tres. Hallando una aproximación del volumen reducido mediante el método de la Secante.¹¹

Las ecuaciones para obtener la presión, la entropía y la entalpía reducidas en la región cuatro se detallan a continuación:

$$\beta_4 = \beta_3 + \sum_{\mu=3}^4 \sum_{v=0}^4 v D_{\mu v} y^\mu \chi^{-v-1} - y^{32} \sum_0^2 v D_{5v} \chi^{v-1} \quad (2.13)$$

$$\sigma_4 = \sigma_3 + \frac{\sum_{\mu=3}^4 \sum_{v=0}^4 v D_{\mu v} y^{\mu-1} \chi^{-v} - 32y^{31} \sum_0^2 D_{5v} \chi^v}{1 - \theta_1} \quad (2.14)$$

¹⁰ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.21 (Ver anexo 1)

¹¹ CHAPRA, Steven; Métodos Numéricos para ingenieros; Mc-Graw Hill; México D.F.; 1988; Métodos Abiertos (Ver anexo 2)

$$\begin{aligned} \varepsilon_4 = \varepsilon_3 + \sum_{\mu=3}^4 \sum_{\nu=0}^4 \nu D_{\mu\nu} \left\{ (1-\mu+\nu)y + \frac{\mu}{1-\theta_1} \right\} y^{\mu-1} \chi^{-\nu} \\ - y^{31} \sum_{\nu=0}^2 D_{5\nu} \left\{ (31+\nu)y - \frac{32}{1-\theta_1} \right\} \chi^{\nu} \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$y = \left(\frac{1-\theta}{1-\theta_1} \right) \quad (2.16)$$

β_3 = Presión Reducida en la región tres

β_4 = Presión Reducida en la región cuatro

σ_3 = Entropía Reducida en la región tres

σ_4 = Entropía Reducida en la región cuatro

ε_3 = Entalpía Reducida en la región tres

ε_4 = Entalpía Reducida en la región cuatro

θ = Temperatura Reducida

β = Presión Reducida

χ = Volumen Reducido

D_{xy} = Constantes¹²

θ_1 = Constante¹³

2.1.1.5 ECUACIONES PARA LAS CURVAS LÍMITE DE LAS DIFERENTES REGIONES

Las diferentes regiones están limitadas por una serie de curvas e isothermas de las cuales es preciso detallar la función K y la función β

La función K determina la presión de saturación reducida, ingresando como variable la temperatura con un límite igual a la temperatura del punto crítico. Dicha función permite establecer si el estado que se está analizando es líquido o gaseoso.

¹² ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.22 (Ver anexo 1)

¹³ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.22 (Ver anexo 1)

$$\beta_k(\theta) = \exp \left[\frac{1}{\theta} \frac{\sum_{v=1}^5 k_v (1-\theta)^v}{1 + k_6(1-\theta) + k_7(1-\theta)^2} - \frac{(1-\theta)}{k_6(1-\theta)^2 + k_9} \right] \quad (2.17)$$

$\beta_k(\theta)$ = Función K

θ = Temperatura Reducida

k_x = Constantes¹⁴

La función β determina el límite entre la región dos y tres, ingresando como variable la temperatura con un límite inferior igual a la temperatura del punto crítico y un límite superior de 800 °C.

$$\beta = \beta_L(\theta) = L_0 + L_1\theta + L_2\theta^2 \quad (2.18)$$

β = Función β

θ = Temperatura Reducida

L_x = Constantes¹⁵

2.2 ESTRATEGIAS DE PROGRAMACION

El desarrollo de un software toma en cuenta la mayoría de las aplicaciones y ventajas del lenguaje de programación utilizado, en el caso del presente trabajo; Visual Basic 6.0 permite obtener una interfaz gráfica de gran alcance para el usuario y de fácil desarrollo para el programador. Además, permite establecer enlaces con otros programas para transmisión de datos, lo que lo hace capaz de simular el comportamiento de procesos.

2.2.1 RECONOCIMIENTO DEL COLOR

El reconocimiento del color se realiza mediante la aplicación del método Point en el evento MouseMove de un objeto, como un formulario o un PictureBox, permitiendo así reconocer el color del punto que se encuentra ubicado bajo el mouse.

¹⁴ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.22 (Ver anexo 1)

¹⁵ ASME; ASME Steam Tables; ASME; New York; 1967; Pag.23 (Ver anexo 1)

El uso de esta aplicación es muy importante; ya que pueden elaborarse gráficas base o plantillas que no se encuentren a la vista del usuario pero que contengan información que sea capaz de ser recuperada y desplegada. Dichas plantillas pueden ser elaboradas en cualquier programa de dibujo o mediante los métodos de dibujo en Visual Basic, tomando en cuenta las limitaciones que este posee.

2.2.2 ELABORACION DE PLANTILLAS PARA LA LECTURA DE DATOS

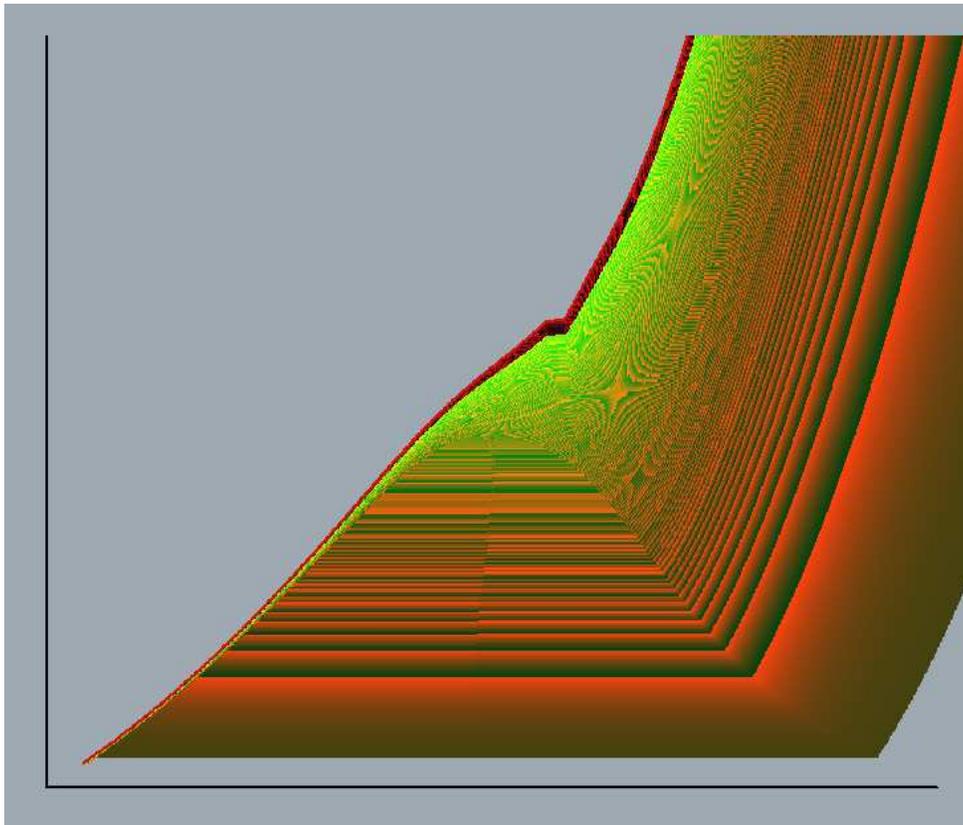


Fig. 2. 3.- Diagrama T-S en el cual se encuentra codificado en el color los valores de presión¹⁶

Visual Basic 6.0 permite la elaboración de gráficos y curvas mediante la aplicación del método Line, el mismo que permite asignar color a la línea dibujada, mediante la función RGB. Esto permite la elaboración de plantillas que contengan información codificada en el color y que pueda ser recuperada en cualquier

¹⁶ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico.

momento, mediante la aplicación del método Point, analizado en la sección 2.2.1 de este capítulo.

En el presente proyecto se desarrolló un programa adicional para la elaboración de plantillas para el diagrama T-S. Se elaboraron dos tipos de plantillas, una para obtener valores de presión como se observa en la figura 2.3 y la otra para valores de entalpía como se observa en la figura 2.4

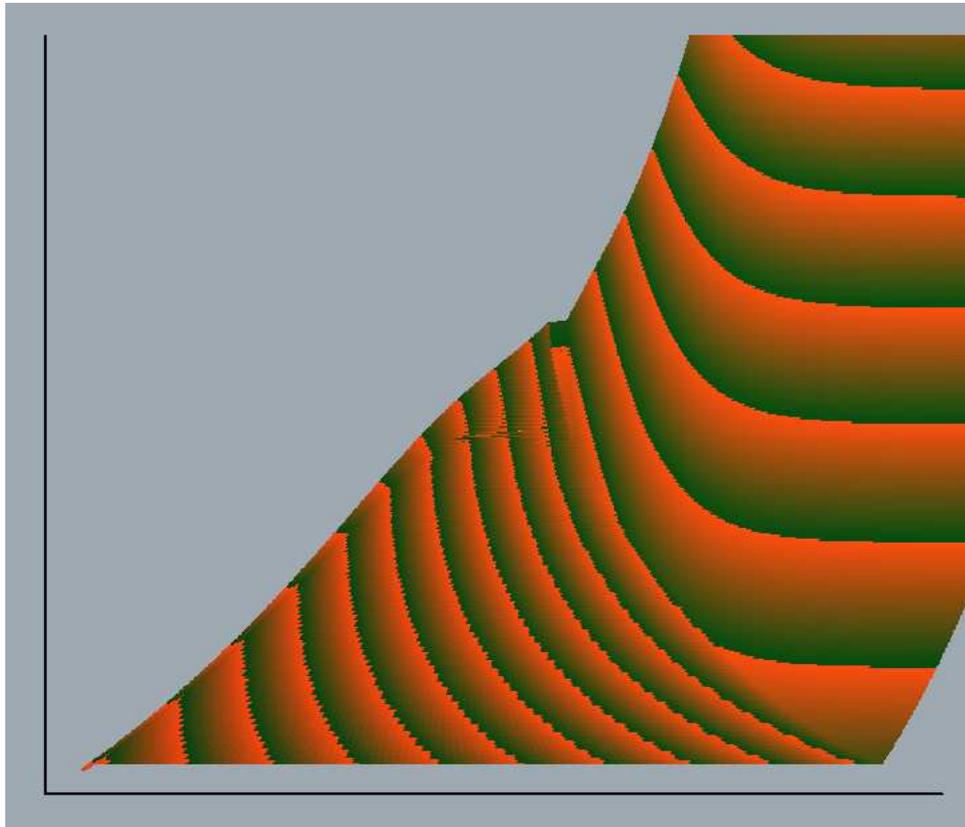


Fig. 2. 4.- Diagrama T-S en el cual se encuentra codificado en el color los valores de entalpía¹⁷

Este tipo de plantillas permite recuperar y visualizar las propiedades del agua de manera rápida, ya que elimina por completo la gran cantidad de operaciones necesarias para obtener las propiedades, minimizando el uso de memoria del computador.

¹⁷ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico.

2.2.2.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA PARA ELABORAR PLANTILLAS DEL DIAGRAMA T-S

Este programa fue desarrollado en Visual Basic 6.0 basándose en las ecuaciones empíricas para el cálculo de propiedades detalladas en la sección 2.1.1 de este capítulo, tomando en cuenta las regiones en que estas están aplicadas y sus curvas límite.

La gráfica de los diagramas T-S fue obtenida mediante la aplicación del método line, haciendo variar la temperatura en intervalos pequeños, manteniendo la presión constante y obteniendo como resultado la entropía. El programa inicia la graficación con una temperatura de 26° C con incrementos de temperatura de 2° C y con una presión de 4 Kpa, una vez que ha llegado a la línea de líquido saturado empieza a variar la calidad de la mezcla a temperatura constante hasta llegar a un 100 %, para posteriormente continuar con la región de vapor sobrecalentado. Posteriormente llega hasta un límite de 800° C y comienza una nueva curva con una presión mayor en la cual se vuelve a variar la temperatura. Es necesario mencionar que las curvas siempre se realizan siguiendo una línea de presión constante con la diferencia de que en uno de los casos se codifica la presión y en el otro la entalpía en el color asignado a la línea dibujada.

Como resultado se obtiene la gráfica de la figura 2.3, en la cual se pueden observar una distribución homogénea del color siguiendo el patrón de las líneas de presión constante y la grafica de la figura 2.4, en la cual se puede observar una distribución homogénea del color siguiendo el patrón de las líneas de entalpía constante.

2.2.3 ANIMACIONES

El desarrollo de la parte didáctica de un software requiere de la simulación gráfica de procesos, en este caso llamados animaciones, los mismos que permiten un aprendizaje visual mas óptimo, que acompañado de una explicación mediante audio logran una combinación de gran alcance y entendimiento para el usuario.

A continuación se detallan dos formas sencillas de desarrollar animaciones que se utilizaron en este proyecto:

- Animaciones con cambio de imagen

- Animaciones secuenciales

2.2.3.1 ANIMACIONES CON CAMBIO DE IMAGEN

Este tipo de animaciones son de fácil desarrollo, ya que, la simulación gráfica del proceso se da gracias al cambio periódico de dos imágenes con la ayuda de un objeto Timer. El desarrollo de dichas imágenes se realiza en cualquier programa de dibujo y regularmente indican el flujo de un fluido con la ayuda de flechas como se observa en la figura 2.5

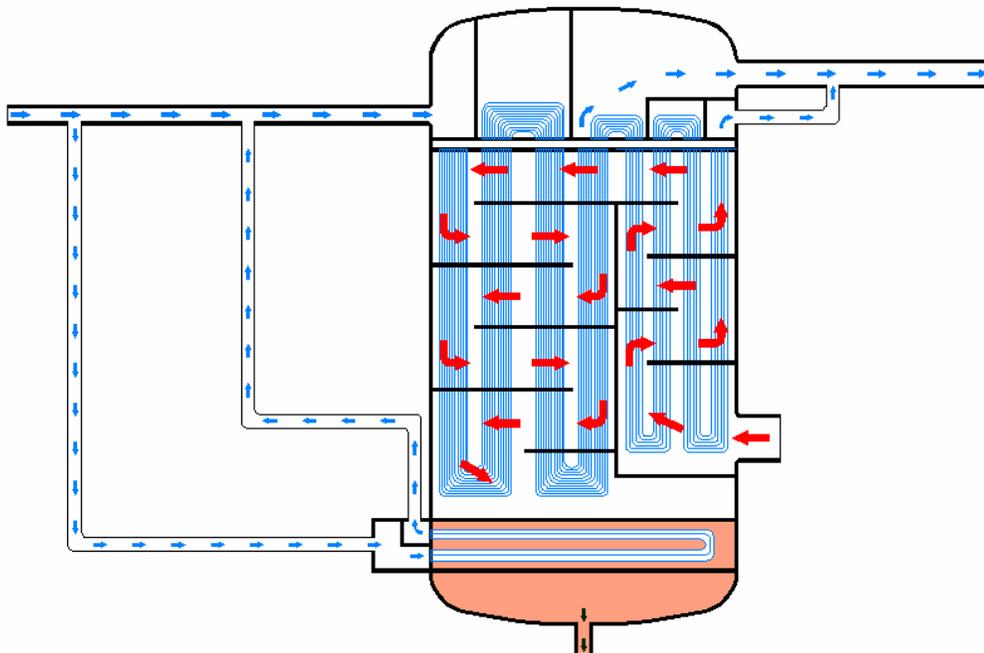


Fig. 2. 5.- El gráfico representa una de las imágenes utilizadas para la simulación de un intercambiador de calor de superficie¹⁸

2.2.3.2 ANIMACIONES SECUENCIALES

Este tipo de animaciones permiten al usuario reconocer la secuencia que sigue un fluido al atravesar una serie de equipos o procesos, lo cual es posible obtener, aplicando el método Line combinado con la función Time, logrando así graficar

¹⁸ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico.

líneas, cuyas coordenadas anteriormente han sido establecidas y almacenadas en una matriz. Como resultado, se obtiene líneas cuya longitud aumenta periódicamente en una dirección establecida, generando un efecto de flujo en una determinada secuencia de procesos.

2.2.4 TABLAS DE ACCESO A FORMULARIOS

El acceso a un determinado formulario puede requerir del ingreso de ciertos parámetros. Esto se logra asociando dichos parámetros a las celdas de un control MSFlexGrid con la ayuda de un control Data y programando sobre el evento DbIClick del control MSFlexGrid, con esto se logra visualizar los parámetros dentro de una tabla e ingresar a un formulario haciendo doble clic sobre las variables de interés de la tabla como se observa en la figura 2.6.

ANALISIS DE LA EFICIENCIA DE LA CTE



Fig. 2. 6.- Acceso a un formulario de análisis de la eficiencia mediante un botón de comando y mediante una tabla de acceso¹⁹

2.2.5 VARIACION DE PARAMETROS MEDIANTE SCROLLBAR

La variación de ciertos parámetros utilizados en la elaboración de cálculos es importante al momento de evaluar la influencia que estos representan. Dicha

¹⁹ Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Parte de pantalla: Menú Principal.

variación puede ser cuantificada visualmente, relacionado el valor del parámetro con la posición de un ScrollBar, obteniendo como resultado un controlador visual. Además es posible indicar los valores máximo, mínimo y el valor actual del parámetro, obteniendo la capacidad de variar dicho parámetro de forma controlada y coherente como se observa en la figura 2.7.

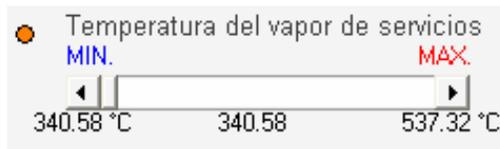


Fig. 2. 7.- ScrollBar utilizado para la variación de un parámetro en el cálculo de la eficiencia²⁰

2.2.6 GRAFICOS DE BARRAS

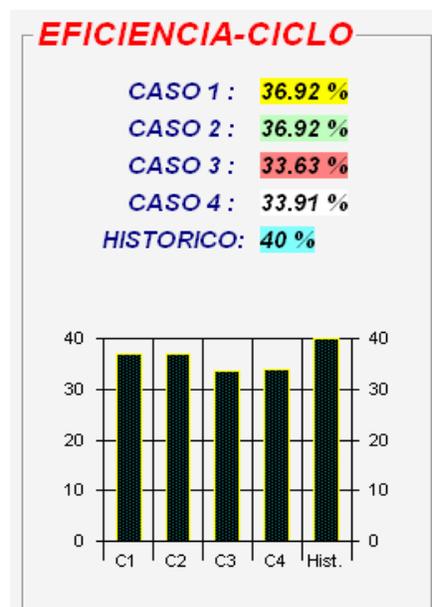


Fig. 2. 8.- Gráfico de barras utilizado para la comparación de valores de eficiencia²¹

²⁰ Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Parte de pantalla: Análisis de la eficiencia de la CTE.

²¹ Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Parte de pantalla: Análisis de la eficiencia de la CTE.

La representación de resultados en gráficos de barras se vuelve de gran utilidad el momento de comparar valores.

El despliegue de un gráfico de barras se logra utilizando el control MsChart, asignando al eje X los parámetros a comparar y al eje Y los valores de los mismos obteniendo como resultado un gráfico similar al de la figura 2.8. Esta figura contiene en la parte superior los parámetros con sus respectivos valores a comparar y en la parte inferior el gráfico de barras.

2.2.7 TABLAS RELACIONADAS CON GRAFICOS

Debido a la gran cantidad de información escrita que puede contener un gráfico, esta se ha colocado en forma de abreviaciones, las mismas que se encuentran detalladas en tablas similares a las de la figura 2.9. Esto se logra utilizando el control MSFlexGrid y asociando sus celdas a una base de datos de Excel mediante un control Data.

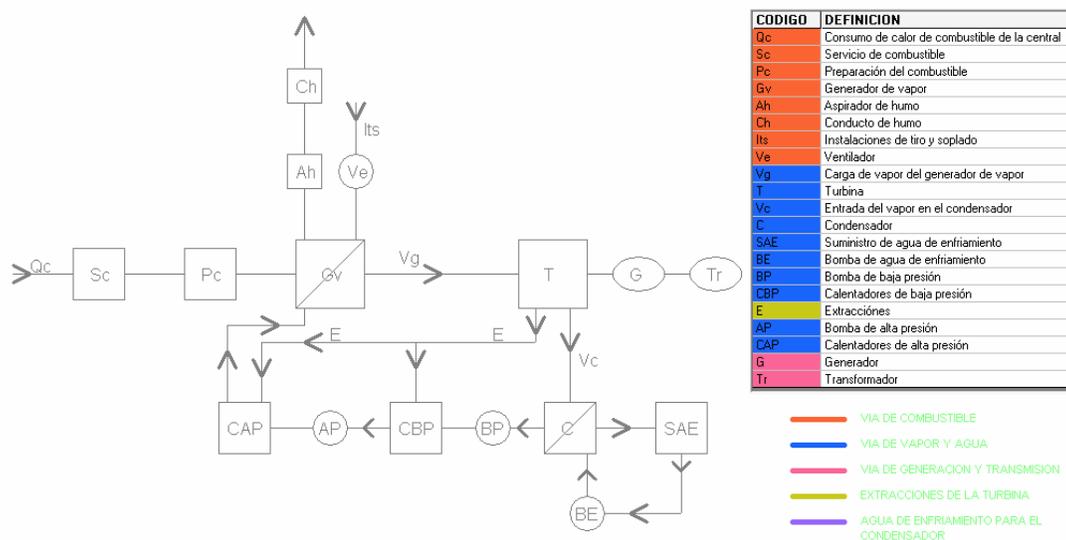


Fig. 2. 9.- Ventana Esquema Tecnológico de la CTE²²

²² Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Parte de la pantalla Esquema Tecnológico de una central Termoeléctrica.

2.2.8 CONEXIÓN CON OTROS PROGRAMAS

Debido a la gran cantidad de variables que un programa es capaz de manejar y la gran cantidad de resultados que es capaz de producir, la comunicación con programas de manejo de datos se vuelve imprescindible. En el caso del programa desarrollado en este proyecto se establecieron conexiones con bases de datos provenientes de Microsoft Excel y Microsoft Access. Esto se logra utilizando un control data y enlazándolo a la base de datos de interés del programa, logrando así: extraer o almacenar información.

CAPITULO 3

ESTRUCTURA GENERAL DEL SOFTWARE

El presente capítulo tiene como objetivo dar información detallada acerca de cómo se encuentra estructurado el software, detallando a la vez la función de cada uno de los objetos y esquemas presentes en cada una de las ventanas que posee el programa.

3.1 ESTRUCTURA BASICA

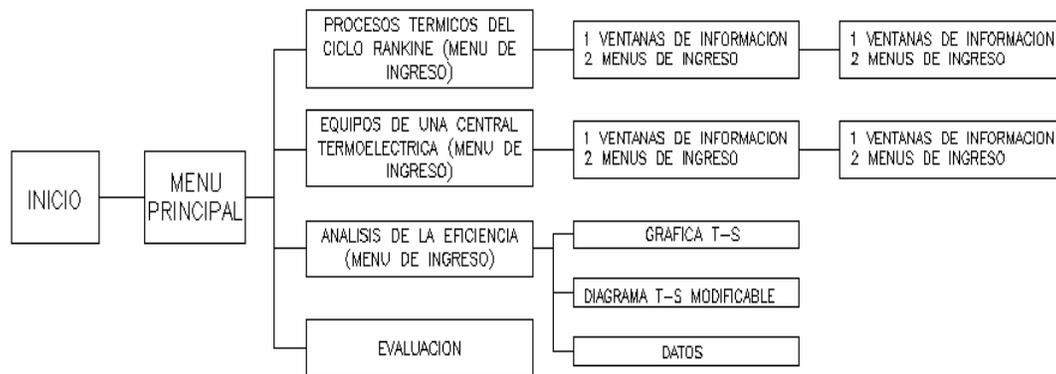


Fig. 3. 1.- Esquema de la estructura básica del programa¹

El programa presenta una estructuración básica orientada hacia tres aspectos fundamentales que son: la parte educativa, la parte de análisis de la eficiencia y la parte de evaluación de conocimientos adquiridos. Para esto se utiliza la estructuración básica detallada en la figura 3.1

En la figura 3.1 se puede observar cinco niveles de acceso a la información. Al ingresar, el programa carga la ventana de Inicio la cual es únicamente

¹ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

informativa. A continuación carga la ventana Menú Principal, la cual es la encargada de direccionar al usuario hacia las partes: educativa, análisis de la eficiencia y evaluación de conocimientos.

La parte teórica se aborda a través de las ventanas de Procesos Térmicos del Ciclo Rankine y Equipos de una Central Termoeléctrica. Dichas ventanas tienen acceso a posteriores ventanas de Información y Menús de Ingreso.

La parte de cálculo de la eficiencia se aborda a través de la pantalla Análisis de la eficiencia, la cual es un menú de ingreso a las pantallas Gráfica T-S, Diagrama T-S Modificable y Datos.

La parte de evaluación se aborda a través de la pantalla del mismo nombre, en la cual es posible realizar una evaluación de los conocimientos adquiridos en el software.

3.1.1 VENTANA DE INICIO

La Ventana de Inicio así como las diferentes zonas pueden observarse en la figura 3.2 y se detallan a continuación:

- La Zona de Información General contiene los detalles acerca del Nombre del Programa, versión y datos del lugar y razón de su creación.
- La Zona de Esquemas contiene una serie de gráficas referentes a ciertas partes del programa, los mismos que le dan a esta ventana un correcto aspecto desde el punto de vista estético.
- La Zona de Información de Autores contiene el Nombre de los autores del programa.
- La Zona de Botones contiene el botón de Ingreso el mismo que permite acceder a la ventana Menú Principal y el botón Salir el mismo que permite cerrar el programa.



Fig. 3. 2.- Ventana de Inicio²

3.1.2 VENTANA MENU PRINCIPAL

Esta ventana es la encargada de direccionar al usuario hacia las diferentes aplicaciones que posee el software, sean estas: educativas, análisis de la eficiencia o evaluación de conocimientos adquiridos. Las zonas que posee esta ventana se detallan a continuación y es posible observarlas en la figura 3.3:

- La zona de botones permite el ingreso a la ventana que hace referencia el nombre de cada botón
- La zona de título contiene el nombre de la Ventana.
- La zona de análisis de la eficiencia permite ingresar a la ventana Análisis de la Eficiencia por dos medios, mediante el botón Buscar Archivo de Datos, para el caso en el que el usuario conoce la ubicación del archivo

² Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Ventana de Inicio.

que contiene las variables necesarias para calcular la eficiencia y mediante la tabla de Datos Históricos en la que se tienen una serie de archivos que contienen datos de la Central, clasificados de acuerdo a fecha y potencia generada.

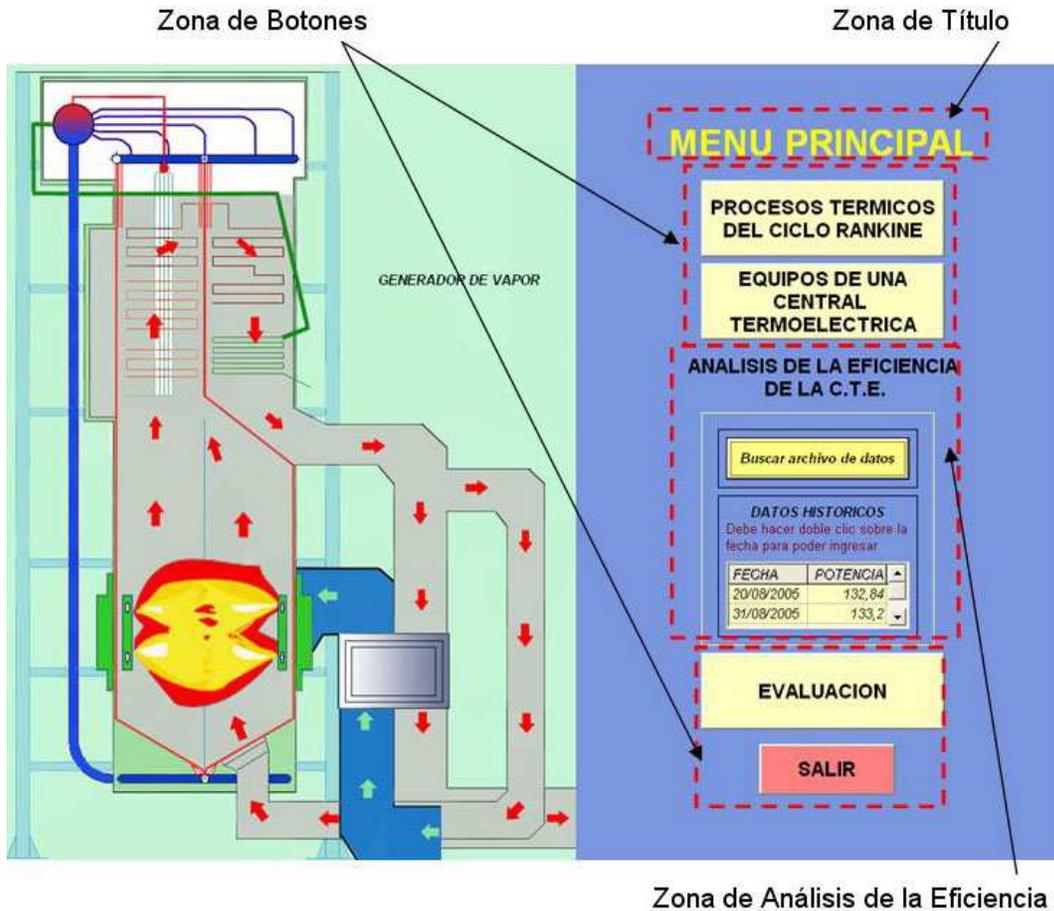


Fig. 3. 3.- Ventana Menú Principal³

3.1.3 VENTANA MENU DE INGRESO

Este tipo de ventana contiene una serie de botones de acceso que permiten ingresar a la ventana a la que hace referencia cada botón. Debido a que el programa desarrollado contiene una gran cantidad de ventanas de este tipo, estas se han resumido en dos y se pueden observar en las figuras 3.4 y 3.5.

³ Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Ventana de Menú Principal.

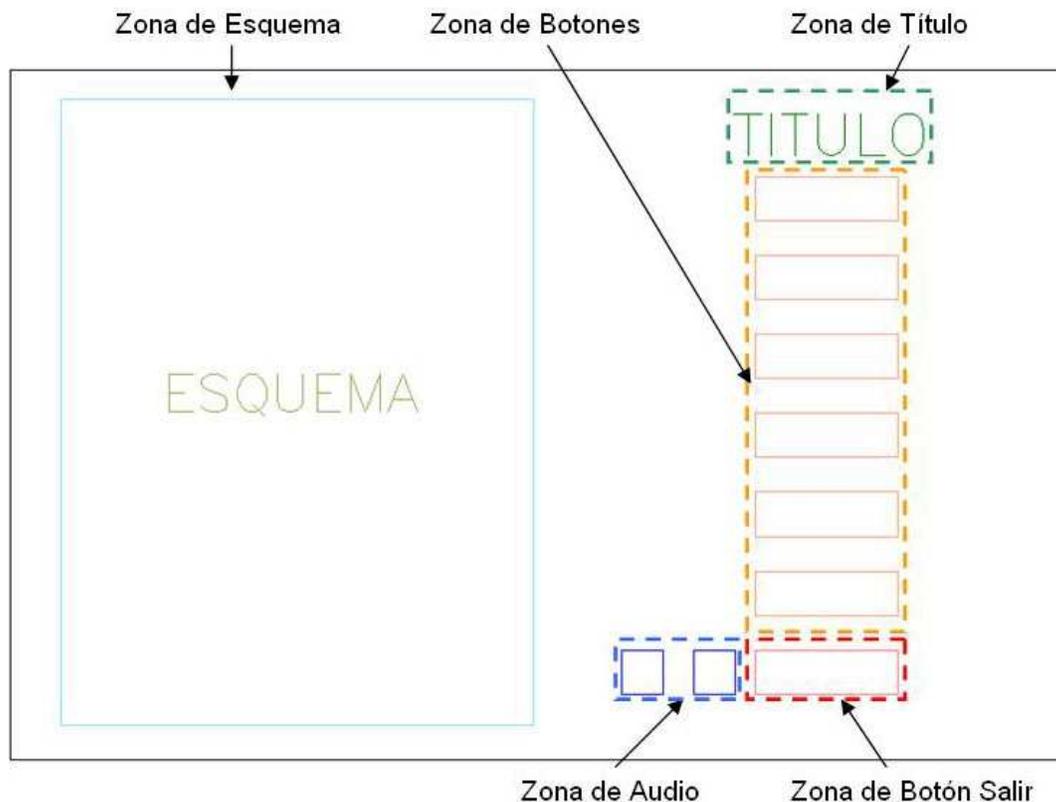


Fig. 3. 4.- Esquema de un tipo de ventana de ingreso a la parte teórica (a)⁴

Además las diferentes zonas que se observan en las figuras mencionadas se detallan a continuación:

- La Zona de Título contiene el título que hace referencia al tema en general al que se puede acceder.
- La Zona de Botones contiene un conjunto de botones que permiten ingresar a una parte más detallada del tema que hace referencia el título de la ventana.
- La Zona de esquemas contiene un conjunto de esquemas relacionados con los temas abordados por este programa, los mismos que mejoran la presentación de la ventana.
- La Zona de audio contiene dos botones, que permiten escuchar explicaciones teóricas y explicaciones acerca del manejo de las ventanas.

⁴ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

- La Zona de Botón Salir contiene un botón que permite regresar al menú anterior al que contiene la ventana que se encuentra activa.

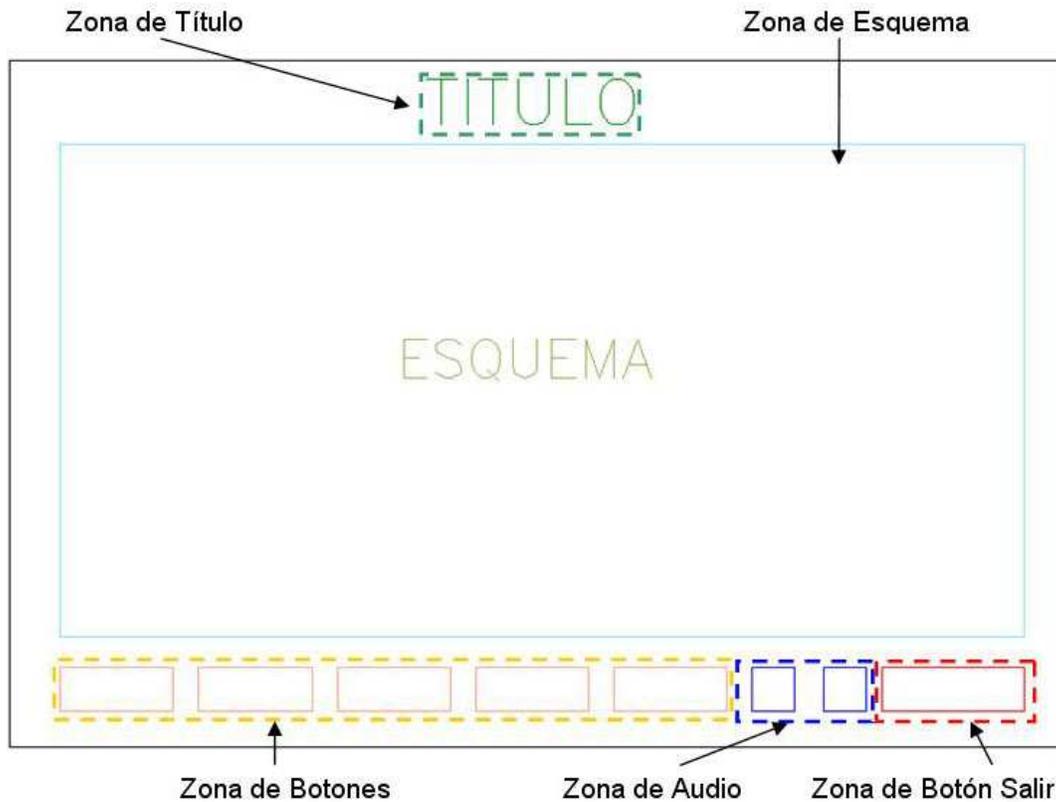


Fig. 3. 5.- Esquema de un tipo de ventana de ingreso a la parte teórica (b)⁵

3.1.4 VENTANA DE INFORMACION

Este tipo de ventana se utiliza tanto para la descripción termodinámica del comportamiento de los equipos de la Central Termoeléctrica Esmeraldas, así como, para la descripción física y del funcionamiento de los mismos. Para lograr dicha descripción se utilizan dos tipos de ventanas que se pueden observar en las figuras 3.6 y 3.7.

La figura 3.6 detalla una ventana que permite realizar una descripción teórica mediante audio y un esquema simplificado para lograr el objetivo de instruir al usuario.

⁵ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

La figura 3.7 detalla una ventana que permite visualizar una simulación, la cual puede hacer referencia al comportamiento termodinámico de los equipos de la CTE o a su funcionamiento y descripción física. Esto permite al usuario conjugar la parte teórica con la parte del funcionamiento físico de los diferentes equipos de la CTE.

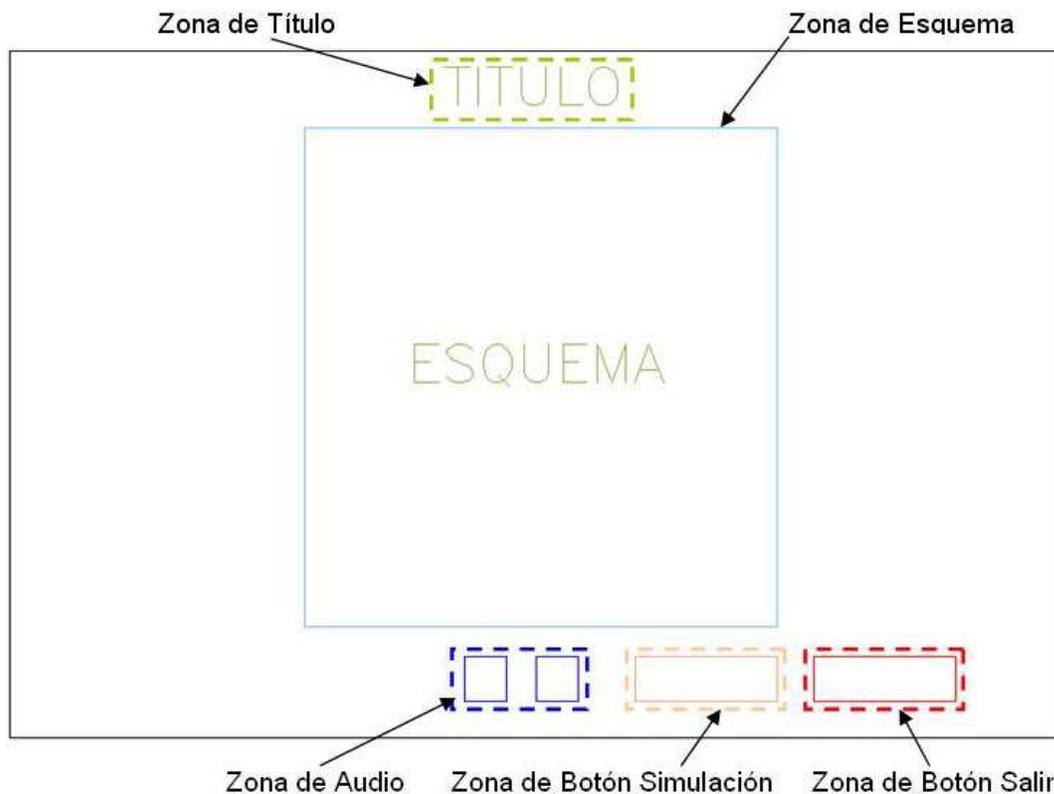


Fig. 3. 6.- Esquema de una Ventana de Información para descripción teórica⁶

Las diferentes zonas de los esquemas que se observan en las figuras 3.6 y 3.7 se describen a continuación:

- La Zona de Título contiene el título que hace referencia al tema que se va a describir en la ventana.
- La Zona de Esquema contiene un esquema representativo del tema que está desarrollado en la ventana.
- La Zona de Simulación contiene una simulación que permite mejorar la comprensión del usuario acerca de los temas desarrollados en el

⁶ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

programa. Dicha simulación fue desarrollada de acuerdo a lo expuesto en la sección 2.2.3.1 de este proyecto.

- La Zona de audio contiene dos botones, que permiten escuchar explicaciones teóricas y explicaciones acerca del manejo de la ventana.
- La Zona de Botón Salir contiene un botón que permite regresar al menú anterior o la ventana anterior a la que contiene la ventana que se encuentra activa.

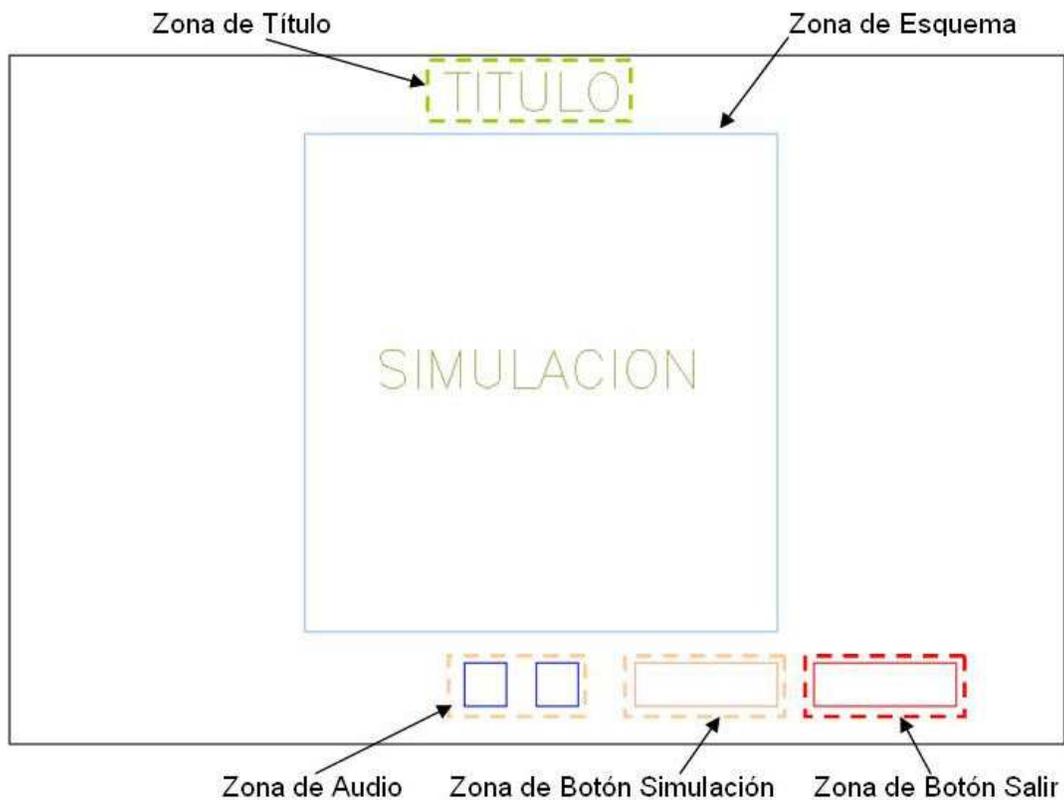


Fig. 3. 7.- Esquema de una Ventana de Información para simulaciones⁷

3.1.5 VENTANAS DE ANALISIS DE LA EFICIENCIA

El análisis de la eficiencia del ciclo Rankine de la CTE es una de las partes mas importantes de este proyecto ya que para esto se involucran una gran cantidad de recursos teóricos e informáticos que permiten obtener resultados

⁷ ELABORADO POR: Raúl Castillo y Juan Pico

prácticamente en tiempo real. Dichos resultados se presentan en las ventanas Grafica T-S, Diagrama T-S Modificable y Datos.

3.1.5.1 ESTRUCTURA PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA

El cálculo de la eficiencia es producto de todas las aplicaciones que se han desarrollado en este proyecto. El proceso seguido para el cálculo de la eficiencia se encuentra descrito en la sección 1.4.1 y el cálculo de las propiedades de los diferentes puntos de interés del ciclo se ha realizado en base a las ecuaciones descritas en la sección 2.4.8.

Los datos considerados son tomados de un archivo de Excel generado por el Delta V (programa de control de la CTE), de donde se toman los valores de los parámetros que se muestran en el anexo 3. Para un adecuado funcionamiento se debe verificar que las columnas de datos tengan el nombre mostrado en el anexo. Además los datos son verificados para comprobar que no sean negativos, si estas condiciones no llegaran a cumplirse no podría calcularse la eficiencia.

Las pantallas que se describen a continuación despliegan la información obtenida por el programa en graficas y tablas.

3.1.5.2 VENTANA DIAGRAMA T-S

Esta ventana contiene la aplicación teórico práctica mas importante del programa ya que logra conjugar el análisis del ciclo Rankine en un diagrama T-S real de la CTE con un diagrama esquemático de la configuración de los equipos en dicha central y además presenta los valores de la eficiencia del ciclo y de planta en base a los parámetros analizados.

Esta ventana permite además conocer los valores de presión, temperatura, entropía y entalpía con solo mover el mouse sobre el diagrama T-S. Esto se logra haciendo uso de plantillas con información codificada cuya obtención se detalla en la sección 2.2.2 de este proyecto. Además permite conocer el comportamiento termodinámico de los diferentes equipos, ya que, al mover el mouse sobre las diferentes líneas que conforman el diagrama T-S es posible visualizar un círculo sobre el equipo que lleva a cabo el proceso, en el esquema de la parte superior y se puede observar el cambio de color de un

círculo que se encuentra junto al nombre del equipo o proceso en la tabla de la parte izquierda que se observa en la figura 3.8. La relación entre la tabla con los nombres de los equipos y procesos, el esquema y el diagrama T-S puede visualizarse a través de cualquiera de ellos, esto significa que si pasamos el mouse sobre uno de ellos su relación se visualizará en los otros dos.

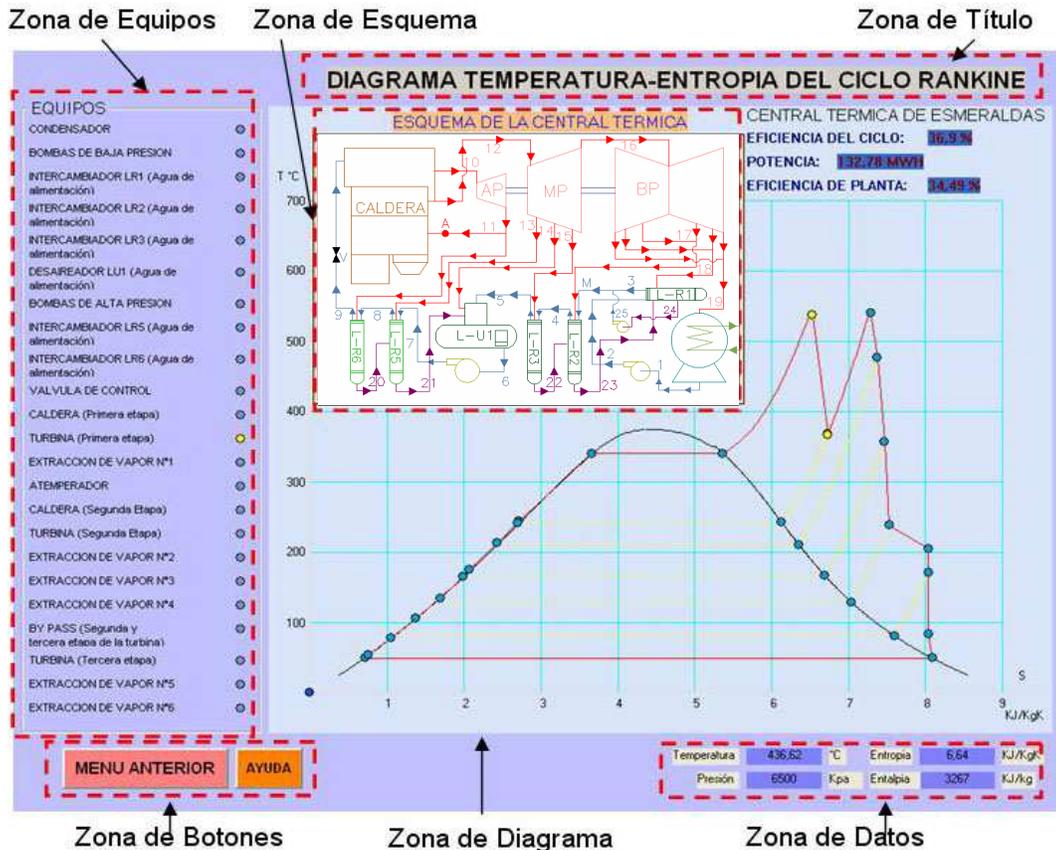


Fig. 3. 8.- Ventana Diagrama T-S⁸

Las diferentes zonas de la figura 3.8 se detallan a continuación:

- La Zona de Título contiene el título que hace referencia al tema que se va a describir en la ventana.
- La Zona de Esquema contiene un esquema de la distribución de los equipos de la CTE.
- La Zona de Equipos contiene una lista con los nombres de los diferentes equipos y procesos de la CTE.

⁸ Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Ventana Diagrama T-s.

- La Zona de Botones contiene el botón que permite regresar al menú anterior y el botón que permite desplegar la ayuda acerca del manejo de esta ventana.
- La Zona de Diagrama contiene el diagrama T-S real de la CTE de acuerdo a los datos analizados por el programa.
- La Zona de Datos contiene las propiedades del diagrama T-S real, los mismos que cambian con el cambio de la posición del Mouse sobre el diagrama.

3.1.5.3 VENTANA DIAGRAMA T-S MODIFICABLE

La función básica de esta ventana es la de modificar los valores de ciertos parámetros de cálculo del ciclo rankine y compararlos entre si para conocer la influencia de los mismos en la eficiencia.

Los casos de eficiencia analizados comprenden el ciclo rankine de la CTE en las siguientes condiciones:

- Ciclo rankine sin regeneraciones
- Ciclo rankine sin las extracciones 1, 2, 3 de alta presión
- Ciclo rankine variando ciertos parámetros que han sido supuestos para el análisis general de la eficiencia
- Ciclo rankine real

Además dentro de esta ventana se encuentra una tabla que permite acceder a datos históricos de la eficiencia en base a fecha y potencia. Finalmente todos los valores de eficiencia son calculados y comparados.

En la figura 3.9 se observan diferentes zonas, las cuales se describen a continuación:

- La Zona de Título contiene el nombre de la ventana
- La Zona de Esquemas contiene dos esquemas en los que se puede comparar el ciclo real de la CTE con un ciclo que se encuentra trabajando en los mismos límites de presión pero sin regeneraciones.
- La Zona de Casos contiene la descripción de los diferentes casos de análisis de la eficiencia con una pequeña descripción y la posibilidad de variar determinados parámetros.

- La Zona de Históricos contiene una tabla de datos históricos que permite conocer la eficiencia de la CTE, la cual se despliega en la Zona de Comparación haciendo doble clic sobre cualquiera de los campos de la tabla.
- La Zona de Comparación contiene los valores de eficiencia de los diferentes casos analizados, además dichos valores se representan en un gráfico de barras.
- La Zona de Botones contiene el botón que permite regresar al menú anterior.

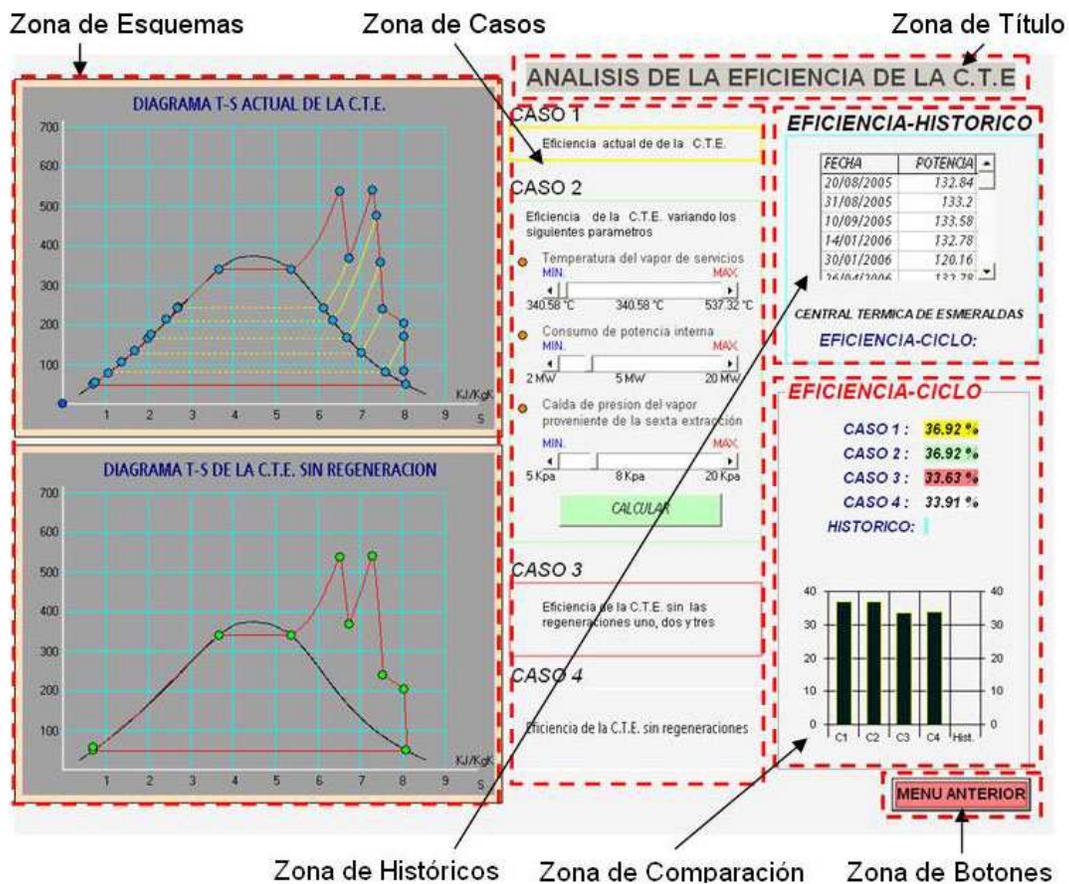


Fig. 3. 9.- Ventana Diagrama T-S Modificable⁹

⁹ Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Ventana Diagrama T-s modificable.

3.1.5.4 VENTANA DATOS

La función básica de esta ventana es la de presentar de manera óptima la gran cantidad de información recuperada y calculada. Para esto se utilizan dos tablas en las cuales se tabulan todos los parámetros importantes en el cálculo de la eficiencia así como algunos resultados. Además presenta un diagrama de la distribución de los equipos en la CTE; el cual contiene todos los puntos a los que hacen referencia las tablas para así lograr una descripción óptima del ciclo en base a ciertos parámetros y resultados.

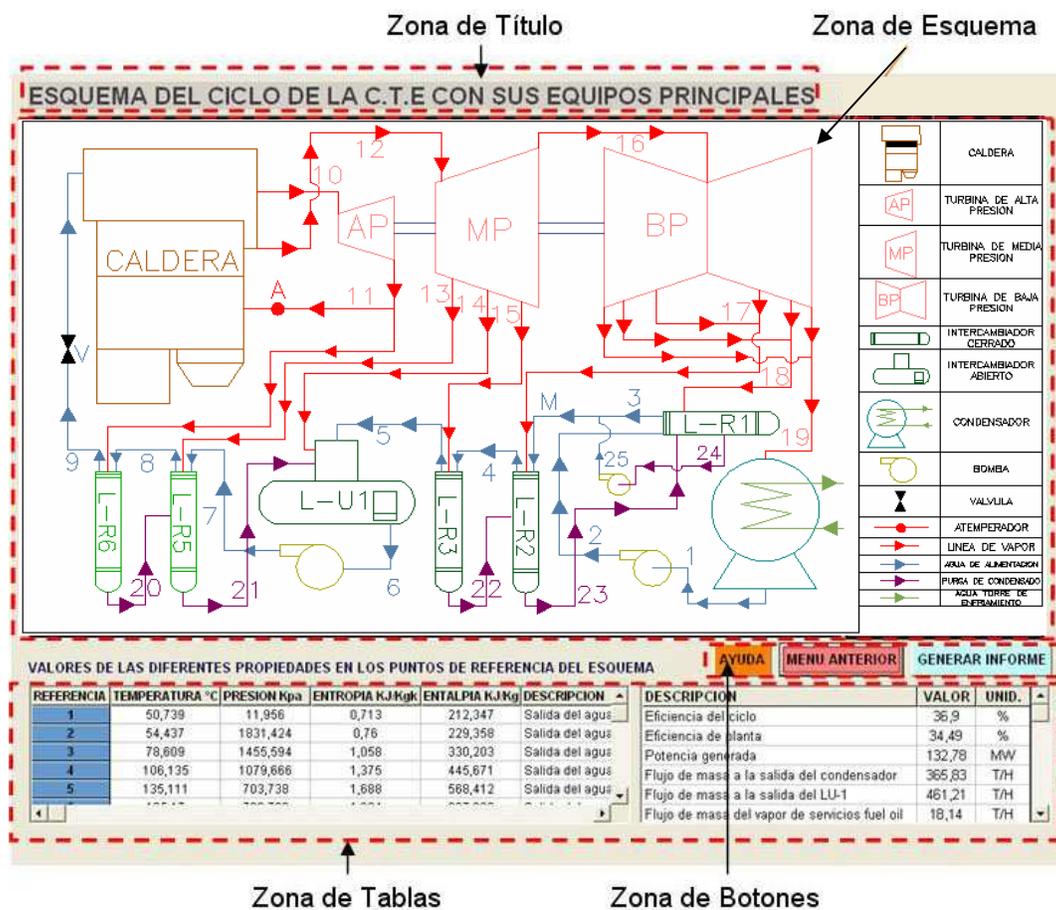


Fig. 3. 10.- Ventana Datos¹⁰

En la figura 3.10 se puede observar diferentes zonas de la Ventana de Datos las cuales se describen a continuación:

¹⁰ Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Ventana Datos.

- La Zona de Título contiene el nombre de la ventana
- La Zona de Esquemas contiene un esquema con la distribución de los equipos de la CTE con su respectiva descripción.
- La Zona de Tablas contiene dos tablas que permiten desplegar información.
- La Zona de Botones contiene los botones para: desplegar la ayuda acerca del manejo de la ventana, regresar al menú anterior y generar un informe en Excel con los diferentes valores desplegados en las tablas.

3.1.5.5 VENTANA DE EVALUACION

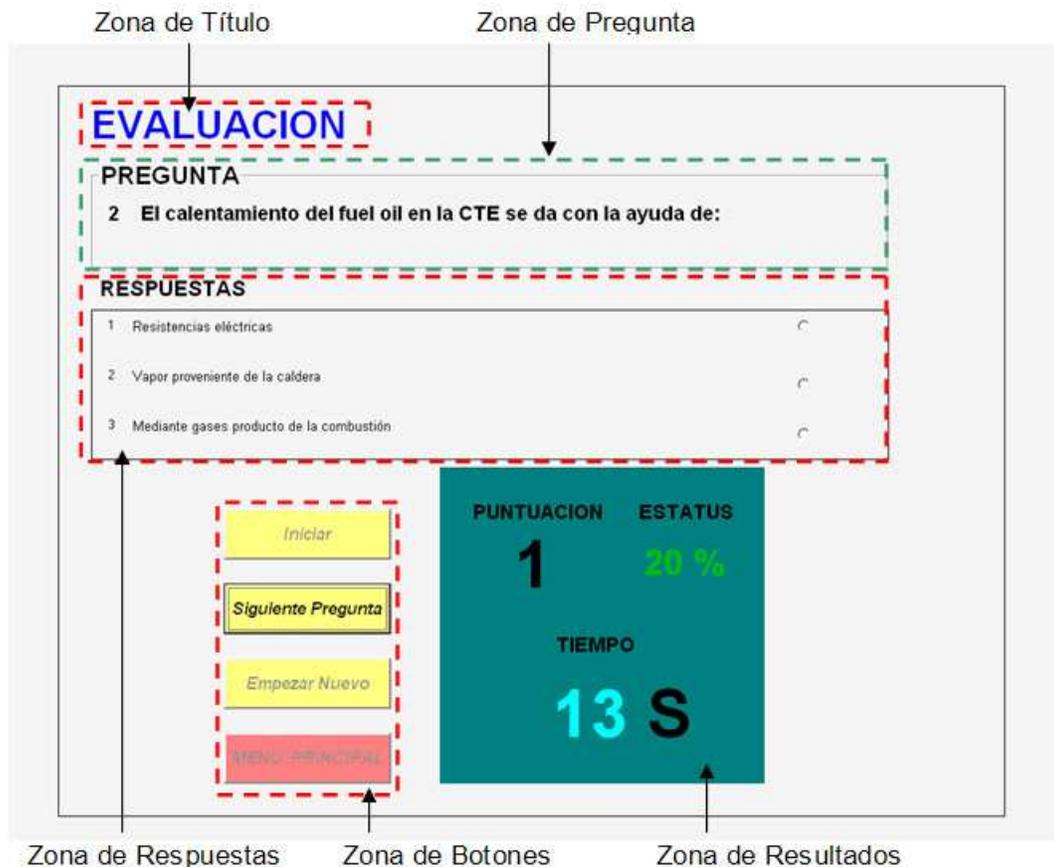


Fig. 3. 11.- Ventana Evaluación¹¹

La función básica de esta ventana es la de evaluar los conocimientos adquiridos en este software. Para esto se presenta un test de cinco preguntas,

¹¹ Software de Entrenamiento Termodinámico; Raúl Castillo y Juan Pico; Ventana Evaluación.

las mismas que son tomadas aleatoriamente de una base de datos, cada pregunta posee un tiempo límite de treinta segundos para ser contestada, dicho tiempo se muestra en la parte derecha de la pantalla y además se muestra el porcentaje de respuestas acertadas hasta el momento. En la figura 3.11 se puede observar las diferentes zonas de la Ventana de Evaluación las cuales se describen a continuación:

- La Zona de Título contiene el nombre de la ventana
- La Zona de Pregunta contiene la pregunta que se esta evaluando y su respectivo número.
- La Zona de Respuestas contiene tres opciones para la pregunta que está siendo evaluada.
- La Zona de Botones contiene los botones para: iniciar la evaluación, saltar a la siguiente pregunta, empezar una nueva evaluación y regresar al menú principal.
- La Zona de Resultados contiene el tiempo que ha transcurrido en cada pregunta, el número de preguntas acertadas y su respectivo porcentaje de acierto.

CAPITULO 4

APLICACIONES DEL PROGRAMA

Las diferentes aplicaciones que tiene el software han sido creadas con la finalidad de que el programa cumpla el objetivo de servir de herramienta en la capacitación de personal. Por lo cual cada una de las aplicaciones se encuentra dentro del área de la enseñanza. Enfocando el funcionamiento de las centrales termoeléctricas desde diferentes ángulos. De manera que estas aplicaciones son complementarias. Las aplicaciones consideradas son:

- Estudio termodinámico del ciclo Rankine.
- Estudio del ciclo de la CTE
- Descripción de los sistemas y equipos que componen la CTE
- Cada una de las cuales es detallada a continuación.

4.1 ESTUDIO TERMODINÁMICO DEL CICLO RANKINE

Debido a la trascendencia que tiene el ciclo Rankine en las centrales termoeléctricas de vapor y porque su comprensión es necesaria para poder entender la influencia que tienen los diferentes equipos que la componen, se ha desarrollado esta aplicación. A través de diagramas T-S se representa el proceso de cada uno de los equipos en el ciclo y los tipos de ciclos más comunes. Incluyendo en cada uno de los esquemas reproducciones de audio que incorporan información útil para una mejor descripción de los diagramas T-S. Es posible acceder a esta aplicación haciendo clic en el botón procesos del ciclo Rankine en el menú principal.

4.1.1 DIAGRAMA T-S

Muestra un diagrama T-s en el que se indican los puntos, líneas y regiones que deben conocerse antes de pasar a la representación de los procesos y ciclos.

4.1.2 COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DE LOS EQUIPOS DEL CICLO RANKINE

Mediante el uso de diagramas T-s se representa cada uno de los procesos que los equipos llevan a cabo dentro del ciclo Rankine. Los que incluyen el proceso real e ideal de la bomba, caldero, turbina, intercambiadores de superficie, condensador y desaereador.

4.1.3 CICLO RANKINE

Mediante el uso de esquemas de los equipos y la representación de ciclos en diagramas T-s, se muestra la manera en la que el ciclo Rankine funciona. Para lo cual se toman en cuenta tres tipos de este ciclo. El primero es el ciclo Rankine Simple, el segundo es un ciclo Rankine con recalentamiento y el tercero es un ciclo Rankine con recalentamiento y regeneración. Cada uno de los cuales cuentan con su esquema y diagrama T-s, los cuales se encuentran relacionados a través de números que representan un estado en el ciclo y que son mostrados en ambas representaciones.

4.2 ESTUDIO DEL CICLO DE LA CTE

Una vez que se comprende el comportamiento termodinámico de cada uno de los equipos que componen el ciclo Rankine es posible realizar un estudio del proceso termodinámico que es utilizado en la CTE. Para lo cual se hace uso del diagrama T-S que es elaborado con datos reales que han sido provistos por el programa de control de la CTE. Esta aplicación no solo se limita a la representación del ciclo, sino que además permite compararlo. Es posible acceder a esta aplicación, haciendo clic en el botón buscar dato e indicando la ubicación del archivo a emplear, o haciendo doble clic en una de las celdas que aparecen en la tabla Datos históricos en el menú principal. Dentro de esta aplicación se puede encontrar:

4.2.1 GRÁFICA T-S

Esta aplicación muestra un diagrama T-s a escala del ciclo de la CTE, que ha sido elaborado a partir de los datos seleccionados y en el que a través del

movimiento del cursor en la pantalla es posible obtener información del ciclo de la central. La información mostrada dependerá de la ubicación del cursor. Así, si el cursor se ubica en el diagrama T-s se mostrarán las propiedades del punto en el que se encuentre el cursor. Y por otra parte, es posible relacionar la representación del proceso en el diagrama T-s con el equipo que lleva a cabo dicho proceso, para lo cual, se puede ubicar el cursor sobre el nombre, representación en el esquema o proceso en el diagrama T-s del equipo.

La sección 3.1.5.2 de este proyecto, describe detenidamente el funcionamiento de la ventana de esta aplicación.

4.2.2 DIAGRAMA T-S MODIFICABLE

En esta ventana es posible comparar la influencia de algunos parámetros en la eficiencia. Para lo cual se han considerado cuatro casos, siendo uno de estos el de operación de la CTE en la fecha escogida al ingresar a esta aplicación. También, se considera el ciclo del CTE sin la presencia de las dos regeneraciones de alta presión y por último sin ninguna regeneración. Además, se puede modificar los valores de algunos de los parámetros considerados para el cálculo de la eficiencia. Adicionalmente, es posible comparar los resultados actuales con los valores obtenidos en otras condiciones reales. La sección 3.1.5.3 de este proyecto, describe detenidamente el funcionamiento de la ventana de esta aplicación.

4.2.3 DATOS

Aquí es posible encontrar los valores de las propiedades de cada uno de los puntos del ciclo, información adicional requerida para el cálculo de la eficiencia y los resultados obtenidos. Además es posible elaborar un archivo de Excel que contiene la información antes mencionada. La sección 3.1.5.4 de este proyecto, describe detenidamente el funcionamiento de la ventana de esta aplicación.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS QUE COMPONEN LA CTE

Esta aplicación tiene como objetivo mostrar el funcionamiento de los diferentes equipos y sistemas que componen la CTE, para lo cual se han empleado herramientas audiovisuales. Para ingresar a esta aplicación se debe hacer clic en el botón Equipos de una central Termoeléctrica, a partir de lo cual aparecerá una ventana que contiene un conjunto de botones que permiten ingresar a información de los diferentes equipos y sistemas. Entre las tareas que pueden ser llevadas a cabo se encuentran las siguientes:

- Mostrar fotos de los equipos de la CTE
- Mostrar el recorrido del agua por los diferentes equipos.
- Mostrar el esquema tecnológico de una central Termoeléctrica.
- Mostrar el nombre de los equipos representados en un esquema.
- Mostrar representaciones de los equipos: En los que se muestran los elementos que componen los equipos.
- Reproducir grabaciones de audio, las cuales dan información complementaria a la información visual mostrada.
- Mostrar animaciones del funcionamiento de los equipos. Para lo cual se emplean imágenes que representan los movimientos que interviene en un proceso. Estos movimientos pueden ser de fluidos o de elementos del equipo.

En la figura 4.1 se muestra la secuencia en la que es posible acceder a las diferentes ventanas que componen esta aplicación.

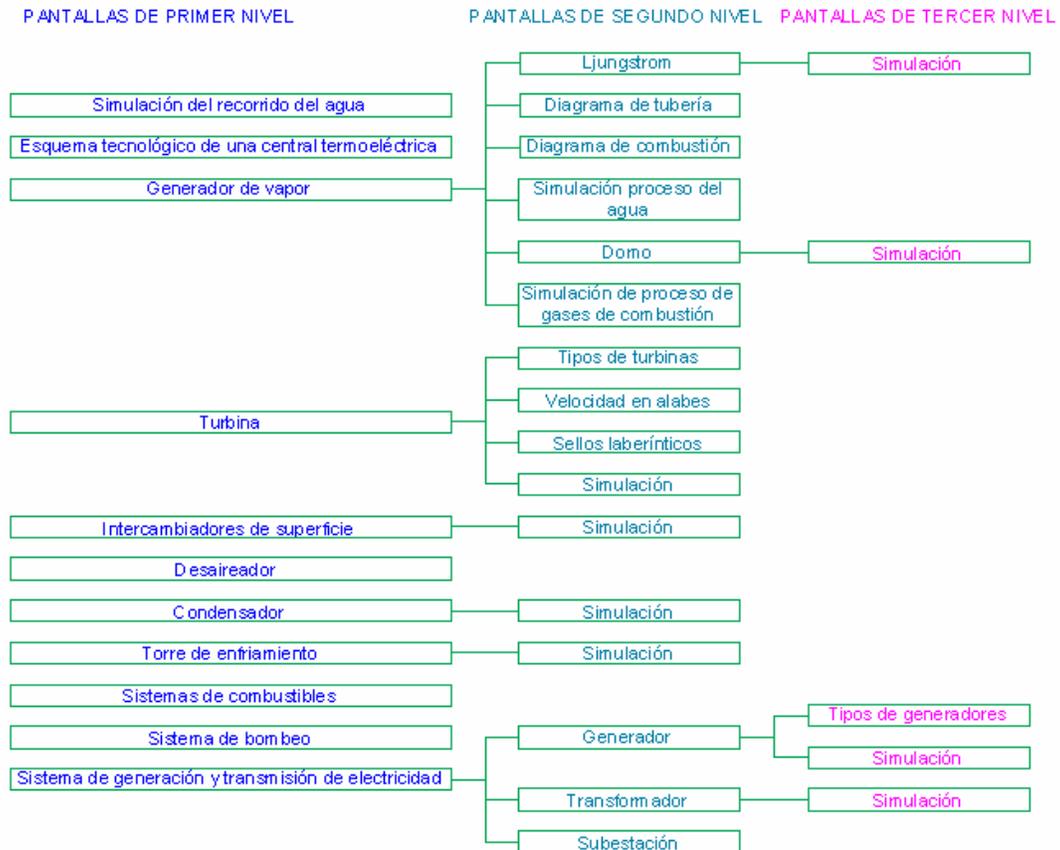


Fig. 4. 1.- Estructura de los accesos a nuevas pantallas a partir de Equipos de una central Termoeléctrica.

CAPITULO 5

ANALISIS DE RESULTADOS

El programa realiza una serie de cálculos para determinar la eficiencia de la CTE. Por lo que se hace necesario un análisis de los resultados obtenidos. Se determinan los errores cometidos en el cálculo de las propiedades que serán empleadas para determinar la eficiencia. Además el programa calcula la eficiencia para varios casos en los que se ha modificado el ciclo de la CTE. Se puede comparar los valores obtenidos en los diferentes casos, lo cual permite comprender la función que cumplen algunos de los equipos en el ciclo. De manera que en la primera parte de este capítulo se analizarán los errores y en la segunda los resultados de la eficiencia.

5.1 ANALISIS DE ERRORES PRODUCTO DE LAS ECUACIONES EMPLEADAS PARA EL CALCULO DE PROPIEDADES

Debido a que las ecuaciones empleadas para determinar las propiedades del agua han sido elaboradas en el año 1967, se hace necesario determinar cual es el margen de error que estas tienen. Para lo cual se han comparado los resultados obtenidos con las tablas de la Termodinámica de Cengel¹ y los calculados por el programa que incluye el CD² del mismo autor en su cuarta edición. Como los valores de las tablas se encuentran agrupados por regiones (líquido, vapor y saturado), en el presente capítulo se evaluarán en la misma forma. Además, los resultados de la región cercana al punto crítico son comparados con los datos proporcionados por el programa mencionado, puesto que en este lugar se pueden presentar problemas de convergencia, relacionados con el método numérico empleado, ya que este, presenta errores cuando la función posee una pendiente igual o cercana a cero como es el caso del punto crítico.

¹ CENGEL, Yunus; Termodinámica

² KLEIN, ALVARADO; Engineering Equation Solver; limited academic version 6.190; 2001

5.1.1 LIQUIDO COMPRIMIDO

Para evaluar esta región, se considera la presión y la temperatura como referencia para ubicar cada punto. Los valores han sido comparados en 32 puntos con presiones de 20, 30 y 50MPa y con temperaturas que varían desde 20 a 380°C. Los valores obtenidos por el programa y los tomados de la tabla³ de referencia son mostrados en el anexo 4. De donde se extraen los siguientes resultados:

- Existe un error que sobrepasa los límites aceptables, a la temperatura de 360°C y 50MPa, en el cual el error relativo alcanza un valor de 77% en la entalpía y de 22% en la entropía. Este no es un problema, relacionado con las ecuaciones, puesto que en ese punto se comparó los valores de las tablas termodinámicas del agua, realizadas en base a las ecuaciones utilizadas por este programa⁴ y se comprobó que no existía dicho error. De manera que dicho error debe ser producto del método numérico empleado en esa región. Y en vista de que el método empleado es el de la secante, el problema debe estar relacionado con la convergencia que es una deficiencia típica de este método.
- Los resultados muestran que el error que ocurre a 50 MPa solo sucede a la temperatura de 360 °C. Puesto que a 340 °C y a 380 °C los valores son válidos. Esto ocurre porque las ecuaciones que se emplean dividen en cuatro partes el área total en la que las ecuaciones son válidas (sección 2.1.1), y el error tiene lugar en la región que se encuentra entre 350 y 374,15 °C. Razón por la que los resultados a 340 y 380 °C no tienen inconvenientes, puesto que se encuentran fuera de dicha región. Además se debe notar que a 360 °C y a 30 MPa no existe este problema. Lo cual asegura la fiabilidad de los resultados dentro de la región mencionada hasta presiones de 30 MPa.

³ CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996; Tabla A-7

⁴ NOBOA, Homero; Tablas termodinámicas del Agua; Publicaciones Técnicas E.P.N.; Quito; 1984.

- Debido a que el error mencionado es un caso aislado, y al considerarlo para el análisis, se tienen valores que se alejan significativamente de los valores típicos, la evaluación se realiza excluyendo este valor.
- El valor promedio del error relativo es de alrededor del 0,04% en la entalpía y entropía. En tanto que el mayor error es del 0.25% en el caso de la entalpía y de 0,17% en el de la entropía. Lo cual convierte a esta región en la de mayor fiabilidad sin tomar en cuenta el error producido a 50 MPa y 360 °C.
- El uso de esta región es adecuado para los fines requeridos por el programa. Puesto que la CTE trabaja a presiones inferiores a los 16 MPa y con temperaturas que no sobrepasan los 360 °C en esta región. Mientras que el programa solo presenta problemas a presiones mayores a 30MPa y con temperaturas superiores a los 350 °C.

5.1.2 VAPOR SOBREALENTADO

Las propiedades referenciales son la presión y la temperatura. Y para este caso se han comparado 122 puntos en un rango de presiones que van desde 0,01 MPa hasta los 60 MPa, en un rango de temperaturas que van desde una temperatura ligeramente superior a la de saturación a la presión dada, hasta los 700 °C. Los valores obtenidos por el programa y los tomados de la tabla⁵ de referencia son mostrados en el anexo 5. De donde se tienen los siguientes resultados:

- El error relativo promedio es de 0,2% para la entalpía y de 0,14% para la entropía. En tanto que el error relativo máximo es de 3,7% para la entalpía y de 2,5% para la entropía. Lo cual refleja que aunque el error se mantiene en valores bajos, existen puntos en los que se incrementa de forma abrupta.
- Los puntos en los que se encuentran mayores errores se encuentran a temperaturas de 450 °C y 500°C y a presiones desde 30 MPa hasta 50 MPa.

⁵ CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996; Tabla A-6

- En el caso de la CTE solo existen dos puntos que pueden alcanzar valores de temperatura superiores a los 400°C y son los de entrada a la turbina de alta y de media. Pero la presión se encuentra muy por debajo de los valores en los que aparecen los problemas. Puesto que la máxima presión de la CTE es de 16 MPa y los problemas aparecen a presiones superiores a los 25 MPa. Por lo que el error máximo para el cálculo de la CTE se encuentra en un valor inferior al 0,5% y el promedio alrededor del 0,18%, lo cual es bastante adecuado para los fines de este proyecto.

5.1.3 REGION DE SATURACION

En la región de saturación, inicialmente se compararán las presiones de saturación, luego las propiedades del vapor saturado y posteriormente las de líquido saturado. Para comparar los valores obtenidos, con los de la tabla⁶ de referencia, se considera la misma temperatura de saturación.

5.1.3.1 Presión de saturación

La presión de saturación ha sido evaluada por la importancia que tiene en la definición del estado en el que se encuentra el agua. Puesto que una presión mayor a esta determina que el agua se encuentre como líquido comprimido y por el contrario un valor menor establece que se encuentre como vapor sobrecalentado. Por lo cual la presión de saturación tiene que ser suficientemente precisa. Por ejemplo si se tiene vapor cerca de la línea de saturación puede dar como resultado valores de líquido comprimido si la presión que es medida es menor a la de saturación calculada a esa temperatura.

Para el caso de la presión de saturación se han comparado los resultados en 41 puntos que se encuentran en un rango de temperaturas que va desde los 5 °C hasta los 373,14 °C. Los valores obtenidos por el programa y los tomados de la tabla como referencia son mostrados en el anexo 6. De donde se tienen los siguientes resultados:

⁶ CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996. Tabla A-4

- El máximo error relativo encontrado es de 0,14% y el error relativo promedio es de 0,087%, lo cual da fiabilidad a las ecuaciones en la determinación del estado líquido o vapor cerca de la región de saturación.

5.1.3.2 Vapor Saturado

Los valores de las propiedades han sido comparados en 39 puntos dentro del rango que va desde los 5 °C hasta los 374,14 °C. Los valores obtenidos por el programa y los tomados de la tabla como referencia son mostrados en el anexo 7. De donde se obtienen los siguientes resultados:

- El error relativo promedio es de 0,19% para la entalpía y de 0,17% para la entropía. En cuanto al error máximo se tiene que es de 1,5% para la entalpía y de 1,15% para la entropía y ocurre a la temperatura de 350 °C. En base a estos resultados se puede indicar que las ecuaciones son aptas para ser utilizadas en esta región.

5.1.3.3 Líquido Saturado

Los valores de las propiedades han sido comparados en 39 puntos dentro del rango que va desde los 5 °C hasta los 374,14 °C. Los valores obtenidos por el programa y los tomados de la tabla de referencia son mostrados en el anexo 8. De donde se tienen los siguientes resultados:

- El error relativo promedio es 0,05% para la entalpía y 0,044% para la entropía. En tanto que el error relativo máximo es del 0,38% para la entalpía y de 0,27% para la entropía. De modo que las ecuaciones en esta región dan excelentes resultados. Siendo adecuado su uso para los cálculos aquí elaborados, así como en otras aplicaciones.

5.1.4 PROXIMIDADES DEL PUNTO CRITICO

Las propiedades referenciales son la presión y la temperatura. Y para este caso se han comparado 40 puntos en un rango de presiones que van desde 20 MPa hasta los 30 MPa y en un rango de temperaturas que van desde los 370 °C hasta los 400 °C. Los valores obtenidos por el programa y los tomados de

las tablas como referencia son mostrados en el anexo 9. De donde se tienen los siguientes resultados:

- El error relativo promedio es de 9,4% para la entalpía y de 7% para la entropía. En tanto que el error relativo máximo es de 57% para la entalpía y de 45% para la entropía. De modo que es la región que mayores dificultades presenta y su uso tiene que ser analizado previamente.
- Sin embargo hasta presiones de 25 MPa el error promedio es de 0,44% para la entalpía y de 0,34% para la entropía. Mientras que el error relativo máximo en la misma región es de 1,4% en el caso de la entalpía y de 1,07% en el caso de la entropía. De modo que el uso del programa hasta presiones de 25 MPa no presenta mayores inconvenientes en las proximidades del punto crítico.

5.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE LA CTE

En la sección 3.1.5 de este proyecto se explicó el modo en el que se podía comparar la eficiencia de la CTE mediante una de las aplicaciones del programa. A través de esta se han obtenido un conjunto de valores con los que se llevará a cabo un análisis de la Eficiencia de la CTE. En primera instancia se compara la eficiencia de la CTE con un conjunto de casos en los que se han modificado las condiciones reales de funcionamiento. Para este análisis se tomaran como referencia los datos tomados el 26 de Abril del 2006 a una potencia de generación de 132,78 MW. Además se comparan los resultados obtenidos en esta fecha con los obtenidos el 22 de Mayo del 2006 a una potencia de generación de 132,2 MW.

5.2.1 ANALISIS DE LA EFICIENCIA, MODIFICANDO LAS CONDICIONES REALES DE FUNCIONAMIENTO

Se compara la eficiencia modificando la estructura del ciclo. Para lo cual se han tomado los valores de operación de la central del 26 de Abril del 2006. Se compara la influencia que tiene la regeneración en la eficiencia del ciclo.

5.2.1.1 Análisis de la Regeneración

Para este análisis se han considerado un menor número de intercambiadores de regeneración. Presentándose dos casos, en el primero se han suprimido los dos intercambiadores de superficie de mayor presión y en el segundo se han eliminado todos los intercambiadores regenerativos.

Bajo estas condiciones se presentan los siguientes resultados:

Eficiencia de la CTE: 36,63%

Eficiencia sin los dos intercambiadores de superficie de mayor presión: 34,29%

Eficiencia sin regeneración: 32,26%

De donde se tienen los siguientes resultados:

- Sin los 2 intercambiadores de superficie de mayor presión, la eficiencia disminuye 2,34%, y sin regeneraciones un 4,37%.
- El uso de la regeneración, produce un incremento significativo en la eficiencia del ciclo, lo cual justifica su uso y muestra la importancia que tiene.
- Los resultados comprueban que el incremento de regeneraciones aumenta la eficiencia. También se puede apreciar que los intercambiadores de mayor presión tienen mayor influencia en el incremento de la eficiencia. Puesto que al eliminar las dos regeneraciones de mayor presión se tiene una disminución del 2,34%, y sin ninguna regeneración se tiene una disminución del 4,37%, se puede indicar que las cuatro regeneraciones restantes representan el 2,03%. Sin embargo en nuestro caso hemos mantenido las presiones de operación de las cuatro regeneraciones y para tener un mejor resultado con un menor número de intercambiadores sería necesario redistribuir las presiones a las que estos van a trabajar.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Las ecuaciones empleadas dan excelentes resultados para la realización de cálculos dentro de la región en la que opera la CTE. Lo cual ha sido probado, al examinar los errores en diferentes puntos. Teniendo como resultado errores que no sobrepasan el 0,5% en presiones inferiores a los 16 (MPa), que es el límite de presión de trabajo de la CTE.
- Los resultados obtenidos, muestran las ventajas del empleo de las ecuaciones frente al uso de tablas. Puesto que a través de la interpolación sería necesario el empleo de un gran número de tablas para obtener valores lo suficientemente precisos de las propiedades, para que estos puedan ser utilizados.
- Las ecuaciones empíricas utilizadas toman un valor de presión crítica de 22120(kPa) en lugar del más preciso de 22090(kPa), lo cual introduce un error en su empleo. Esto muestra las desventajas del empleo de ecuaciones que han sido formuladas hace casi 40 años, puesto que en aquellos años no se contaba con medios para mediciones más precisas.
- El análisis de la eficiencia, mostró la importancia que tiene en el ciclo la regeneración, puesto que los resultados muestran un incremento entre el 2% y el 4% en la eficiencia.
- A través del análisis de la eficiencia se pudo comprobar que la eficiencia del ciclo no solo depende del número de regeneradores, sino que también es importante una adecuada distribución de las presiones de trabajo de los intercambiadores que llevan a cabo esta labor.
- El uso de ecuaciones empíricas para el cálculo de las propiedades del agua permite realizar el análisis de cualquier proceso dentro de los valores límite en los cuales son aplicables, además es posible reconocer de manera rápida y eficaz el estado en el que se encuentra en función de sus propiedades.

- La aproximación de soluciones matemáticas de ecuaciones complejas mediante la aplicación de métodos numéricos y la asistencia del computador se ha convertido en una herramienta fundamental en la solución de problemas y simulación de procesos.
- El cálculo de las diferentes propiedades del agua en tiempo real, puede ser de gran utilidad en la industria ya que es una herramienta fundamental en la simulación de procesos en los que el agua esta involucrada.
- El desarrollo de un software didáctico implica, que este debe abordar el tema de la interfaz con el usuario con gran interés, debido a esto el programa se ha realizado tratando de abarcar al máximo la capacidad de Visual Basic 6.0 en su entorno gráfico y multimedia.
- Para optimizar el desarrollo de un software que maneja una gran cantidad de datos, este debe estar directamente relacionado con una o varias bases de datos, las mismas que deben ser las encargadas tanto de almacenar la información preliminar que utiliza el programa, así como la información que es producto de las acciones del programa.
- La optimización de un programa radica en la capacidad del mismo de procesar información, debido a esto la utilización de plantillas en las cuales se encuentran codificadas las diferentes propiedades del agua permite disminuir en gran medida la cantidad de operaciones para obtener resultados similares y de esta manera optimizar el software.
- Los valores de eficiencia hacia los cuales convergen los resultados del software desarrollado se encuentra entre el 35 % y el 37 %, los mismos que se encuentran acorde con los valores esperados para una central con las características de la CTE.
- El abordar temas teóricos en base a esquemas y animaciones combinadas con audio permiten establecer un enlace interactivo con el usuario en el tratamiento de temas complejos.

6.2 RECOMENDACIONES

- Las ecuaciones no deben ser descartadas en las regiones donde se presentan errores considerables. Sino que se debe determinar los motivos por los que aparecieron los errores y corregirlos. Se recomienda probar métodos numéricos diferentes al utilizado en este proyecto.
- Mediante el uso de las ecuaciones para las propiedades del agua empleadas en esta tesis, es posible llevar a cabo otros proyectos. Entre los que podrían tener importancia, un software para calculadoras que determine las propiedades del agua en cualquier punto con el ingreso de la temperatura y la presión.
- Las ecuaciones del agua del ASME, también pueden ser usadas para elaborar gráficas, en las que sea posible determinar diferentes propiedades, tal como el diagrama T-S y el diagrama de Mollier que aparecen en los libros de termodinámica.
- El presente proyecto ha enfocado el funcionamiento de la CTE desde el punto de vista termodinámico. Sin embargo es importante describir el gran número de equipos que cumplen con una función en el sistema eléctrico de la CTE. De manera que se podría complementar el trabajo de esta tesis, con un enfoque eléctrico de la CTE.
- Se recomienda sugerir al personal técnico de la CTE colocar sensores de presión y temperatura en zonas no críticas como en las purgas de los intercambiadores de superficie, dichos datos permitirían disminuir el número de suposiciones realizadas para obtener la eficiencia del ciclo y de esta manera aumentar la fiabilidad de los resultados.
- Se recomienda la elaboración de trabajos de investigación acerca de cada uno de los equipos de la CTE para de esta manera conocer su comportamiento e influencia dentro del ciclo.
- La capacidad de observar la influencia de ciertos parámetros en el cálculo de la eficiencia se vuelve de gran importancia el momento de optimizar el ciclo de una central. En el presente proyecto se establece la variación de algunos parámetros que permiten cuantificar su influencia, es recomendable establecer los parámetros de mayor importancia para

así establecer su variación, observar su influencia y tomar medidas para optimizar el ciclo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **CENGEL**, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996.
- **RIZHKIN**, V. Ya.; Centrales Termoeléctricas, primera y segunda parte; Mir; Moscú; 1979
- **AGUILAR**, Martiniano; Criterios de diseño de plantas termoeléctricas; Limusa; México D.F.; 1981.
- **ENRIQUEZ**, Gilberto; Elementos de Centrales Eléctricas I y II; Limusa; México D.F.; 1982.
- **ENRIQUEZ**, Gilberto; Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas; Limusa; México D.F.; 2002.
- **SCHEGLIAIEV**, A.V.; Turbinas de Vapor parte 1 y 2; Mir; Moscú; 1985.
- **HAPPOLDT**, Hans; Centrales y Redes Eléctricas; Labor; Barcelona; 1971.
- **SANTO Pottes**, E; Centrales Eléctricas; Gustavo Gili; Barcelona; 1971.
- **FITZGERALD**, Arthur; Máquinas eléctricas; McGraw-Hill; México D.F.; 2003.
- **DAWES**, Chester; Tratado de electricidad, tomo segundo: Corriente Alterna; Ediciones G. Gili S.A.; México D.F.; 1977.
- **NOBOA**, Homero; Tablas termodinámicas del Agua; Publicaciones Técnicas E.P.N.; Quito; 1984.
- **ASME**; ASME STEAM TABLES; ASME; New York; 1967.

- **CHAPRA**, Steven; Métodos Numéricos para ingenieros; Mc-Graw Hill; México D.F.; 1988.
- **KLEIN, ALVARADO**; Engineering Equation Solver Limited Academic version 6.190; 2001; McGraw-Hill

ANEXOS

ANEXO 1

ASME STEAM TABLES

Ecuaciones para obtener las Propiedades del Agua

FUENTE:

ASME; ASME STEAM TABLES; ASME; New York; 1967 (Hasta la página 35)

ANEXO 2

METODOS NUMERICOS ABIERTOS

FUENTE:

CHAPRA, Steven; Métodos Numéricos para ingenieros; Mc-Graw Hill; México D.F.; 1988.

ANEXO 3

DATOS DE SENSORES REQUERIDOS PARA EL ANALISIS DE LA EFICIENCIA

PARAMETRO	F3
TT-007	537.315734863281
PIT-011	140.263854980469
FIT-012A	445.4853515625
FIT-012B	440.639404296875
TT-230	368.182281494141
TT-012	367.064666748047
PT-204	35.7674026489258
FIT-018	395.505573009491
TIT-017	540.565856933594
PT-018	34.5812339782715
TT-231	476.500366210938
PT-205	19.8563976287842
TT-232	357.228759765625
PT-206	7.6019492149353
TT-233	238.527359008789
PT-207	2.70145702362061
TT-234	171.515640258789
PT-208	0.505511105060577
PT-210	-0.832184135913849
PT-154	670.337768554688
TT-137-3	50.7
TT-137-4	54.4370765686035
PT-152A	18.6883678436279
PT-152B	-0.814569294452667
PDT-653	365.831207275391
TT-137-5	78.6091918945313
TT-137-6	106.134986877441
TT-137-7	135.111434936523
PT-144	7.18089532852173
TT-104	175.48274230957
PT-105	165.21110534668
FIT-001	461.206970214844
TT-137-11	213.463516235352
TT-137-12	244.566009521484
TT-002	241.574768066406
PIT-005	150.112152099609
FIT-043	34.2
IG-002	132.8
FIT-008	1.2
MG-FT-001	21378.6
MG-TT-013	36.0951385498047
MG-TT-025	44.2612571716309
PCI-001	9674.77363575833
PCS-001	10236.356003548

ANEXO 4

ERRORES DE PROPIEDADES EN LA REGION DE LIQUIDO COMPRIMIDO

P	T(°C)	ENTALPIA				ENTROPIA			
		kJ/kg		Error Abs	Error Rel	kJ/kg*K		Error Abs	Error Rel
		Referencia	Calculado			Referencia	Calculado		
20MPa	20	102.62	102.51	0.11	0.00107	0.29230	0.29190	0.00040	0.00137
	40	185.16	185.06	0.10	0.00054	0.56460	0.56429	0.00031	0.00055
	80	350.80	350.77	0.03	0.00009	1.06240	1.06227	0.00013	0.00012
	120	517.76	517.75	0.01	0.00002	1.51020	1.51013	0.00007	0.00005
	160	687.12	687.08	0.04	0.00006	1.92040	1.92027	0.00013	0.00007
	200	860.50	860.43	0.07	0.00008	2.30310	2.30296	0.00014	0.00006
	240	1040.00	1040.27	0.27	0.00026	2.66740	2.66772	0.00032	0.00012
	280	1230.60	1231.40	0.80	0.00065	3.02480	3.02621	0.00141	0.00047
	320	1445.60	1445.64	0.04	0.00003	3.39790	3.39980	0.00190	0.00056
	360	1739.30	1735.98	3.32	0.00191	3.87720	3.88346	0.00626	0.00161
30MPa	20	111.84	111.72	0.12	0.00107	0.28990	0.28951	0.00039	0.00135
	40	193.89	193.81	0.08	0.00041	0.56070	0.56038	0.00032	0.00057
	80	358.77	358.73	0.04	0.00011	1.05610	1.05599	0.00011	0.00010
	120	524.93	524.91	0.02	0.00004	1.50180	1.50172	0.00008	0.00005
	160	693.28	693.26	0.02	0.00003	1.90960	1.90948	0.00012	0.00006
	200	865.30	865.20	0.10	0.00012	2.28930	2.28907	0.00023	0.00010
	240	1042.60	1042.77	0.17	0.00016	2.64900	2.64924	0.00024	0.00009
	280	1229.00	1229.66	0.66	0.00054	2.99860	2.99980	0.00120	0.00040
	320	1432.70	1433.61	0.91	0.00064	3.35390	3.35557	0.00167	0.00050
	360	1675.40	1671.18	4.22	0.00252	3.74940	3.75413	0.00473	0.00126
50MPa	20	130.02	129.87	0.15	0.00115	0.28480	0.28432	0.00048	0.00169
	40	211.21	211.16	0.05	0.00024	0.55270	0.55253	0.00017	0.00031
	80	374.70	374.65	0.05	0.00013	1.04400	1.04381	0.00019	0.00018
	120	539.39	539.36	0.03	0.00006	1.48570	1.48559	0.00011	0.00007
	160	705.92	705.92	0.00	0.00000	1.88910	1.88902	0.00008	0.00004
	200	875.50	875.39	0.11	0.00013	2.26340	2.26319	0.00021	0.00009
	240	1049.20	1049.21	0.01	0.00001	2.61580	2.61578	0.00002	0.00001
	280	1229.30	1229.76	0.46	0.00037	2.95370	2.95448	0.00078	0.00026
	320	1420.20	1421.00	0.80	0.00056	3.28680	3.28815	0.00135	0.00041
	340	1522.10	1522.99	0.89	0.00058	3.45570	3.45724	0.00154	0.00045
	360	1630.20	2896.26	1266.06	0.77663	3.62910	4.42320	0.79410	0.21881
	380	1746.60	1746.83	0.23	0.00013	3.81010	3.81104	0.00094	0.00025
Valores totales		Promedio		40.00	0.02470			0.02563	0.00725
		Máximo		1266.06	0.77663			0.79410	0.21881
		Mínimo		0.00	0.00000			0.00002	0.00001
Valores sin error crítico		Promedio		0.4487	0.000442			0.0008397	0.0004265
		Máximo		4.22	0.002519			0.00626	0.0016854
		Mínimo		0	0			0.00002	0.00001

Grave error

Nota:

Los valores considerados como referenciales son tomados de
CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996. Tabla A-7

ANEXO 5

ERRORES DE PROPIEDADES EN LA REGION DE VAPOR SOBRECALENTADO

P	T(°C)	ENTALPIA				ENTROPIA			
		kJ/kg		Error Abs	Error Rel	kJ/kgK		Error Abs	Error Rel
		Referencia	Calculado			Referencia	Calculado		
0,01MPa	50	2592.60	2592.80	0.20	7.71426E-05	8.17490	8.17601	0.00111	0.00014
	100	2687.50	2687.59	0.09	3.34884E-05	8.44790	8.44871	0.00081	0.00010
	150	2783.00	2783.10	0.10	3.59324E-05	8.68820	8.68891	0.00071	0.00008
	200	2879.50	2879.66	0.16	5.55652E-05	8.90380	8.90455	0.00075	0.00008
	250	2977.30	2977.44	0.14	4.70225E-05	9.10020	9.10100	0.00080	0.00009
	300	3076.50	3076.62	0.12	3.90054E-05	9.28130	9.28204	0.00074	0.00008
	400	3279.60	3279.58	0.02	6.0983E-06	9.60770	9.60830	0.00060	0.00006
	500	3489.10	3489.13	0.03	8.59821E-06	9.89780	9.89842	0.00062	0.00006
	600	3705.40	3705.52	0.12	3.23852E-05	10.16080	10.16155	0.00075	0.00007
0,5MPa	700	3928.70	3928.79	0.09	2.29083E-05	10.40280	10.40358	0.00078	0.00007
	200	2855.40	2855.99	0.59	0.000206626	7.05920	7.06074	0.00154	0.00022
	250	2960.70	2961.45	0.75	0.000253318	7.27090	7.27274	0.00184	0.00025
	300	3064.20	3064.95	0.75	0.000244762	7.45990	7.46170	0.00180	0.00024
	350	3167.70	3168.22	0.52	0.000164157	7.63290	7.63444	0.00154	0.00020
	400	3271.90	3272.16	0.26	7.94645E-05	7.79380	7.79488	0.00108	0.00014
	500	3483.90	3483.78	0.12	3.44442E-05	8.08730	8.08789	0.00059	0.00007
1MPa	600	3701.70	3701.50	0.20	5.40292E-05	8.35220	8.35264	0.00044	0.00005
	700	3925.90	3925.74	0.16	4.0755E-05	8.59520	8.59570	0.00050	0.00006
	200	2827.90	2828.65	0.75	0.000265214	6.69400	6.69568	0.00168	0.00025
	250	2942.60	2943.89	1.29	0.000438388	6.92470	6.92738	0.00268	0.00039
	300	3051.20	3052.55	1.35	0.000442449	7.12290	7.12580	0.00290	0.00041
	350	3157.70	3158.75	1.05	0.000332521	7.30110	7.30347	0.00237	0.00032
	400	3263.90	3264.52	0.62	0.000189957	7.46510	7.46673	0.00163	0.00022
2,5MPa	500	3478.50	3478.32	0.18	5.17464E-05	7.76220	7.76278	0.00058	0.00007
	600	3697.90	3697.40	0.50	0.000135212	8.02900	8.02919	0.00019	0.00002
	700	3923.10	3922.63	0.47	0.000119803	8.27310	8.27335	0.00025	0.00003
	225	2806.30	2808.36	2.06	0.000734063	6.26390	6.26775	0.00385	0.00061
	250	2880.10	2882.12	2.02	0.000701365	6.40850	6.41229	0.00379	0.00059
	300	3008.80	3011.61	2.81	0.000933927	6.64380	6.64893	0.00513	0.00077
	350	3126.30	3128.82	2.52	0.000806065	6.84030	6.84509	0.00479	0.00070
	400	3239.30	3240.97	1.67	0.000515543	7.01480	7.01824	0.00344	0.00049
5MPa	450	3350.80	3351.44	0.64	0.000190999	7.17460	7.17654	0.00194	0.00027
	500	3462.10	3461.83	0.27	7.79873E-05	7.32340	7.32414	0.00074	0.00010
	600	3686.30	3685.08	1.22	0.000330955	7.59600	7.59565	0.00035	0.00005
	700	3914.50	3913.28	1.22	0.000311662	7.84350	7.84304	0.00046	0.00006
	275	2838.30	2842.84	4.54	0.001599549	6.05440	6.06247	0.00807	0.00133
	300	2924.50	2928.41	3.91	0.001336981	6.20840	6.21522	0.00682	0.00110
5MPa	350	3068.40	3072.47	4.07	0.001326424	6.44930	6.45650	0.00720	0.00112
	400	3195.70	3198.89	3.19	0.000998216	6.64590	6.65176	0.00586	0.00088
	450	3316.20	3317.82	1.62	0.000488511	6.81860	6.82222	0.00362	0.00053
	500	3433.80	3433.82	0.02	5.82445E-06	6.97590	6.97733	0.00143	0.00020
	600	3666.50	3664.45	2.05	0.000559116	7.25890	7.25785	0.00105	0.00014

8MPa	700	3900.10	3897.70	2.40	0.000615369	7.51220	7.51073	0.00147	0.00020
	300	2785.00	2793.30	8.30	0.002980251	5.79060	5.80487	0.01427	0.00246
	350	2987.30	2992.25	4.95	0.001657015	6.13010	6.13865	0.00855	0.00139
	400	3138.30	3142.67	4.37	0.001392474	6.36340	6.37109	0.00769	0.00121
	450	3272.00	3274.82	2.82	0.000861858	6.55510	6.56056	0.00546	0.00083
	500	3398.30	3398.98	0.68	0.0002001	6.72400	6.72663	0.00263	0.00039
	550	3521.00	3519.79	1.21	0.000343652	6.87780	6.87805	0.00025	0.00004
	600	3642.00	3639.44	2.56	0.00070291	7.02060	7.01917	0.00143	0.00020
12.5MPa	700	3882.40	3878.96	3.44	0.00088605	7.28120	7.27886	0.00234	0.00032
	350	2826.20	2833.81	7.61	0.002692662	5.71180	5.72450	0.01270	0.00222
	400	3039.30	3044.76	5.46	0.001796466	6.04170	6.05102	0.00932	0.00154
	450	3199.80	3203.78	3.98	0.001243828	6.27190	6.27913	0.00723	0.00115
	500	3341.80	3343.55	1.75	0.00052367	6.46180	6.46610	0.00430	0.00067
	550	3475.20	3474.43	0.77	0.00022157	6.62900	6.63019	0.00119	0.00018
	600	3604.00	3601.23	2.77	0.00076859	6.78100	6.77974	0.00126	0.00019
	650	3730.40	3726.27	4.13	0.00110712	6.92180	6.91900	0.00280	0.00040
17.5MPa	700	3855.30	3850.70	4.60	0.001193163	7.05360	7.05027	0.00333	0.00047
	400	2902.90	2911.61	8.71	0.003000448	5.72130	5.73545	0.01415	0.00247
	450	3109.70	3114.83	5.13	0.001649677	6.01840	6.02723	0.00883	0.00147
	500	3274.10	3276.85	2.75	0.000839925	6.23830	6.24405	0.00575	0.00092
	550	3421.40	3421.48	0.08	2.33822E-05	6.42300	6.42539	0.00239	0.00037
	600	3560.10	3557.52	2.58	0.000724699	6.58660	6.58587	0.00073	0.00011
	650	3693.90	3689.31	4.59	0.001242589	6.73570	6.73266	0.00304	0.00045
20MPa	700	3824.60	3819.04	5.56	0.001453747	6.87360	6.86953	0.00407	0.00059
	400	2818.10	2832.67	14.57	0.00517015	5.55400	5.57640	0.02240	0.00403
	450	3060.10	3066.30	6.20	0.002026078	5.90170	5.91215	0.01045	0.00177
	500	3238.20	3241.43	3.23	0.000997468	6.14010	6.14655	0.00645	0.00105
	550	3393.50	3393.93	0.43	0.000126713	6.33480	6.33778	0.00298	0.00047
	600	3537.60	3535.13	2.47	0.000698213	6.50480	6.50436	0.00044	0.00007
	650	3675.30	3670.58	4.72	0.001284249	6.65820	6.65522	0.00298	0.00045
25MPa	700	3809.00	3803.09	5.91	0.001551588	6.79930	6.79503	0.00427	0.00063
	375	1848.00	1848.91	0.91	0.000492424	4.03200	4.03413	0.00213	0.00053
	400	2580.20	2581.99	1.79	0.000693745	5.14180	5.14548	0.00368	0.00072
	450	2949.70	2962.90	13.20	0.004475031	5.67440	5.69429	0.01989	0.00351
	500	3162.40	3166.76	4.36	0.0013787	5.95920	5.96723	0.00803	0.00135
	550	3335.60	3336.72	1.12	0.000335772	6.17650	6.18040	0.00390	0.00063
	600	3491.40	3489.28	2.12	0.000607206	6.36020	6.36040	0.00020	0.00003
	650	3637.40	3632.58	4.82	0.001325122	6.52290	6.52002	0.00288	0.00044
30MPa	700	3777.50	3770.96	6.54	0.001731304	6.67070	6.66601	0.00469	0.00070
	375	1791.50	1790.58	0.92	0.000513536	3.93050	3.92970	0.00080	0.00020
	400	2151.10	2161.77	10.67	0.004960253	4.47280	4.48963	0.01683	0.00376
	450	2821.40	2858.42	37.02	0.013121146	5.44240	5.49444	0.05204	0.00956
	500	3081.10	3088.61	7.51	0.002437441	5.79050	5.80266	0.01216	0.00210
	550	3275.40	3276.96	1.56	0.000476278	6.03420	6.03892	0.00472	0.00078
	600	3443.90	3442.10	1.80	0.000522663	6.23310	6.23379	0.00069	0.00011
	650	3598.90	3593.94	4.96	0.001378199	6.40580	6.40294	0.00286	0.00045
35MPa	700	3745.60	3738.51	7.09	0.001892888	6.56060	6.55548	0.00512	0.00078
	375	1762.40	1761.27	1.13	0.000641171	3.87220	3.87103	0.00117	0.00030
	400	1987.60	1993.07	5.47	0.002752063	4.21260	4.22141	0.00881	0.00209
	450	2672.40	2762.05	89.65	0.033546625	5.19620	5.31864	0.12244	0.02356
	500	2994.40	3010.95	16.55	0.005526984	5.62820	5.65196	0.02376	0.00422
550	3213.00	3215.34	2.34	0.000728291	5.90260	5.90832	0.00572	0.00097	

	600	3395.50	3393.78	1.72	0.000506553	6.11790	6.11889	0.00099	0.00016	
	650	3559.90	3554.78	5.12	0.001438243	6.30100	6.29826	0.00274	0.00043	
	700	3713.50	3705.85	7.65	0.002060051	6.46310	6.45766	0.00544	0.00084	
40MPa	375	1742.80	1741.72	1.08	0.000619692	3.82900	3.82799	0.00101	0.00026	
	400	1930.90	1934.12	3.22	0.001667616	4.11350	4.11900	0.00550	0.00134	
	450	2512.80	2515.56	2.76	0.001098376	4.94590	4.95110	0.00520	0.00105	
	500	2903.30	2938.63	35.33	0.012168911	5.47000	5.51759	0.04759	0.00870	
	550	3149.10	3153.05	3.95	0.001254327	5.77850	5.78646	0.00796	0.00138	
	600	3346.40	3344.53	1.87	0.000558809	6.01440	6.01242	0.00198	0.00033	
	650	3520.60	3515.23	5.37	0.001525308	6.20540	6.20206	0.00334	0.00054	
	700	3681.20	3673.06	8.14	0.002211235	6.37500	6.36917	0.00583	0.00091	
	50MPa	375	1716.60	1716.62	0.02	1.16509E-05	3.76390	3.76527	0.00137	0.00036
		400	1874.60	1877.66	3.06	0.001632348	4.00310	4.00827	0.00517	0.00129
450		2284.00	2293.22	9.22	0.004036778	4.58840	4.60257	0.01417	0.00309	
500		2720.10	2820.99	100.89	0.037090548	5.17260	5.30276	0.13016	0.02516	
550		3019.50	3032.66	13.16	0.004358337	5.54850	5.56800	0.01950	0.00351	
600		3247.60	3244.06	3.54	0.001090036	5.81780	5.81740	0.00040	0.00007	
650		3441.80	3435.29	6.51	0.001891452	6.03420	6.03048	0.00372	0.00062	
700		3616.80	3607.54	9.26	0.002560274	6.21890	6.21226	0.00664	0.00107	
60MPa	375	1699.50	1700.80	1.30	0.000764931	3.71410	3.71852	0.00442	0.00119	
	400	1843.40	1847.29	3.89	0.002110231	3.93180	3.93826	0.00646	0.00164	
	450	2179.00	2187.06	8.06	0.003698944	4.41210	4.42455	0.01245	0.00282	
	500	2567.90	2570.56	2.66	0.001035866	4.93210	4.93739	0.00529	0.00107	
	550	2896.20	2928.67	32.47	0.011211242	5.34410	5.38757	0.04347	0.00813	
	600	3151.20	3143.10	8.10	0.002570449	5.64520	5.64039	0.00481	0.00085	
	650	3364.50	3353.89	10.61	0.003153515	5.88290	5.87525	0.00765	0.00130	
	700	3553.50	3542.38	11.12	0.003129309	6.08240	6.07419	0.00821	0.00135	
		Promedio	5.74215	0.00198				0.00766	0.00139	
		Máximo	100.89	0.037090548				0.13016	0.02516	
		Mínimo	0.02	5.82445E-06				0.00019	0.00002	

Nota:

Los valores considerados como referenciales son tomados de CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996. Tabla A-6

ANEXO 6

ERRORES EN LA PRESION DE SATURACION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

T(°C)	PRESION DE SATURACION			
	kPa			Error Rel
	Referencia	Calculado	Error Abs	
5	0.87210	0.87183	0.0003	0.00031
10	1.22760	1.22698	0.0006	0.00051
20	2.33900	2.33656	0.0024	0.00104
30	4.24600	4.24148	0.0045	0.00106
40	7.38400	7.37501	0.0090	0.00122
50	12.34900	12.33527	0.0137	0.00111
60	19.94000	19.92018	0.0198	0.00099
70	31.19000	31.16200	0.0280	0.00090
80	47.39000	47.35981	0.0302	0.00064
90	70.14000	70.10884	0.0312	0.00044
100	101.35	101.32526	0.0247	0.00024
110	143.27	143.26590	0.0041	0.00003
120	198.53	198.54280	0.0128	0.00006
130	270.1	270.13230	0.0323	0.00012
140	361.3	361.37910	0.0791	0.00022
150	475.8	475.99700	0.1970	0.00041
160	617.8	618.07000	0.2700	0.00044
170	791.7	792.02200	0.3220	0.00041
180	1002.1	1002.66	0.56	0.00056
190	1254.4	1255.12	0.72	0.00057
200	1553.8	1554.88	1.08	0.00070
210	1906.2	1907.74	1.54	0.00081
220	2318	2319.83	1.83	0.00079
230	2795	2797.60	2.60	0.00093
240	3344	3347.83	3.83	0.00115
250	3973	3977.60	4.60	0.00116
260	4688	4694.33	6.33	0.00135
270	5499	5505.81	6.81	0.00124
280	6412	6420.18	8.18	0.00128
290	7436	7446.07	10.07	0.00135
300	8581	8592.69	11.69	0.00136
310	9856	9870.01	14.01	0.00142
320	11274	11289.08	15.08	0.00134
330	12845	12862.52	17.52	0.00136
340	14586	14605.17	19.17	0.00131
350	16513	16535.12	22.12	0.00134
360	18651	18675.07	24.07	0.00129
370	21030	21054.03	24.03	0.00114
374.14	22090	22117.31	27.31	0.00124
		Promedio	5.7495	0.00087
		Máximo	27.3100	0.00142
		Mínimo	0.0003	0.00003

Nota:

Los valores considerados como referenciales son tomados de
CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996. Tabla A-4

ANEXO 7

ERRORES DE PROPIEDADES EN VAPOR SATURADO

T(°C)	ENTALPIA				ENTROPIA			
	kJ/kg		Error Abs	Error Rel	kJ/kg*K		Error Abs	Error Rel
	Referencia	Calculado			Referencia	Calculado		
5	2510.60	2510.76	0.16	6.37298E-05	9.0257	9.027	0.001	0.00014403
10	2519.80	2519.93	0.13	5.15914E-05	8.9008	8.902	0.001	0.00013482
20	2538.10	2538.23	0.13	5.12194E-05	8.6672	8.669	0.002	0.00020768
30	2556.30	2556.43	0.13	5.08548E-05	8.4533	8.455	0.002	0.0002011
40	2574.30	2574.48	0.18	6.99219E-05	8.257	8.259	0.002	0.00024222
50	2592.10	2592.34	0.24	9.2589E-05	8.0763	8.078	0.002	0.00021049
60	2609.60	2609.95	0.35	0.00013412	7.9096	7.911	0.001	0.000177
70	2626.80	2627.25	0.45	0.000171311	7.7553	7.757	0.002	0.0002192
80	2643.70	2644.19	0.49	0.000185346	7.6122	7.614	0.002	0.00023646
90	2660.10	2660.7	0.60	0.000225555	7.4791	7.481	0.002	0.00025404
100	2676.10	2676.71	0.61	0.000227944	7.3549	7.357	0.002	0.00028552
110	2691.50	2692.42	0.92	0.000341817	7.2387	7.248	0.009	0.00128476
120	2706.30	2707.02	0.72	0.000266046	7.1296	7.132	0.002	0.00033662
130	2720.50	2721.17	0.67	0.000246278	7.0269	7.029	0.002	0.00029885
140	2733.90	2734.57	0.67	0.000245071	6.9299	6.932	0.002	0.00030303
150	2746.50	2747.13	0.63	0.000229383	6.8379	6.840	0.002	0.00030711
160	2758.10	2758.74	0.64	0.000232044	6.7502	6.752	0.002	0.00026666
170	2768.70	2769.36	0.66	0.000238379	6.6663	6.668	0.002	0.00025501
180	2778.20	2778.94	0.74	0.00026636	6.5857	6.588	0.002	0.00034924
190	2786.40	2787.36	0.96	0.000344531	6.5079	6.511	0.003	0.00047634
200	2793.20	2794.43	1.23	0.000440355	6.4323	6.435	0.003	0.00041976
210	2798.50	2800.03	1.53	0.000546721	6.3585	6.362	0.003	0.00055044
220	2802.10	2803.95	1.85	0.000660219	6.2861	6.289	0.003	0.00046134
230	2804.00	2806.41	2.41	0.000859486	6.2146	6.219	0.004	0.00070801
240	2803.80	2806.97	3.17	0.001130608	6.1791	6.149	0.030	0.00487126
250	2801.50	2805.66	4.16	0.001484919	6.073	6.080	0.007	0.00115264
260	2796.90	2802.03	5.13	0.001834174	6.0019	6.011	0.009	0.00151619
270	2789.70	2795.88	6.18	0.002215292	5.9301	5.941	0.011	0.00183808
280	2779.60	2786.93	7.33	0.00263707	5.8571	5.870	0.013	0.00220246
290	2766.20	2774.76	8.56	0.003094498	5.7821	5.797	0.015	0.00257692
300	2749.00	2758.82	9.82	0.003572208	5.7045	5.721	0.016	0.00289245
310	2727.30	2738.76	11.46	0.004201958	5.623	5.642	0.019	0.00337898
320	2700.10	2714.01	13.91	0.005151661	5.5362	5.559	0.023	0.00411835
330	2665.90	2683.58	17.68	0.006631907	5.4417	5.470	0.028	0.00520058
340	2622.00	2646.42	24.42	0.009313501	5.3357	5.375	0.039	0.00736548
350	2563.90	2601.83	37.93	0.014794649	5.2112	5.271	0.060	0.01147528
360	2481.00	2485.98	4.98	0.002007255	5.0526	5.061	0.008	0.00166251
370	2332.10	2343.06	10.96	0.004699627	4.7971	4.815	0.018	0.00373142
374.14	2099.30	2091.22	8.08	0.003846997	4.4298	4.418	0.012	0.00266378
	Promedio		4.89	0.001868133			0.009	0.00166606
	Máximo		37.93	0.014794649			0.060	0.01147528
	Mínimo		0.13	5.08548E-05			0.001	0.00013482

Nota:

Los valores considerados como referenciales son tomados de
CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996. Tabla A-4

ANEXO 8

ERRORES DE PROPIEDADES EN LIQUIDO SATURADO

T(°C)	ENTALPIA				ENTROPIA			
	kJ/kg			Error Rel	kJ/kg*K			Error Rel
	Referencia	Calculado	Error Abs		Referencia	Calculado	Error Abs	
5	20.98	21.007	0.03	0.00128694	0.0761	0.076	0.0001	0.00131406
10	42.01	41.994	0.02	0.000380862	0.151	0.151	0.0000	0
20	83.96	83.862	0.10	0.001167222	0.2966	0.296	0.0006	0.002022927
30	125.79	125.664	0.13	0.001001669	0.4369	0.437	0.0001	0.000228885
40	167.57	167.452	0.12	0.000704183	0.5725	0.572	0.0005	0.000873362
50	209.33	209.256	0.07	0.000353509	0.7038	0.704	0.0002	0.000284172
60	251.13	251.091	0.04	0.000155298	0.8312	0.831	0.0002	0.000240616
70	292.98	292.974	0.01	2.04792E-05	0.9549	0.955	0.0001	0.000104723
80	334.91	334.916	0.01	1.79153E-05	1.0753	1.075	0.0003	0.000278992
90	376.92	376.940	0.02	5.30617E-05	1.1925	1.193	0.0005	0.000419287
100	419.04	419.065	0.02	5.96602E-05	1.3069	1.307	0.0001	7.65169E-05
110	461.30	461.316	0.02	3.46846E-05	1.4185	1.418	0.0005	0.000352485
120	503.71	503.731	0.02	4.16907E-05	1.5276	1.528	0.0004	0.000261849
130	546.31	546.315	0.01	9.15231E-06	1.6344	1.634	0.0004	0.000244738
140	589.13	589.105	0.02	4.24355E-05	1.7391	1.739	0.0001	5.7501E-05
150	632.20	632.151	0.05	7.75071E-05	1.8418	1.842	0.0002	0.000108589
160	675.55	675.475	0.07	0.000111021	1.9427	1.942	0.0007	0.000360323
170	719.21	719.164	0.05	6.39591E-05	2.0419	2.042	0.0001	4.8974E-05
180	763.22	763.116	0.10	0.000136265	2.1396	2.139	0.0006	0.000280426
190	807.62	807.518	0.10	0.000126297	2.2359	2.236	0.0001	4.47247E-05
200	852.45	852.372	0.08	9.1501E-05	2.3309	2.331	0.0001	4.29019E-05
210	897.76	897.735	0.02	2.78471E-05	2.4248	2.425	0.0002	8.2481E-05
220	943.62	943.674	0.05	5.72264E-05	2.5178	2.518	0.0002	7.94344E-05
230	990.12	990.266	0.15	0.000147457	2.6099	2.61	0.0001	3.83156E-05
240	1037.32	1037.601	0.28	0.00027089	2.7015	2.702	0.0005	0.000185082
250	1085.36	1085.784	0.42	0.000390654	2.7927	2.793	0.0003	0.000107423
260	1134.37	1134.942	0.57	0.000504245	2.8838	2.885	0.0012	0.000416118
270	1184.51	1185.231	0.72	0.000608691	2.9751	2.976	0.0009	0.000302511
280	1235.99	1236.839	0.85	0.000686899	3.0668	3.068	0.0012	0.000391287
290	1289.07	1290.008	0.94	0.000727656	3.1594	3.161	0.0016	0.000506425
300	1344.00	1345.053	1.05	0.000783482	3.2534	3.255	0.0016	0.000491793
310	1401.30	1402.391	1.09	0.000778563	3.3493	3.351	0.0017	0.000507569
320	1461.50	1462.601	1.10	0.000753336	3.448	3.45	0.0020	0.000580046
330	1525.30	1526.518	1.22	0.000798531	3.5507	3.553	0.0023	0.00064776
340	1594.20	1595.435	1.23	0.000774683	3.6594	3.662	0.0026	0.000710499
350	1670.60	1671.940	1.34	0.000802107	3.7777	3.78	0.0023	0.000608836
360	1760.50	1756.820	3.68	0.002090315	3.9147	3.92	0.0053	0.001353871
370	1890.50	1890.180	0.32	0.000169267	4.1106	4.111	0.0004	9.73094E-05
374.14	2099.30	2091.224	8.08	0.003846997	4.4298	4.418	0.0118	0.002663777
		Promedio	0.62	0.000516773			0.0011	0.000446579
		Máximo	8.08	0.003846997			0.0118	0.002663777
		Mínimo	0.01	9.15231E-06			0.0000	0

Nota:

Los valores considerados como reales son tomados de
CENGEL, Yunus; Termodinámica; McGraw-Hill; México D.F.; 1996. Tabla A-4

ANEXO 9

ERRORES DE PROPIEDADES CERCA DEL PUNTO CRITICO

P	T(°C)	ENTALPIA				ENTROPIA			
		kJ/kg		Error Abs	Error Rel	kJ/kg*K		Error Abs	Error Rel
		Referencia	Calculado			Referencia	Calculado		
20MPa	370	2524	2527.64	3.64	0.00144216	5.105	5.112	0.007	0.0013712
	374	2588	2590.42	2.416	0.00093354	5.204	5.209	0.005	0.0009608
	378	2637	2669.37	32.371	0.01227569	5.28	5.33	0.05	0.0094697
	382	2678	2705.14	27.137	0.01013331	5.344	5.384	0.04	0.007485
	385	2706	2729.76	23.758	0.00877975	5.385	5.422	0.037	0.0068709
	390	2747	2767.35	20.348	0.00740735	5.448	5.479	0.031	0.0056902
	395	2784	2801.42	17.419	0.00625682	5.503	5.53	0.027	0.0049064
	400	2817	2832.68	15.679	0.00556585	5.552	5.576	0.024	0.0043228
22,5MPa	370	1829	1828.03	0.968	0.00052925	4.011	4.011	0	0
	374	1916	1921.21	5.214	0.00272129	4.146	4.154	0.008	0.0019296
	378	2376	2380.31	4.306	0.00181229	4.854	4.861	0.007	0.0014421
	382	2489	2491.84	2.836	0.00113941	5.026	5.032	0.006	0.0011938
	385	2543	2546.26	3.261	0.00128234	5.109	5.115	0.006	0.0011744
	390	2612	2616.28	4.281	0.00163897	5.214	5.221	0.007	0.0013425
	395	2667	2704.9	37.896	0.01420922	5.296	5.353	0.057	0.0107628
	400	2713	2744.74	31.744	0.0117007	5.366	5.412	0.046	0.0085725
25MPa	370	1790	1787.92	2.083	0.00116369	3.942	3.941	0.001	0.0002537
	374	1836	1835.29	0.711	0.00038725	4.014	4.013	0.001	0.0002491
	378	1896	1897.35	1.35	0.00071203	4.106	4.109	0.003	0.0007306
	382	1994	2005.4	11.398	0.00571615	4.255	4.274	0.019	0.0044653
	385	2156	2168.4	12.402	0.00575232	4.503	4.522	0.019	0.0042194
	390	2390	2392	2	0.00083682	4.856	4.861	0.005	0.0010297
	395	2502	2505.91	3.913	0.00156395	5.025	5.032	0.007	0.001393
	400	2578	2584.27	6.266	0.00243057	5.139	5.149	0.01	0.0019459
27,5MPa	370	1766	1764.66	1.342	0.00075991	3.898	3.898	0	0
	374	1804	1802.79	1.206	0.00066851	3.956	3.956	0	0
	378	1846	2720.97	874.97	0.47398158	4.022	5.428	1.406	0.3495773
	382	1896	2737.66	841.664	0.44391561	4.099	5.449	1.35	0.3293486
	385	1943	2774.72	831.721	0.42806022	4.169	5.511	1.342	0.3218997
	390	2053	2065.37	12.366	0.00602338	4.336	4.355	0.019	0.0043819
	395	2226	2233.12	7.12	0.00319856	4.596	4.607	0.011	0.0023934
	400	2379	2381.76	2.764	0.00116183	4.824	4.829	0.005	0.0010365
30MPa	370	1750	1748.04	1.956	0.00111771	3.866	3.865	0.001	0.0002587
	374	1783	1781.78	1.225	0.00068704	3.917	3.916	0.001	0.0002553
	378	1819	2871.48	1052.479	0.57860308	3.972	5.773	1.801	0.453424
	382	1858	2755.38	897.382	0.48298278	4.033	5.482	1.449	0.3592859
	385	1891	2755.39	864.391	0.45710788	4.083	5.475	1.392	0.3409258
	390	1955	2766.1	811.104	0.41488696	4.18	5.482	1.302	0.3114833
	395	2039	2787.25	748.249	0.36696861	4.305	5.508	1.203	0.2794425
	400	2151	2162.34	11.341	0.00527243	4.472	4.49	0.018	0.004025
		Promedio		180.8669	0.09429467			0.293075	0.070988
		Máximo		1052.479	0.57860308			0.293075	0.453424

Mínimo	0.711	0.00038725	0	0
--------	-------	------------	---	---

Nota:

Los valores considerados como referenciales son tomados de
KLEIN, ALVARADO; Engineering Equation Solver Limited Academic V. 6.190; 2001; McGraw-Hill

ANEXO 10
MANUAL DE USUARIO

REALIZADO POR:

Raúl Castillo
Juan Pico

SOFTWARE DE ENTRENAMIENTO TERMODINAMICO

Proyecto de Titulación de Ingeniero Mecánico

MANUAL DE USUARIO

Desarrollado por:

- Raúl Ernesto Castillo Lora
- Juan José Pico Mantilla

Dirigido por:

Ing. Miguel Ortega Lopez

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA
QUITO-ECUADOR**

Los derechos de propiedad Intelectual del presente trabajo son de la Escuela Politécnica Nacional y la Central Termoeléctrica de Esmeraldas, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

MANUAL DE USUARIO

1.1INTRODUCCION

El Software de entrenamiento termodinámico de la C.T.E. ha sido creado como proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el fin de servir como herramienta en la capacitación de personal de la planta y estudiantes de ingeniería. Para lo cual se encuentra compuesto de tres aplicaciones que introducen al funcionamiento de la C.T.E. desde diferentes ángulos, que aunque resultan complementarios, pueden ser empleados de forma independiente de acuerdo a las necesidades del usuario. Cada una de estas aplicaciones ha sido elaborado con herramientas audio visuales que facilitan su uso y mejoran la comprensión.

El paquete de programación empleado para realizar este proyecto es el Visual Basic 6.0. El cual ha sido utilizado tomando en cuenta la variedad y la facilidad en el manejo de herramientas audio-visuales con las que este cuenta.

1.2TIPO DE USUARIOS Y CONOCIMIENTOS NECESARIOS

Los usuarios hacia los que se encuentra orientado el presente programa son:

- Personal de la C.T.E.
- Estudiantes de ingeniería mecánica, química y eléctrica.

Los conocimientos involucrados en el programa dependen de la aplicación, de manera que ciertas aplicaciones son restringidas para personas sin conocimientos específicos acerca de termodinámica.

Los conocimientos involucrados dentro de este software son:

- Termodinámica.
- Transferencia de calor.
- Máquinas eléctricas.

1.3REQUERIMIENTOS DEL PROGRAMA

- Ordenador: Pentium IV o superior
- Velocidad del procesador: 1.86 GHz
- Espacio Mínimo en Disco: 500 MB
- Memoria RAM: Superior a 512 MB

- Windows Media Placer y Parlantes
- Sistema Operativo: Windows XP
- Microsoft Office 2003 o XP

1.4 INSTALACION DEL PROGRAMA

- Abra el CD del programa.
- Haga doble clic en Setup (Instalador).
- Siga las instrucciones señaladas por el instalador.
- Una vez que el programa se encuentre instalado copie las carpetas CTE e informes, que se encuentran en el CD, y colóquelas en el disco C:

1.5 INICIO DEL PROGRAMA

Antes de iniciar el programa es aconsejable tomar ciertas medidas con el fin de que el programa no tenga conflicto con otras aplicaciones y que las herramientas empleadas trabajen de forma adecuada. Estas medidas son descritas a continuación:

Revisión de las propiedades de la pantalla.

Para que el programa pueda ser visto por el usuario de manera correcta es necesario configurar la calidad de la pantalla a 32 bits y la resolución del Monitor a 1024 x 768.

Cerrar otros Programas.

Al encontrarse otros programas en funcionamiento se disminuye la velocidad de respuesta de las aplicaciones del Software. Además, los programas que reproducen audio o video pueden interferir las reproducciones de audio que emplea el programa. De modo que para un adecuado funcionamiento del programa se debe cerrar otras aplicaciones antes de iniciar el programa.

Una vez que se han tomado estas previsiones, es posible iniciar el programa, para lo cual se tiene que hacer clic en "Inicio" que se encuentra sobre la barra de tareas. Luego se debe hacer clic en "Todos los programas" y finalmente se ubica en la lista de programas "Software de entrenamiento Termodinámico" y se hace doble clic sobre este.

1.6 USO DEL PROGRAMA

REPRODUCCIONES DE AUDIO

Por comodidad del usuario, todas las explicaciones requeridas han sido realizadas en reproducciones de audio. Por lo que es necesario que al ingresar en una pantalla se reproduzca el audio pertinente. Puesto que estas reproducciones se complementan con las imágenes mostradas en la pantalla. Dando como resultado un rápido y entretenido aprendizaje.

USO DEL PROGRAMA PASO A PASO

Una vez que el programa ha sido iniciado. Se tendrá la pantalla de la figura 2. La cual sirve de presentación y en donde se puede elegir entre acceder o salir del software.



Figura 2: Pantalla de inicio.

Al hacer clic en ingresar se tendrá la pantalla de la figura 3. La misma que permite el acceso a las diferentes aplicaciones de las que consta el proyecto. Para lo cual basta con hacer clic sobre el botón correspondiente y en el caso de “Análisis de Eficiencia de la C.T.E.” se tiene la opción de escoger entre los datos de muestra o almacenados en la computadora. La función que lleva a cabo cada una de las aplicaciones a las que se accede a través de esta pantalla es descrita a continuación:

NOTA: Es posible que se muestren mensajes de error al intentar seleccionar los datos de la aplicación “Análisis de la Eficiencia de la C.T.E.”, lo cual se debe

a que los datos seleccionados tienen algún tipo de problema. El problema que poseen, aparece en el mensaje.

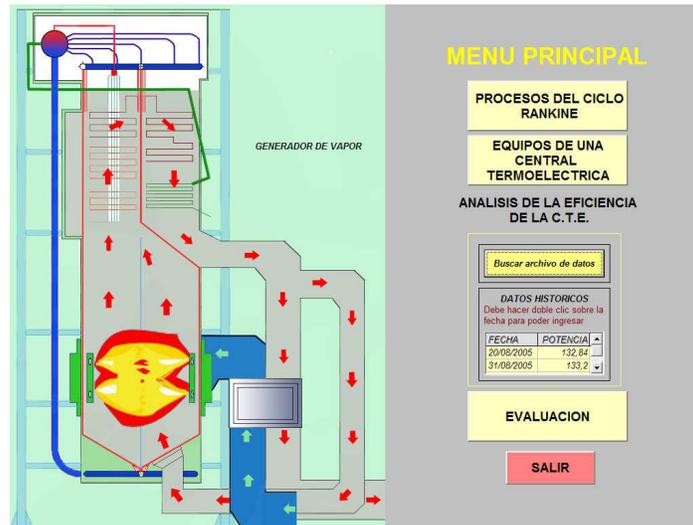


Figura 3: Pantalla “Menú principal”.

PROCESOS DEL CICLO RANKINE

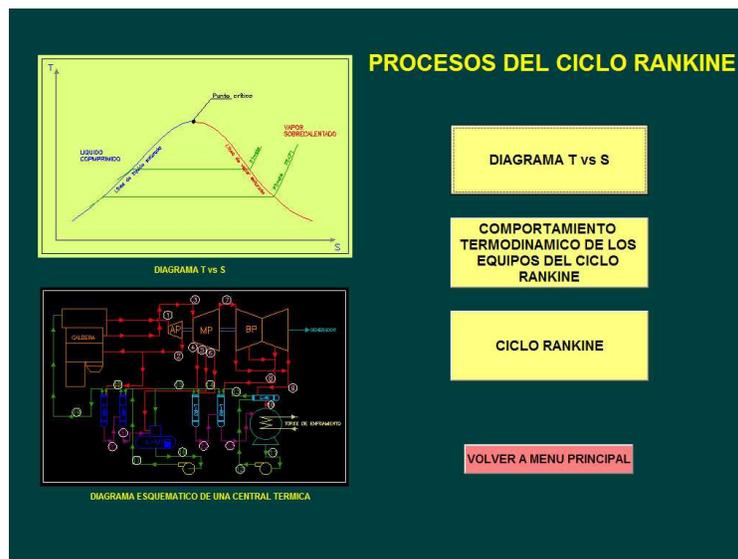


Figura 4: Pantalla “Procesos del ciclo Rankine”

Desde aquí se tiene acceso a una ilustrativa descripción del ciclo Rankine. Para lo cual se emplean Diagramas T-s que son los más empleados en este tipo de ciclos. Partiendo en la campana del agua, siguiendo con los diferentes equipos que componen el ciclo y finalizando con los principales ciclos empleados. En la figura 4, se muestra la pantalla de esta aplicación. La función

que lleva a cabo cada uno de los botones mostrados es descrita a continuación.

Diagrama T vs s: En un diagrama T-s se muestra la campana del agua y los principales elementos de los que se encuentra compuesta. Lo cual es útil, debido a que la campana será observada en todos los diagramas del ciclo Rankine.

Comportamiento Termodinámico de los equipos del ciclo

Rankine: Se muestra la representación en un diagrama T-s de cada equipo que forma el ciclo Rankine.

Ciclo Rankine: Aquí se muestran los diagramas T-s y los esquemas de equipos correspondientes a 3 tipos de ciclos Rankine. El diagrama y el esquema de cada ciclo se encuentran relacionados mediante números. Cada uno de los cuales corresponde a un determinado punto y este es mostrado en las dos representaciones.

EQUIPOS DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA

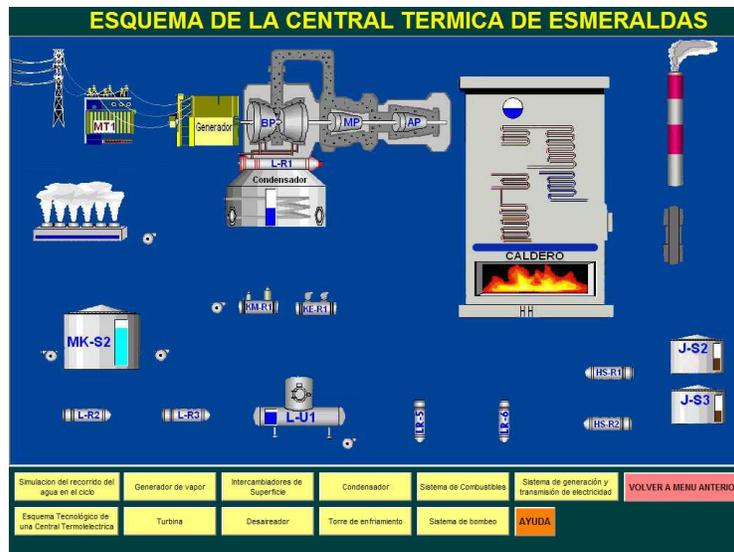


Figura 5: Pantalla de equipos de una central termoeléctrica.

Se muestran los equipos y sistemas que componen la C.T.E. Para lo cual se hace uso de simulaciones que aceleran la comprensión de los procesos llevados a cabo en la central termoeléctrica. La figura 5 muestra la pantalla que

aparecerá al ingresar en esta parte del programa. Desde la cual es posible llevar a cabo varias acciones que son descritas a continuación:

Mostrar fotos de los equipos de la C.T.E.

Para observar las fotos es necesario hacer clic sobre la imagen del equipo en el esquema. Pero es necesario aclarar que no todos los equipos poseen acceso a fotos.

Mostrar el recorrido del agua por los diferentes equipos.

Para lo cual se debe hacer clic en el botón “Simulación del recorrido del agua”. Luego de lo cual aparecerán botones que controlan la reproducción de la simulación. Estos botones son: Comenzar, Detener y Continuar.

Mostrar el esquema tecnológico de una central Termoeléctrica.

Para lo cual es necesario hacer clic sobre el botón “Esquema Tecnológico de una central termoeléctrica”. Luego de lo cual aparecerá una pantalla en la que se puede mostrar las secuencia de las tres vías tecnológicas que son requeridas para el funcionamiento de las centrales. Para lo cual se debe hacer clic en cualquiera de los botones con el nombre de la vía tecnológica que se desea mostrar.

Mostrar el nombre del equipo al que una imagen representa.

Para lo cual se debe colocar el cursor sobre la imagen del equipo que se requiera información y mantenerlo ahí por un par de segundos. Luego de lo cual, aparecerá el nombre del equipo junto al cursor.

Acceso a información de equipos y sistemas de la C.T.E.

En la pantalla aparecen botones en los que se encuentra escrito el nombre de un equipo o sistema. Al hacer clic sobre estos, se accede a información referente a dicho elemento en una nueva pantalla. La cual puede derivar en nuevos accesos hacia componentes de estos elementos. En la figura 6, se presenta el orden en que los accesos a nuevas pantallas se derivan a partir del

esquema de equipos. En estas pantallas se describe los equipos, mediante el uso de:

- Esquemas: En los que se muestran los elementos que componen el sistema o equipo.
- Grabaciones de audio: Estas dan información complementaria del funcionamiento, descripción y función del equipo.
- Simulaciones: A través del uso de imágenes, se representan los movimientos que ocurren durante el funcionamiento de los equipos. Estos movimientos pueden ser de fluidos o equipos, dependiendo la necesidad.

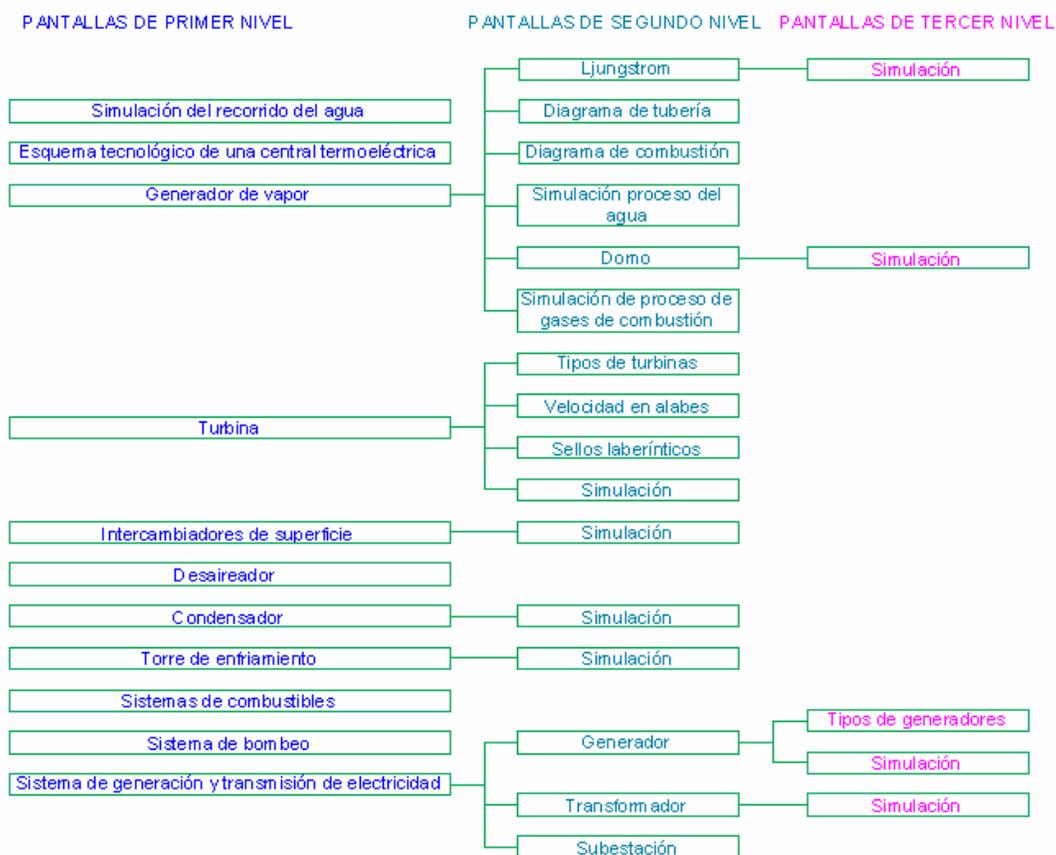


Figura 6: Secuencia de ingreso a pantallas.

ANALISIS DE LA EFICIENCIA DE LA C.T.E.



Figura 7: Pantalla “Análisis de la eficiencia de la C.T.E.

Esta aplicación muestra algunas de las variables de las que depende la eficiencia de la C.T.E. Además de representa su ciclo en un diagrama T-s. Para lo cual se emplean los datos seleccionados al momento de ingresar a esta aplicación. La figura 7 muestra la pantalla de esta aplicación. La función que lleva a cabo cada uno de los botones que aparecen es la siguiente.

Gráfica T-s

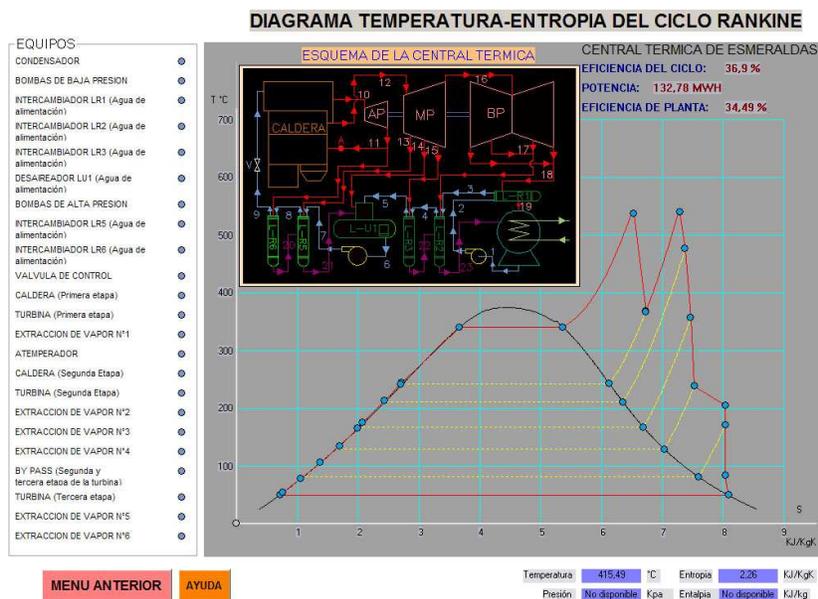


Figura 8: Pantalla “Diagrama Temperatura- entropía del ciclo Rankine”

Aparece la pantalla mostrada en la figura 8. La misma que consiste en una representación con datos reales del diagrama T-s de la C.T.E. Desde la cual es posible conocer las propiedades de cada punto del diagrama, para lo cual basta con colocar el cursor sobre la ubicación requerida. Dichas propiedades son mostradas en la parte inferior derecha. Además de esto es posible relacionar el equipo que lleva a cabo un proceso con la representación de este en el diagrama. Para lo cual se debe ubicar el cursor sobre una representación del equipo. Ya sea en el diagrama, en el esquema de equipos de la parte superior o en el listado de equipos. Con lo cual se ubicarán puntos de color amarillo en las tres representaciones descritas anteriormente. Lo cual permitirá conocer de forma simultanea el nombre del equipo, su ubicación en el ciclo y su representación en el diagrama T-s.

Diagrama T-s modificable

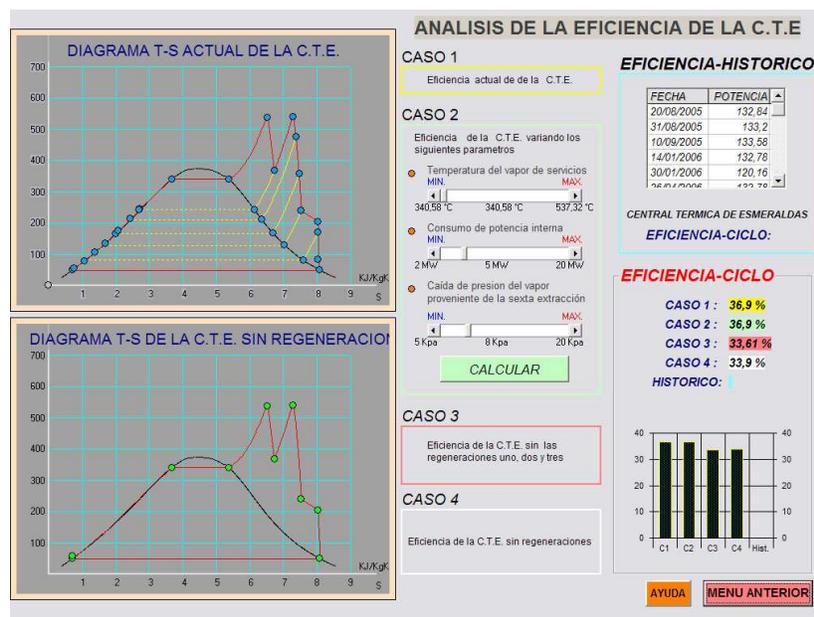


Figura 9: Pantalla “Análisis de la Eficiencia de la C.T.E.” para comparar el ciclo de la C.T.E.

En la figura 9 se muestra la pantalla que aparecerá en el momento de hacer clic sobre este botón. La cual permite comparar la influencia de algunos parámetros en la eficiencia del ciclo de la C.T.E. Para lo cual se consideran 4 casos, el primero de los cuales corresponde al ciclo de la central en las condiciones reales. Los otros tres casos son detallados a continuación:

Caso 2: Las 3 scrollbar mostradas en la pantalla muestran los valores actuales de las condiciones que pueden ser modificadas. Para lo cual basta con hacer clic en el elemento ubicado sobre la barra y soltarlo una vez que se ha ubicado en el valor con el que se desea comparar. Después de lo cual se debe hacer clic en el botón “Calcular” y se obtendrá el nuevo valor de la eficiencia, obtenida a partir de los valores que muestran las scrollbar. Y para el resto de datos, los valores con los que fue calculado el caso 1.

Caso 3: En este caso se considera los datos con los que es calculado el caso 1, pero eliminado tres regeneraciones. Estas son las que toman el vapor a alta presión. Considerando únicamente las tres regeneraciones que emplean vapor de menor presión.

Caso 4: Se toman los datos del caso 1, pero sin considerar las regeneraciones. De modo que este caso corresponde al mostrado en diagrama T-s de la figura inferior de la pantalla, es decir un ciclo con recalentamiento.

Fuera de estos diferentes casos es posible comparar los valores obtenidos, con la eficiencia que ha tenido la central durante el funcionamiento en otras condiciones de potencia. Para lo cual se debe hacer clic en las celdas de la tabla “Eficiencia-Histórico”, en las cuales se puede seleccionar los valores de acuerdo a la fecha en la que han sido tomados o por la potencia generada.

Los resultados se muestran bajo “Eficiencia-Ciclo” donde aparecen los valores de los distintos casos y la representación de estos en un diagrama de barras.

Datos

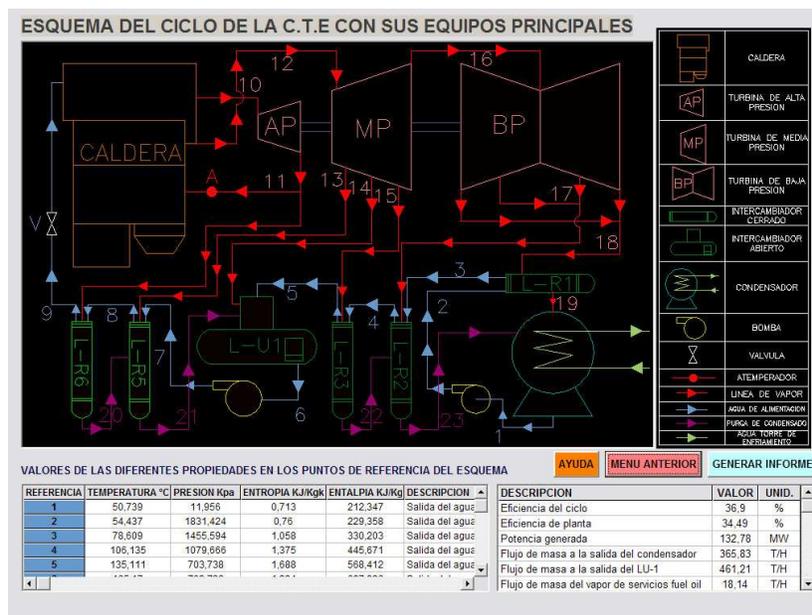


Figura 10: Pantalla “Esquema del ciclo de la C.T.E. con sus equipos principales” para presentación de datos.

Para que sea posible conocer los datos que han sido proveídos para llevar a cabo el cálculo de la eficiencia se muestra la pantalla de la figura 10. La cual muestra, en la tabla de la derecha, los datos de cada uno de los puntos del ciclo y lo relaciona con el esquema mostrado en la figura. Por lo que a cada punto se le asigna un número, el mismo que es mostrado en la columna “Referencia” de la tabla y en el esquema. Además de esto es posible distinguir si el agua se encuentra como líquido, como vapor o si es condensado del vapor empleado en los intercambiadores de superficie para la regeneración. Lo cual es posible debido a que las celdas de la columna “Referencia” y las líneas del esquema tienen una coloración que es celeste en caso de que el agua se encuentre como líquido, roja para el caso de vapor y morada en el caso del condensado de los intercambiadores de superficie.

En la tabla de la derecha se muestran los resultados obtenidos. Además es posible almacenar un informe, al hacer clic en “Generar informe”, el mismo que presenta los datos empleados y los resultados obtenidos y los guarda en la carpeta C:\CTE\INFORMES con el nombre de la fecha en la que se solicitó dicho informe.

EVALUACION

The screenshot shows a quiz interface with the following elements:

- Header:** "EVALUACION" in blue text.
- Question Section:**
 - PREGUNTA:** "3 ¿Cuál es la función de los sellos laberínticos?"
- Answer Section:**
 - RESPUESTAS:**
 - 1 Calentar el vapor que atravieza la turbina
 - 2 Contener las fugas de vapor en la turbina
 - 3 Direccionar el vapor a través de la turbina
- Control Panel:**
 - Buttons: "Iniciar" (yellow), "Siguiente Pregunta" (yellow), "Empezar Nuevo" (yellow), "MENU PRINCIPAL" (red).
 - Score/Status Panel (teal background):**
 - PUNTUACION:** 0
 - ESTATUS:** 0 %
 - TIEMPO:** 19 S

Figura 11: Pantalla "Evaluación"

Para evaluar los conocimientos que han sido adquiridos con el uso de este programa se ha implementado esta aplicación. Lo cual se hace a través de la pantalla mostrada en la figura 11. En la cual se tiene un tiempo límite de 30 para contestar cada una de las preguntas. Por lo que se ha colocado el botón "Comenzar", sobre el que se debe hacer clic cuando el usuario decida y a partir de este momento, el tiempo empezara a correr. Las preguntas serán tomadas al azar de una base de datos y el número será de 5. Como se muestra en la pantalla, se podrá escoger entre 3 alternativas. Luego de contestar se deberá hacer clic sobre el botón "Siguiente pregunta". La puntuación se colocara en forma proporcional al número de preguntas que sean contestadas correctamente.

USO DE LA AYUDA

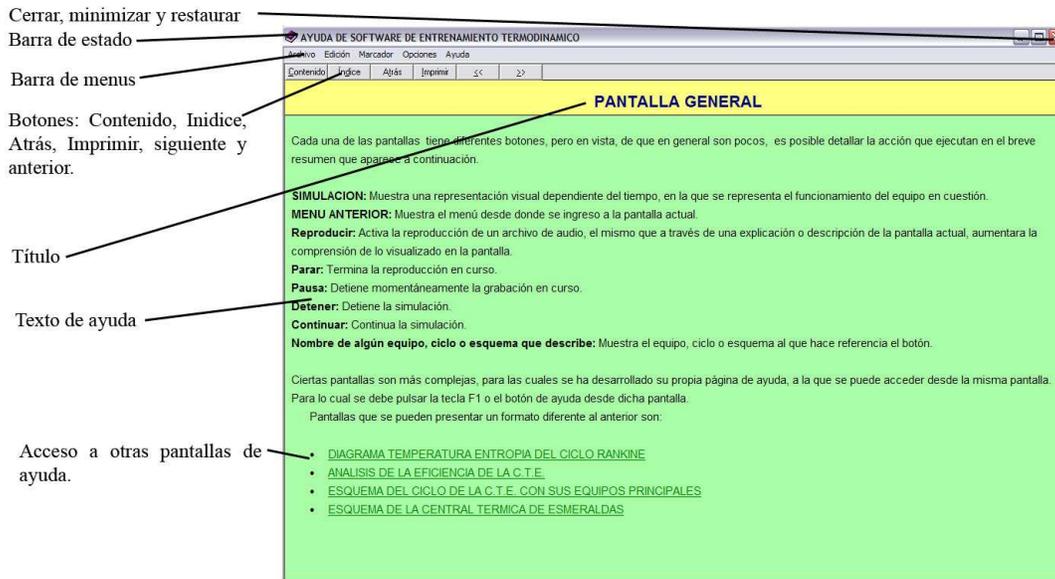


Figura 12: Pantalla de ayuda

Se puede acceder a la ayuda de 3 maneras diferentes:

1. Haciendo clic sobre el icono de ayuda del programa, cuya ubicación es la misma de la carpeta del programa.
2. Aplastando la tecla F1, durante la ejecución del programa.
3. Aplastando el botón de ayuda, en las pantallas que tengan dicho botón.

Es importante acotar que aunque las tres maneras de acceder a la ayuda son válidas, no todas abrirán la ayuda en la página principal. De manera especial, las dos últimas opciones abrirán la ayuda en páginas que tengan relación con la pantalla desde la cual esta fue ejecutada.

Aunque la ventana de inicio de la ayuda no es siempre la misma, todas las ventanas mostradas son similares. Por lo que en la figura 12 se muestran las partes de una ventana común. Puesto que la barra de menú y la barra de estado son comunes en la gran mayoría de programas, no se describirá el funcionamiento de estas. El resto de elementos se detallan a continuación.

Botón de contenido y Índice: Al hacer clic en cualquiera de estos dos botones aparecerá la ventana de la figura 13. La misma que contiene tres pestañas: Contenido, Índice y Buscar. Cada una de las cuales tiene una función en la selección de los temas.

Así la pestaña de contenido muestra los títulos de las pantallas de ayuda, agrupados en libros. Para que se muestre el contenido de los libros se debe

hacer doble clic sobre el título de este y para que se muestre la ventana de ayuda de un tema, se debe hacer doble clic sobre el título solicitado.



Figura 13: Ventana de contenido, índice y búsqueda de la ayuda.

Con la pestaña índice se muestran un listado de los diferentes temas abarcados por el contenido de la ayuda. En caso de requerir dirigirse hacia la ventana que contiene una de las alternativas del índice, se debe hacer doble clic sobre esta.

En la pestaña “Buscar”, se debe colocar el texto que se desea buscar en el primer cajetín. En el segundo cajetín se presentará los resultados obtenidos y en el tercer cajetín se mostrara el título de la ventana que contiene dicho resultado. Al hacer doble clic sobre el título del tercer cajetín se mostrara la ventana correspondiente.

Otra forma de ingresar a las pantallas de ayuda es hacer clic sobre el botón mostrar, cuando la opción requerida se encuentre resaltada.

Botón atrás: Regresa a la última página mostrada.

Imprimir: Imprime el texto que aparece en pantalla.

Anterior (<<): Muestra la página anterior de una secuencia.

Siguiente (>>): Muestra la siguiente página de una secuencia.

Título: Hace referencia al tema abarcado por la página.

Texto de ayuda: Este texto es que contiene las recomendaciones de uso de las aplicaciones del programa.

Acceso a otras pantallas de ayuda: Estos texto muestran los títulos de otras páginas relacionadas con la actual. Y a las que se puede acceder haciendo clic sobre estos.

