



Título: Sustitución del precalentador de aire, su efecto en la eficiencia y funcionamiento del CAR.

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico.



**REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN
SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE
CIENFUEGOS
FACULTAD DE INGENIERÍA**

Autor:

Yoanni Muñoz Martínez

Tutores:

Dra. Margarita J. Lapido Rodríguez

Ing. Carlos Fernández Almenares

Cienfuegos, 2017
Año 59 de la Revolución

PENSAMIENTOS

“no hay nada repartido más equitativo en el mundo que la razón; Todos están convencidos de tener suficiente.”

RENÉ DESCARTES

“El sabio no dice lo que sabe y el tonto no sabe lo que dice.”

PROVERBIO CHINO

“El saber y la razón hablan, la ignorancia y el error gritan.”

ARTURO

GRAF

“No es que el genio se adelante un siglo a su tiempo, es la humanidad la que se encuentra cien años por detrás de él.”

ROBERT MUSIL

“El único sentimiento más grande que el amor a la libertad es el odio por aquel que nos la niega.”

Ernesto Che Guevara

AGRADECIMIENTOS

A mi familia:

A mi familia que es lo más grande que he conocido en este mundo. Todo lo que soy y lo que seré se los debo a ellos. Gracias por guiarme y apoyarme en los momentos más difíciles de mi carrera y de mi vida.

A mis profes:

A mis profes le doy las gracias por haber puesto en nosotros todo su empeño para que aprendiéramos de las asignaturas impartidas como también de la vida. Mi más sentido agradecimiento por el apoyo recibido en los momentos más difíciles de la carrera, yo sabía que podía contar con ustedes para lo que fuera. Especialmente le doy las gracias a mis tutores Margarita y Carlos por su apoyo incondicional y por haberme aguantado y haberme ayudado desarrollar esta tesis, al igual que le agradezco a todos los que pusieron su granito de arena en ella.

A mis amigos:

Gracias por dejarme gozar de las maravillas de la amistad y por tantos buenos momentos que vivimos todos juntos que se quedaran en mi memoria para contarles a todos con orgullo de los grandes amigos que hice en estos años, nunca los olvidare y sepan que tienen en mi un hermano para toda la vida con el que van a poder contar por siempre.

A la UCF:

Por permitirme aprovechar estos cinco años para formarme como un profesional comprometido y entregado a la Revolución; y aunque salga de ella a trabajar siempre ella va a estar conmigo, dejando en mí grandes recuerdos y buenos amigos.

DEDICATORIA

A mi familia y amigos por darme el ánimo y el apoyo necesario para llegar al final, pero sobre todo y principalmente a mi madre, esa mujer que es la que me da las fuerzas para seguir siendo el motor impulsor en mi persona; y la que nunca se rindió y siguió junto a mi hasta verme convertido en un profesional.

Resumen.

En el presente trabajo abordamos una temática de mucha importancia en todo proceso de generación de energía eléctrica a base de los ciclos agua-vapor donde se le reincorpora el aire como elemento adicional al suministro de combustible para alcanzar tales propósitos, deteniéndonos específicamente en el uso de los precalentadores de aire, su aporte a la eficiencia y el resultado que implicaría la no utilización de estos agregados en una instalación de caldera, así como, realizamos el cálculo económico referido a los costos de montaje y mantenimiento, aunque profundizamos en el apartado eficiencia e índice de eficiencia; se tocará también el tema medio ambiente y eliminación de partículas dañinas.

Como conocemos, los precalentadores de aire están llamados a ser los equipos primarios que reducen sustancialmente los efectos corrosivos y destructivos de las partes de más baja temperatura en las calderas de vapor, de ahí que precalienten el aire suministrado por los ventiladores de tiro forzados antes de llegar al CAR, utilizando para ello vapor, pero la utilidad de estos equipos se describe en este trabajo que hoy ponemos a su consideración.

Al final de cada tema o punto se arriban a conclusiones parciales que consideramos resultan de sumo interés para los que consideren oportuno este material para consulta y también se dictan las recomendaciones apreciables para entender la importancia del tema tratado.

Summary.

Presently work approaches a thematic of a lot of importance in all process of electric power generation with the help of the cycles water-vapor where he/she is reinstated the air like additional element to the supply of fuel to reach such purposes, stopping specifically in the use of the precalentadores of air, its contribution to the efficiency and the result that it would imply the non use of these attachés in a boiler installation, as well as, we carry out the economic calculation referred to the assembly costs and maintenance, although we deepen in the remote efficiency and index of efficiency, it will also be played the topic environment and elimination of harmful particles.

As we know, the precalentadores of air is called to be the primary teams that reduce the corrosive and destructive effects of the parts of lower temperature substantially in the boilers of vapor, with the result that they preheat the air given by the shot fans forced before arriving to CAR, using for it vapor, but the utility of these teams is described in this work that today puts to its consideration.

To the end of each topic or point they are arrived to partial conclusions that we consider they are of supreme interest for those that consider opportune this material for consultation and the appreciable recommendations are also dictated to understand the importance of the treated topic.

Contenido

INTRODUCCIÓN:.....	1
Capítulo 1: Estado del Arte de los precalentadores de aire de las Centrales Termoeléctricas (CTE).....	4
1.1 Descripción general de las termoeléctricas.	4
1.1.1 Centrales termoeléctricas de ciclo convencional.....	4
1.1.2 Centrales termoeléctricas de ciclo combinado.....	5
1.2 Partes principales de las termoeléctricas: La turbina y la caldera.	7
1.3 Descripción de la turbina.	7
1.4 Descripción general de la caldera.	8
1.5 Descripción de los precalentadores de aire.....	11
1.6 Impacto ambiental en centrales termoeléctricas.	15
1.6.1 Eliminación de partículas.	16
1.6.2 Control y eliminación de los NOx.	16
1.6.3 Efectos del NOx sobre la salud y el medio ambiente.....	18
1.6.4 Control y eliminación de los SOx.....	18
1.6.5 La contaminación del aire por SO2.	19
1.6.6 El dióxido de carbono como contaminante.	20
1.7 Contención de los gases contaminantes en la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”. ...	21
1.7.1 Muestreador automático ISOSTACK-BASIC.....	22
1.7.2 Metodología para las mediciones.....	22
1.8 Conclusiones parciales.	23
Capítulo 2: Determinación de la eficiencia energética del precalentador de aire y metodología del impacto ambiental de la CTE.	24
2.1 Metodología del cálculo de coeficientes de transmisión de calor a través de un intercambiador de calor (método logarítmico).	26
2.2 Método NTU para el cálculo de eficiencia de un intercambiador de tubo y coraza... 29	
2.3 Cálculo de la eficiencia en el precalentador de aire de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”(método NTU).	30
2.3.1 Lo que implica tener el Precalentador de aire fuera:.....	34
2.4 Metodología para la estimación del caudal másico de emisión en la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”.	35
2.4.1 Cálculo del flujo volumétrico y la velocidad de los gases de escape.	35
2.4.2 Inventario de emisiones.....	37
2.5 Conclusiones parciales.	40

Capítulo 3: Evaluación económica de los precalentadores y de los cestos del CAR.	41
3.1 Montaje de los precalentadores.	41
3.2 Desmontaje y Montaje de los cestos del CAR.....	44
3.2.1 Desmonte de los cestos fríos.	44
3.2.2 Desmonte de los cestos calientes.	50
3.2.3 Montaje de los cestos y tapas del CAR.....	56
3.3 Conclusiones parciales:	62
Conclusiones.	63
Recomendaciones.	64
Bibliografía	65
Anexos.....	68

INTRODUCCIÓN:

La energía desde el punto de vista social y económico permite realizar trabajos o servir de subsidiario a actividades económicas independientes de la producción de esta. Durante el siglo XX los combustibles químicos y la electricidad fueron las dos formas de energía más comúnmente usadas, convirtiéndose, hoy en día, la energía eléctrica, en lo más importante para lograr el desarrollo de un país, donde si aparece una crisis energética desemboca irremediablemente en una crisis económica, la utilización eficaz de la energía es esencial para la sostenibilidad de un país y para ello es necesario que existan centrales termoeléctricas; ellas son las principales proveedoras de electricidad en una nación a pesar de estas consumir gran cantidad de petróleo y mandar a la atmósfera gran cantidad de CO₂, NO₂ y SO₂ los cuales provocan el llamado efecto invernadero y dañan considerablemente la salud del ser humano y de los animales.

Cuba también cuenta con termoeléctricas, consumiendo al año aproximadamente el 55% del petróleo que entra en el país el cual son unas 6 millones de toneladas. Dentro de las termoeléctricas más reconocidas se encuentra la Central Termoeléctrica de Cienfuegos "Carlos Manuel de Céspedes" ubicada en la carretera O'bourke KM 2 $\frac{1}{2}$, zona industrial No 1, la cual es de las más destacadas de nuestro sistema electro energético con más de 35 años como vanguardia nacional. Entre los logros más significativos de la empresa termoeléctrica de Cienfuegos figura la certificación del Sistema de Gestión de Salud y Seguridad del Trabajo desde el 2014, así como los de Calidad, Gestión Ambiental y Capital Humano. También cuenta con la certificación de seguridad contra incendios y recientemente mereció el Premio Nacional de Calidad de la República de Cuba. Entre las fortalezas existentes en la entidad está la labor sindical, caracterizada por un adecuado funcionamiento de todas las secciones de base y el buró, encabezado por el joven ingeniero Deni Escalona Tillet, miembro del Consejo Nacional de la Central de Trabajadores de Cuba (CTC) y quien fuera electo delegado directo al XX Congreso de esa organización, efectuado en febrero de 2014. A pesar de los múltiples riesgos (bajas y altas tensiones, ruidos considerables, vibraciones, temperaturas y presiones

elevadas...) no ocurre algún accidente desde el 8 de abril del 2009, cuando sucedió uno leve. La CTE Carlos Manuel de Céspedes resalta por la productividad de una fuerza laboral muy estable y comprometida, su destacada labor de preservación medioambiental y el trabajo de los analistas y racionalizadores, ponderado sistemáticamente cada año. Dicha termoeléctrica entró en funcionamiento en el año 1968 con dos unidades de procedencia Checa que generaban en sí 66 MW/hr (33 MW/hr cada una), más tarde, en 1978, entra en funcionamiento la primera de dos nuevas unidades Japonesas lo cual elevó la potencia de esta Termoeléctrica hasta 382 MW/hr. Las dos primeras unidades con el tiempo dejaron de ser eficientes y causaron baja del SEN (Sistema Electro-Energético Nacional) por lo que la Central Termoeléctrica quedó con solo dos unidades japonesas que son las que funcionan actualmente. Estas Unidades se conocen por las siglas CMC3 y CMC4 respectivamente, trabajan como plantas base para el SEN. Dentro de estas unidades se localizan los precalentadores de aire, los cuales cumplen la función de precalentador aire que proviene de los ventiladores de tiro forzado (VTF) para enviarlos a los calentadores de aire regenerativos (CAR) a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, aquí se utiliza la energía calórica latente de los gases provenientes de la caldera con el objetivo de aumentar la temperatura del aire que se envía al horno y se mezcla con el combustible; aprovechando así el calor contenido en el humo antes de que este se desperdicie al irse por las chimeneas, con este proceso las centrales eléctricas pueden mejorar su eficiencia y reducir el consumo de combustible. El uso de los precalentadores hace que al calentarse el aire para la combustión se acelere la ignición y fomente una combustión rápida y completa del combustible. Los elementos que producen este intercambio térmico dentro de los CAR, después de salir el aire de los precalentadores, se llaman canasta o ruedas de calor, el contacto de los humos provenientes de la combustión con las canastas, al tiempo, genera taponamiento, lo cual disminuye el rendimiento de la planta y genera una parada en la generación del vapor por el aumento de presión en el hogar de la caldera. (Fernández, 2017)

Problema Científico:

Hoy en día el precalentador de aire de la unidad CMC3 no está funcionando debido a la existencia de ponchaduras en los radiadores que forman el precalentador lo que provocó continuas averías cercanas a los cabezales inferiores, obligando a la cancelación de los tubos en lugares de difícil acceso, afectando la eficiencia energética del CAR así como un aumento del índice de consumo de combustible.

Hipótesis: Determinar la eficiencia del precalentador seleccionado utilizando la metodología del NTU en condiciones de operación e incluir una evaluación técnica-económica de la modificación realizada.

Para dar respuesta al problema antes planteado tenemos como objetivo general utilizar una metodología ya existente para el cálculo de eficiencia del precalentador de aire. Se tiene además como objetivos específicos:

1. Actualizar el estado del arte de los precalentadores de aire utilizados en las centrales termoeléctricas convencionales.
2. Analizar el Impacto Ambiental de los principales componentes de la combustión.
3. Calcular la eficiencia energética en condiciones de operación de los precalentadores.
4. Realizar una evaluación técnica económica del precalentador de aire.

Capítulo 1: Estado del Arte de los precalentadores de aire de las Centrales Termoeléctricas (CTE).

1.1 Descripción general de las termoeléctricas.

Una central termoeléctrica o central térmica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica. Este tipo de generación eléctrica es contaminante pues libera dióxido de carbono.

1.1.1 Centrales termoeléctricas de ciclo convencional.

Se llaman centrales clásicas o de ciclo convencional a aquellas centrales térmicas que emplean la combustión del carbón, petróleo o gas natural para generar la energía eléctrica. Son consideradas las centrales más económicas y rentables, por lo que su utilización está muy extendida en el mundo económicamente avanzado y en el mundo en vías de desarrollo, a pesar de que estén siendo criticadas debido a su elevado impacto medioambiental.

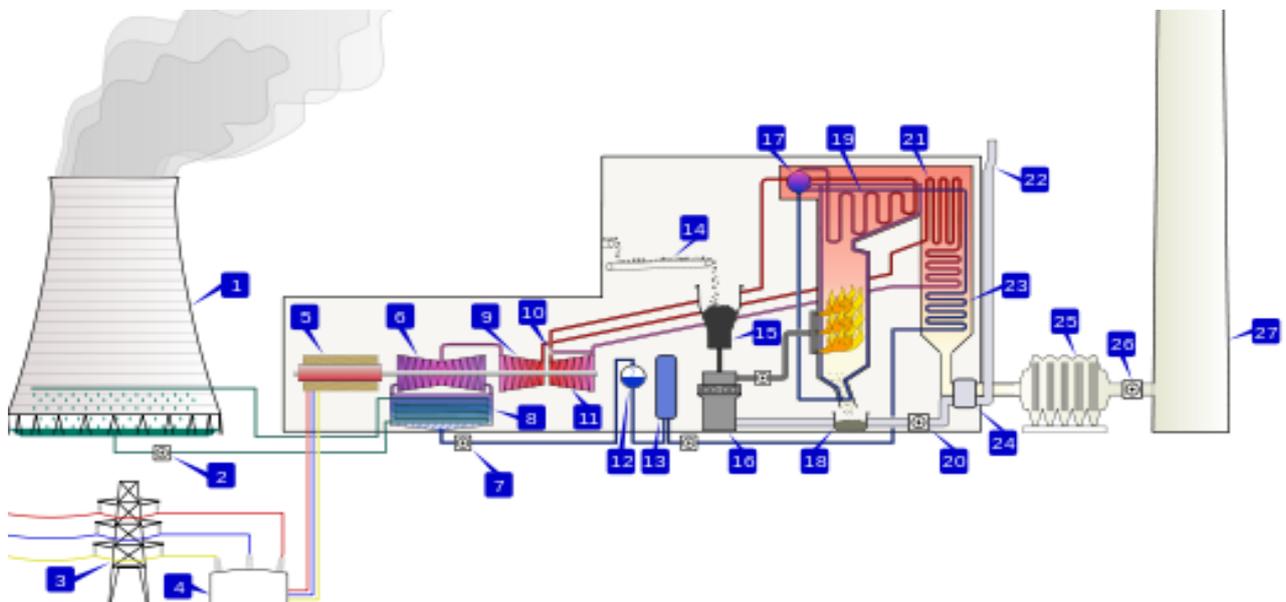


Figura 1.1 Diagrama de funcionamiento de una central térmica de ciclo convencional

Tabla 1.1 Componentes de una central térmica de ciclo convencional.

1. Torre de refrigeración	10. Válvula de control de gases	19. Supercalentador
2. Bomba hidráulica	11. Turbina de vapor de alta presión	20. Ventilador de tiro forzado
3. Línea de transmisión (trifásica)	12. Desgasificador	21. Recalentador
4. Transformador (trifásico)	13. Calentador	22. Toma de aire de combustión
5. Generador eléctrico (trifásico)	14. Cinta transportadora de carbón	23. Economizador
6. Turbina de vapor de baja presión	15. Tolva de carbón	24. Precalentador de aire
7. Bomba de condensación	16. Pulverizador de carbón	25. Precipitador electrostático
8. Condensador de superficie	17. Tambor de vapor	26. Ventilador de tiro inducido
9. Turbina de media presión	18. Tolva de cenizas	27. Chimenea de emisiones

1.1.2 Centrales termoeléctricas de ciclo combinado.

En la actualidad se están construyendo numerosas centrales termoeléctricas de las denominadas de ciclo combinado, que son un tipo de central que utiliza gas natural, gasóleo o incluso carbón preparado como combustible para alimentar una turbina de gas. Luego los gases de escape de la turbina de gas todavía tienen una elevada temperatura, se utilizan para producir vapor que mueve una segunda turbina, esta vez de vapor. Cada una de estas turbinas está acoplada a su correspondiente alternador para generar la electricidad como en una central termoeléctrica clásica.

Normalmente durante el proceso de partida de estas centrales, sólo funciona la turbina de gas, a este modo de operación se le llama ciclo abierto. Si bien la mayoría de las centrales de este tipo pueden intercambiar de combustible (entre

gas y diésel) incluso en funcionamiento. Al funcionar con petróleo diésel ven afectada su potencia de salida (baja un 10% aprox.), y los intervalos entre mantenimientos mayores y fallas, se reducen fuertemente.

Como la diferencia de temperaturas que se produce entre la combustión y los gases de escape es más alta que en el caso de una turbina de gas o una de vapor, se consiguen rendimientos muy superiores, del orden del 55%.

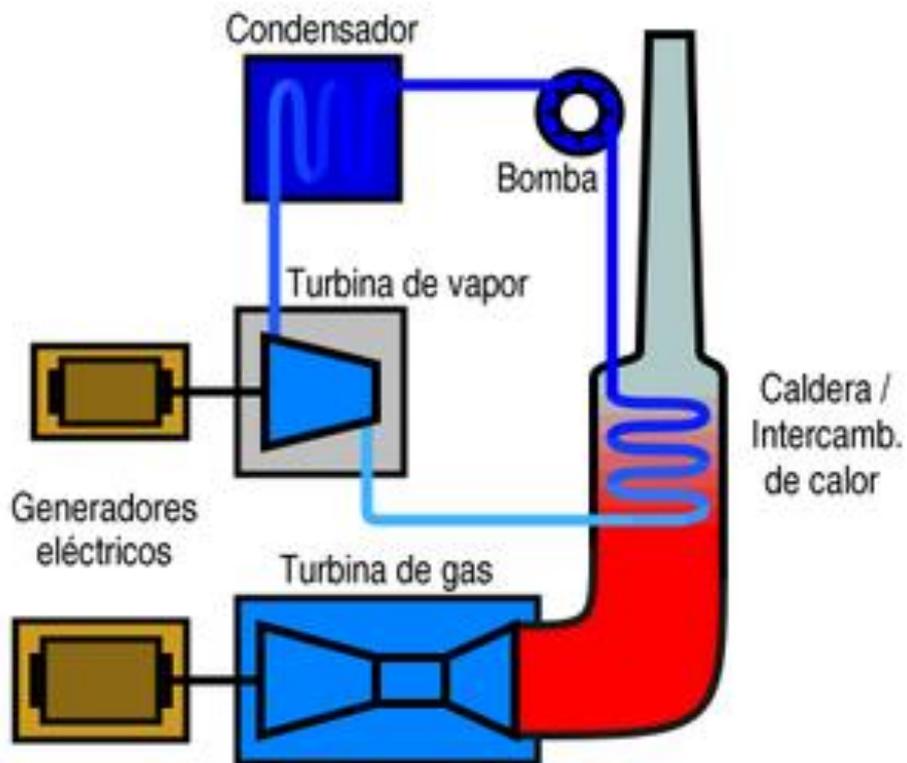


Figura 1.2 Diagrama de funcionamiento de Centrales termoeléctricas de ciclo combinado.



Figura 1.3 Termoelectrica de Cienfuegos “Carlos Manuel de Céspedes”.

1.2 Partes principales de las termoelectricas: La turbina y la caldera.

Las termoelectricas cuentan con varias partes, entre ellas, y de las más importantes, se encuentran la turbina y la caldera, encontrándose en esta segunda los precalentadores de aire el cual es el objetivo principal de esta investigación.

1.3 Descripción de la turbina.

La turbina incorpora características del diseño y de la construcción que han probado su fiabilidad y eficiencia en un número grande de unidades. Esta lanza envoltura acerada con su cámara de vapor integral, es particularmente adaptada para la operación de alta temperatura. Las mitades de la envoltura son

simétricas, relativamente uniforme en el espesor y tienen pasillos circunferenciales de extracción. Esta construcción minimiza distorsión y desalineación. La envoltura de la turbina es fijada con pernos para la parte delantera – soportar estándares, y la alineación es mantenida por cuatro llaves radiales. Este acomodamiento deja la envoltura para expandir y tomar parte en todas las instrucciones sin disturbar la alineación de la línea central. El estándar de fin de la turbina se adelanta cuando la turbina se expande. En el fin de presión baja, la envoltura es fijada con pernos para la envoltura educto que, es dividido en la línea central horizontal para dejar el desmontaje y la inspección. Las superficies unidas de la brida son labradas a máquina para dar contacto metal a metal completo. La estrechez de vapor en estas juntas es obtenida por el diseño de coordinante de la brida y del perno. El corrimiento aguantando localizó en el estándar delantero, mantiene el despejo axial entre el rotor de la turbina y las partes estacionarias, y no requiere ajuste. La retención de calor que el aislador es aplicado para la alta temperatura parte. La porción de alta temperatura de la turbina por encima del piso está adicionalmente cubierta y al abrigo de metal quedando atrás eso consta de lámina de acero fabricada, enrollada y moldeada lo de requerido. La retención de calor que el aislador es aplicado para la alta temperatura parte. La porción de alta temperatura de la turbina por encima del piso está adicionalmente cubierta y al abrigo de metal quedando atrás eso consta de lámina de acero fabricada, enrollado y moldeado para la forma requerida.(Mesa, 2017)

1.4 Descripción general de la caldera.

La caldera Japonesa de la firma BABCOCK HITACHI K.K. es de horno presurizado y de circulación natural del agua con un domo de un solo sector: puro. El horno está conformado por las paredes de agua. La hermeticidad a la fuga de gases en el horno es lograda por una membrana entre los tubos que la conforman. La evaporación tiene lugar en un ciclo cerrado donde el vapor se separa y seca en el Domo pasando luego por dos pasos de sobrecalentamiento hasta lograr que este llegue hasta los parámetros nominales de diseño para ser introducida en la turbina. Con el objetivo de aumentar la eficiencia del ciclo existe un paso de recalentamiento que está encargado de elevar la temperatura del vapor que sale del Cilindro de Alta Presión de la Turbina para aumentar su

capacidad de trabajo. El control de la temperatura del vapor dentro de los parámetros de diseño se logra mediante la inyección de agua de alimentar por los atemperadores que están situados entre el Sobrecalentador Primario y el Sobrecalentador Secundario así como también hay otro atemperador en la Línea de Vapor Recalentado Frío antes del cabezal de entrada del Recalentador. (Fernández, 2017)

El peso de la caldera es soportado por una estructura formada por columnas y vigas que permite la dilatación hacia abajo de ésta durante el calentamiento y operación normal de esta.

Por encima del Cabezal de Techo hay un espacio llamado Cámara Caliente Superior, donde se encuentran el Domo, los cabezales superiores de las paredes de agua del Horno y los tubos retornadores de las paredes de agua. En la parte inferior del Horno existen dos cámaras inferiores: una que se encuentra debajo del piso que conforma la Pared Trasera, por donde entran los gases de recirculación hacia el Horno, y otra cámara debajo del piso que conforma la pared frontal. En el interior de estas cámaras se encuentran los cabezales inferiores de las Paredes de Agua. (Fernández, 2017)

Esta Caldera, en la pared lateral izquierda cuenta con 7 registros de acceso hombres (3 por la parte radiante y 4 por la convectiva) ubicado a diferentes niveles para permitir la inspección de los diferentes sectores de la Caldera. (Hernández y Gelabert)

Datos técnicos de la caldera:

Tabla 1.2 Datos de la caldera.

Potencia Nominal del vapor, t/h	535
Presión Nominal del vapor sobrecalentado, Kg/cm ²	131
Temperatura Nominal del vapor sobrecalentado, °C	540
Presión Nominal del vapor recalentado, Kg/cm ²	29.9
Temperatura del vapor recalentado, °C	346.9/540
Flujo del vapor recalentado, t/h	455.121

Temp. del agua de alimentar a la salida de los CAP, °C	262.8
Temp. del agua de alimentar a la salida del Eko, °C	295
Cantidad de quemadores	9
Etapas de sobrecalentamiento	2
Etapas de recalentamiento	1
Cantidad de ventiladores de tiro forzado	2
Cantidad de recirculadores de gases	2
Cantidad de precalentadores	2
Cantidad de calentadores de aire regenerativos	2
Etapas de atemperamiento	2

Parámetros principales de diseño de la caldera:

Caldera tipo REE, de domo simple, radiante.

- Flujo de vapor a régimen máximo continuo (M.C.R.)

Salida del sobrecalentador (SH) 535 t/h

Salida del recalentador (RH) 455 t/h

- Presión de vapor a MCR

Salida del SH 131 kgf/cm²

Salida del RH 30 kgf/cm²

- Temperatura del vapor a MCR

Salida del SH 540 °C

Salida del RH 540 °C

- Temperatura del agua de alimentar.

Entrada del economizador (ECO) 263 °C

Salida del ECO	295 °C
- Temperatura del aire a la entrada del	
VTF	28 °C
- Combustible	petróleo
- Sistema de horno	presurizado
- Régimen químico de caldera.	
Total de sólida sílica	<50ppm
Fosfato de sodio	2 a 5 ppm
PH	9.5-10
- Calidad del vapor salida de caldera	
Conductividad	<0.3 Ms/cm
(SiO ₂)	<0.020 mg/l

1.5 Descripción de los precalentadores de aire.

Los sistemas de calderas tienen muchos intercambiadores de calor con fluidos que varían su temperatura a medida que los atraviesan.

Un intercambiador de calor es un aparato recorrido por dos o más medios, uno de los cuales cede a los demás, calor o frío. Si un proceso químico debe desarrollarse de una forma prevista de antemano, será preciso realizarlo a una determinada temperatura. Las reacciones ponen en juego, en general, considerables cantidades de calor. Casi siempre resulta conveniente enfriar los productos de la reacción en un enfriador. El calor así recuperado, puede utilizarse para recalentar otros productos o para precalentar los empleados en el propio proceso. Incluso es obligado a veces proceder a este precalentamiento, a fin de obtener temperaturas bastantes elevadas para que el proceso a desarrollar se desenvuelva normalmente.

Los intercambiadores de calor se pueden clasificar de muchas formas diferentes. Una forma consiste en basar la clasificación en las direcciones relativas del flujo

de los fluidos calientes y frío, dando lugar a términos como fluidos paralelos, cuando ambos fluidos se mueven en la misma dirección; flujo encontrado, cuando los fluidos se mueven en paralelo pero en sentido opuesto; y flujo cruzado, cuando las direcciones de flujo son mutuamente perpendiculares.

Se ha reconocido que el empleo juicioso de los balances térmicos conduce a resultados interesantes, en lo que respecta a la rentabilidad. Desde este punto de vista, el intercambiador de calor aparece como un órgano particularmente importante de las instalaciones químicas.

Las aplicaciones de los intercambiadores de calor son muy variadas y reciben diferentes nombres (Buthod et al., Capítulo 8):

1. **Intercambiador de Calor:** Realiza la función doble de calentar y enfriar dos fluidos.
2. **Condensador:** Condensa un vapor o mezcla de vapores.
3. **Enfriador:** Enfría un fluido por medio de agua.
4. **Calentador:** Aplica calor sensible a un fluido.
5. **Rehervidor:** Conectado a la base de una torre fraccionadora proporciona el calor de reebulición que se necesita para la destilación.
6. **Vaporizador:** Un calentador que vaporiza parte del líquido.

El **precalentador de aire** es un intercambiador de calor que tiene como función calentar el aire para la combustión antes de ser suministrado al horno del generador de vapor. El aire impulsado por el ventilador de tiro forzado es introducido en el calentador de aire y de éste por conductos es conducido hasta los quemadores del horno. Los gases calientes llegan al calentador de aire proveniente del economizador o de los sobrecalentadores en caso de no existir economizador (Rubio, 2000).

El principio de recuperación implica la transferencia de calor a través de una pared de separación entre los medios que intercambian. En este caso el medio frío (aire) está continuamente recuperando el calor cedido por el medio caliente (vapor). Los precalentadores de aire recuperativos de tubos, están formados por

una bancada de tubos rectos, verticales u horizontales, fijados los tubos en sus extremos a placas metálicas. El conjunto es envuelto por una carcasa también metálica. El precalentador de aire tubular tiene comúnmente los tubos verticales y en este caso el vapor fluye por dentro de estos y el aire por la carcasa. La ventaja de este sistema es que la corrosión se limita a los tubos, no atacando la carcasa; pero presenta como limitante que no puede limpiarse durante la operación (Rubio, 2000).

El precalentador de aire presenta todas las ventajas generales de los equipos recuperadores y adicionalmente presenta las siguientes características útiles para el generador de vapor (Rubio, 2000).

1. La eficiencia de la combustión se eleva con la utilización de aire caliente.
2. La combustión a bajas cargas se ve favorecida y se estabiliza producto de una mejor ignición.
3. Se logra el uso de cargas térmicas mayores en el horno, producto de la aceleración de la combustión; esto permite la disminución del volumen del horno y de hecho generadores de vapor más compactos y más baratos.
4. Se mejora la transferencia de calor en el horno producto del incremento de la temperatura que favorece la radiación. Esto permite también diseñar hornos más compactos.
5. La eficiencia general del generador de vapor se incrementa dada la disminución de las pérdidas de calor con los gases y el mejoramiento de la combustión.
6. En relación con los economizadores reclaman tubos de menor espesor por estar sometidos a presiones casi atmosféricas.

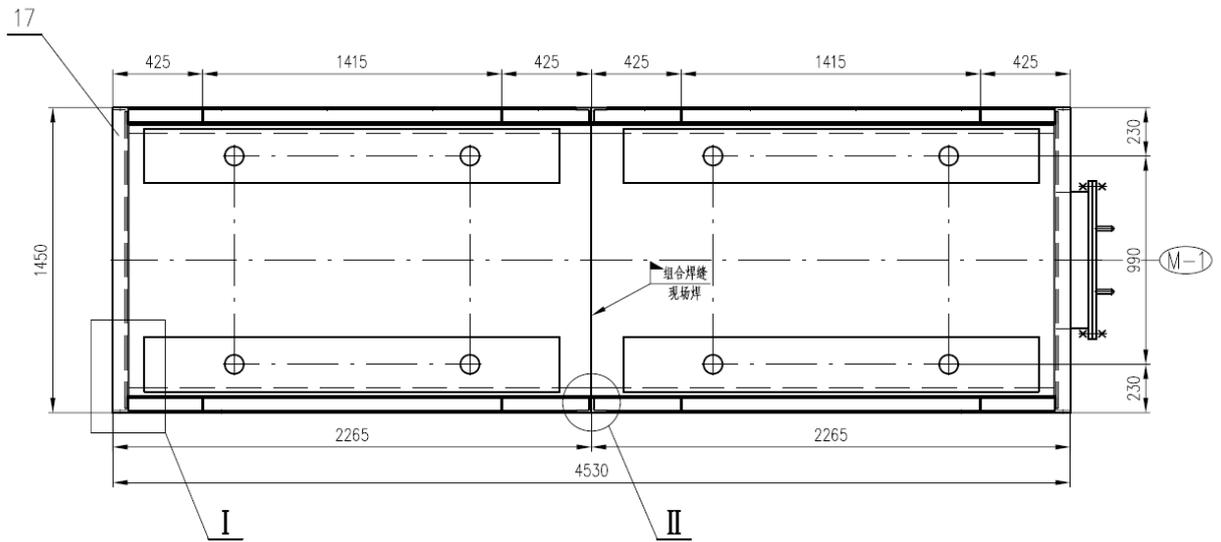


Figura 1.4 Vista superior del Plano del Precaentador de aire de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”.

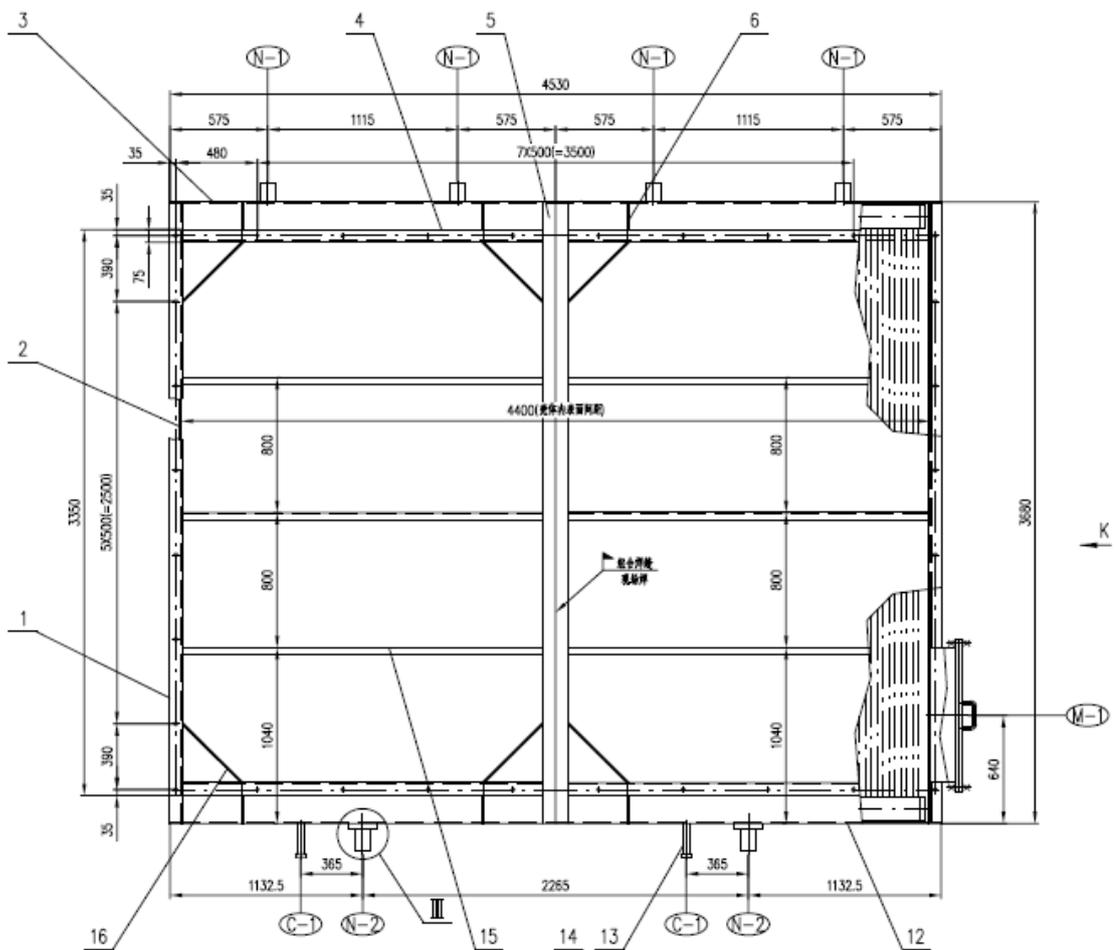


Figura 1.5 Vista lateral del Plano del Precaentador de aire de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”.

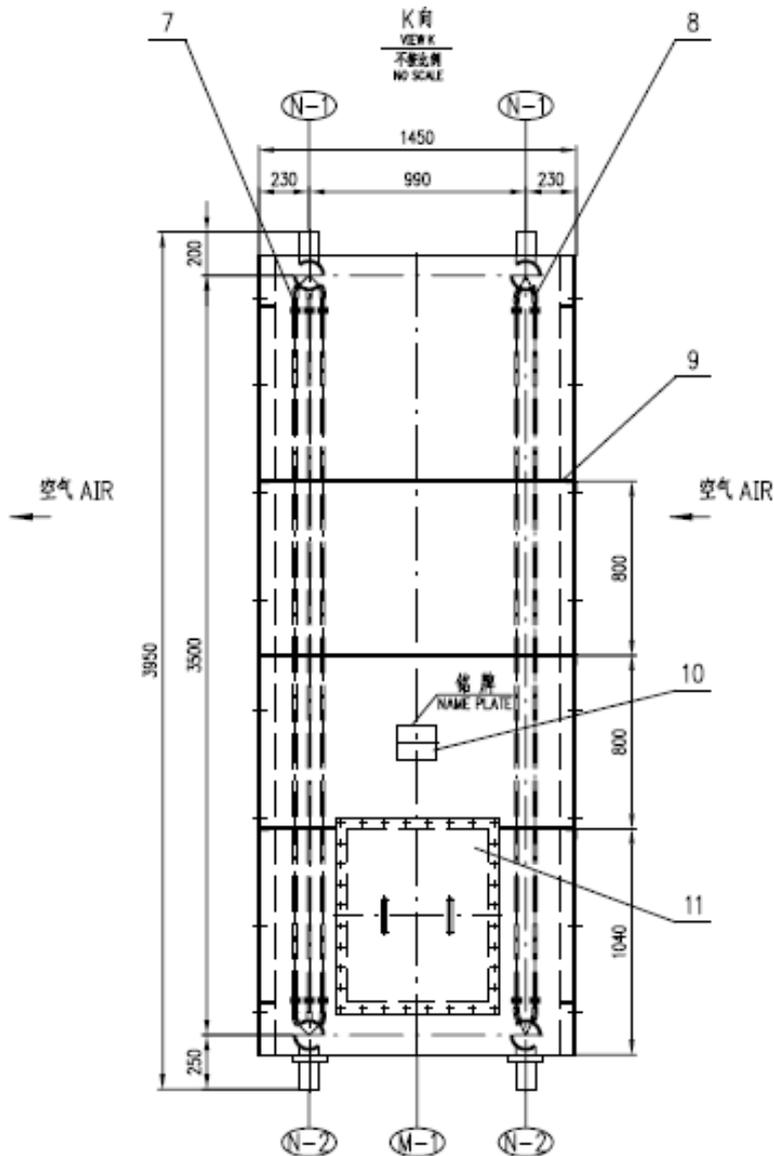


Figura 1.6 Vista frontal del Plano del Precalentador de aire de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”.

El precalentador a tratar en el caso de estudio es un intercambiador de tubo y coraza aleteado por el cual circula aire por la carcasa y vapor sobrecalentado por dentro de los tubos. El modelo es HM-5R (56) (55)-3200 con dos bloques cada uno, posee una superficie de 737 m^2 y un peso de 5700Kg. Posee 556 tubos y 1 aleta por cada tubo.

1.6 Impacto ambiental en centrales termoeléctricas.

El proceso de combustión se puede definir como la combinación química rápida del oxígeno con elementos del combustible. Los principales elementos químicos

de los combustibles son el carbono, hidrógeno y azufre, siendo este último de menor importancia como fuente de calor (Fundación Labein para IHOBE, 2005).

Los principales contaminantes emitidos a la atmósfera durante la combustión son el SO₂, NO_x, partículas, metales pesados y gases de efecto invernadero; también puede emitir sustancias como HF, HCl, compuestos orgánicos volátiles y dioxinas. (Fundación Labein para IHOBE, 2005).

1.6.1 Eliminación de partículas.

La utilización de los combustibles fósiles para la generación de vapor depende en gran medida de la capacidad del equipo para adaptarse a las cenizas de la combustión. La ceniza reduce el poder calorífico del combustible, y supone cargas adicionales en el almacenamiento, manipulación y preparación del combustible, precisando de equipos para recoger, retirar y deshacerse de ellas. Todos los combustibles fósiles contienen alguna cantidad de ceniza o materia no combustible, con la excepción del gas natural, que constituyen la mayoría de partículas en suspensión transportadas por los humos. (Fernández Díez, 2000). Para cumplimentar la normativa sobre el control de partículas establecida para plantas termoeléctricas, y considerando las elevadas eficiencias de captura, hay que prestar una especial atención a:

1. La distribución del flujo de humos
2. El bypass de gas rodeando las placas colectoras

1.6.2 Control y eliminación de los NO_x.

Los óxidos de nitrógeno NO_x constituyen uno de los principales contaminantes emitidos durante el proceso de combustión, la mayor parte de los cuales se relacionan con el transporte; para su control se pueden emplear una serie de procedimientos. Los automóviles y otros vehículos generan la principal fuente de emisiones de NO_x; las plantas térmicas de producción de energía contribuyen con un cuarto de las emisiones globales. (Fernández Díez, 2000).

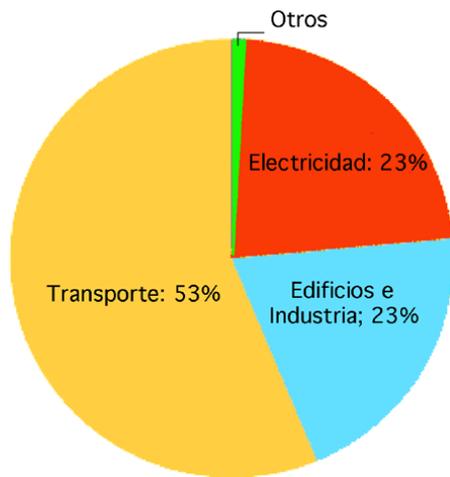


Figura 1.7 Fuentes de emisión de NOx.

Los principales óxidos emitidos durante la combustión son el óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nitroso (N₂O). El término NOx se aplica a los dos primeros, debido a su presencia mayoritaria y facilidad de transformación mutua en presencia del O₂ del aire. El óxido nítrico, es un gas incoloro no inflamable, pero inodoro y tóxico. El dióxido de nitrógeno, es un gas pardo rojizo, no es inflamable pero si tóxico y se caracteriza por un olor muy asfixiante. El óxido nitroso es un gas incoloro, con aroma y sabor ligeramente dulce.

La combustión de cualquier combustible fósil produce un determinado nivel de NOx debido a las altas temperaturas y a la disponibilidad de oxígeno y nitrógeno, tanto en el aire comburente, como en el combustible. Las emisiones de NOx generadas en los procesos de combustión están constituidas por aproximadamente un 95% de NO, y el resto por NO₂; cuando los humos abandonan la chimenea, una gran parte del NO se oxida en la atmósfera, pasando a NO₂. El NO₂ presente en los humos crea el penacho grisáceo que se puede ver saliendo de la chimenea de una planta energética. Una vez en la atmósfera, el NO₂ interviene en una serie de reacciones que forman contaminantes secundarios. El NO₂ puede reaccionar con la luz solar y con radicales de hidrocarburos, para producir componentes fotoquímicos de huminiebla (presencia de humos y niebla en algunas ciudades) y de lluvia ácida. La principal fuente de emisiones de NOx procedentes del nitrógeno estructural contenido en los combustibles, como parte de compuestos orgánicos en los carbones y aceites, se debe a la conversión del nitrógeno en NOx durante el proceso de combustión.

Los factores de emisión de las turbinas muestran una fuerte relación con la tecnología mientras que las de las calderas exhiben no sólo dependencia del tipo de quemador sino también de la carga de la máquina. Ambas situaciones merecen atención en el momento de emplear estos valores en la confección de inventarios de emisión. (Fernández Díez, 2000).

1.6.3 Efectos del NOx sobre la salud y el medio ambiente.

Cuando el NOx sale a la atmósfera, comienza su participación en los fenómenos relativos a la formación de ozono/huminiembra fotoquímica, lluvia ácida, partículas sólidas y posibles productos cancerígenos que se encuentran suspendidos en el aire, con una significativa repercusión en la salud humana y en el medio ambiente.

El NOx y el SO₂ contribuyen a la formación de la lluvia ácida, que incluye una disolución diluida de los ácidos nítrico y sulfúrico, con pequeñas cantidades de ácido carbónico y otros ácidos orgánicos. El NOx y el SO₂ reaccionan con el vapor de agua para formar compuestos ácidos, que son los causantes de más del 90% de la lluvia ácida; la mayor parte de los controles de lluvia ácida se concentra en las contribuciones del SO₂ imputando al NOx menos de un tercio.

El NOx puede contribuir a la existencia de partículas sólidas suspendidas en el medio ambiente. En la atmósfera, el NOx reacciona con otros productos químicos en suspensión, para producir nitratos. El NOx promueve también la transformación del SO₂ en partículas de compuestos sulfatados.

1.6.4 Control y eliminación de los SOx.

Una gran parte del S emitido a la atmósfera se origina en forma de sulfuro de hidrógeno, procedente de la descomposición de la materia orgánica; estas emisiones se oxidan lentamente para formar SO₂.

La combustión de combustibles fósiles que producen grandes cantidades de SO₂ en porciones relativamente pequeñas de la atmósfera, crea problemas en el ecosistema que se encuentre en el recorrido de tales emisiones.

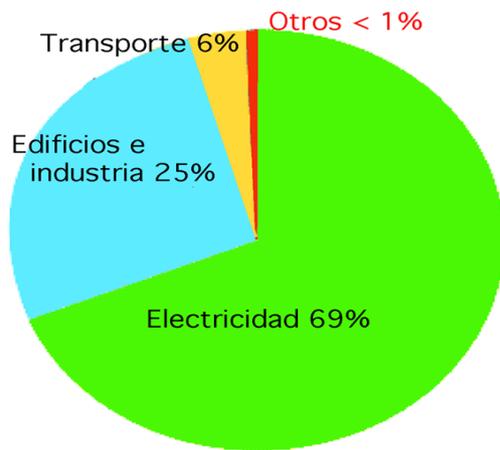


Figura 1.8 Fuentes de emisión de SO₂.

1.6.5 La contaminación del aire por SO₂.

Efectos que provoca:

1. Dificultad para respirar.
2. Inflamación de las vías respiratorias.
3. Irritación ocular por formación de ácido sulfuroso sobre las mucosas húmedas.
4. Alteraciones psíquicas.
5. Edema pulmonar.
6. Paro cardíaco.
7. Colapso circulatorio.
8. Queratitis.

El **dióxido de azufre** (SO₂) también se ha asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños. Los asmáticos y las personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) y con problemas cardíacos son los más sensibles a los efectos del SO₂.

El azufre es un veneno altamente nocivo para la salud de las personas, si bien son las plantas las que menos toleran sus efectos. En las plantas el SO₂ se introduce en las mismas produciendo una necrosis foliar. Por eso la contaminación por los óxidos de azufre (SO_x) están relacionados con el daño a la vegetación, deterioro de los suelos, materiales de construcción, monumentos

históricos en piedra -es lo que se conoce como el mal de la piedra- y cursos de agua. Curiosamente, a pesar de ser un contaminante muy perjudicial, es también un aditivo alimenticio muy utilizado al tener características conservantes y antibacterianas. Se conoce como E220 y se emplea en vinos- los famosos sulfitos- cervezas, zumos, caramelos, yemas de huevo y otros productos con huevo. En cuanto a los efectos de su consumo, en dosis bajas provoca irritaciones en el tubo digestivo y hace inactiva la Vitamina B. En grandes dosis puede provocar dolores de cabeza, náuseas, vómitos, alergia, irritación de los bronquios y asma. (Fernández, 2000).

1.6.6 El dióxido de carbono como contaminante.

El dióxido de carbono es un asfixiante simple que actúa básicamente por desplazamiento del oxígeno y que a elevadas concentraciones puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición. Se encontró que existe una relación directa entre el calentamiento global o cambio climático y el aumento de las emisiones de efecto gases de invernadero provocado por las sociedades humanas tanto industrializadas como en desarrollo. El nivel de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) ha aumentado un 31%; el metano (CH₄) se ha incrementado un 145% y el óxido nitroso (N₂O) un 15%.

¿Qué consecuencias tiene que aumenten las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera?

1. La temperatura media de la superficie terrestre se ha incrementado a lo largo del siglo XX en 0,6 °C.
2. El nivel del mar subirá entre 9 y 88 cm, dependiendo de los escenarios de emisiones considerados.
3. Incremento de fenómenos de erosión y salinización en áreas costeras.
4. Aumento y propagación de enfermedades infecciosas.
5. Desplazamiento de las especies hacia altitudes o latitudes más frías, buscando los climas a los que están habituados. Aquellas especies que no sean capaces de adaptarse ni desplazarse se extinguirán.
6. Aumento en frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos.

El dióxido de Carbono (CO₂) está presente naturalmente en la atmósfera a niveles de aproximadamente 0.035%. Concentraciones más altas pueden afectar la función respiratoria y provocar excitación seguida por depresión del sistema nervioso central. Altas concentraciones de CO₂ pueden desplazar oxígeno en el aire, resultando en concentraciones de oxígeno menores para la respiración. Por lo tanto, los efectos de la deficiencia de oxígeno pueden combinarse con efectos de toxicidad de CO₂

La exposición a muy altas concentraciones de gas puede provocar una sensación punzante. Inhalación de altas concentraciones de CO₂ ha reportado producir efectos en la visión.

1.7 Contención de los gases contaminantes en la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”.

En las plantas de producción industriales (petroleras, cementeras, centrales termoeléctricas, etc.), la eficiencia de los procesos y la reducción de los gases de escape cobran cada vez mayor importancia, debido a los crecientes costos de la energía y a unas normas de protección del medio ambiente cada vez más estrictas.

La norma de emisiones vigente en Cuba solo incluye las Emisiones Máximas Admisibles (EMA) de contaminantes a la atmósfera desde fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor (NCTS 803: 2010). Las EMA fijadas en dicha norma sólo son usadas para evaluar las emisiones desde calderas, hornos y turbinas.

Las Emisiones Máximas Admisibles (EMA) se expresan en términos de concentración de los contaminantes en los gases secos que se expulsan a la atmósfera por las fuentes fijas y se representan en unidades de mg/Nm³, lo que corresponde al contenido en peso del contaminante por unidad de volumen del gas seco expulsado a la atmósfera, en condiciones de temperatura y presión normales. (CTE, 2013)

Tabla 1.3 Emisiones Máximas Admisibles en NC TS 803: 2010 (referidos a 3 % O₂ en gas seco).

Fuentes	Contaminante	Categoría de las fuentes	
		Existentes	Nuevas
		mg/Nm ³	mg/Nm ³
Centrales Termoeléctricas. Fuel Oil	SO ₂	7000	1500
	NO _x	500	400
	MPT	350	50

1.7.1 Muestreador automático ISOSTACK-BASIC.

El Muestreador ISOSTACK-BASIC ha sido diseñado según los métodos Americanos EPA y con los más recientes métodos Europeos ISO 9096, para realizar el muestreo de material particulado de forma isocinética, lo cual significa que el caudal de muestreo debe ser ajustado de tal forma que la velocidad a la entrada de la boquilla sea la misma (o lo más cercana posible) a la velocidad de los gases de la chimenea. Solo cuando ésta condición se cumple se deben coleccionar partículas en un filtro. Los gases calientes son posteriormente dirigidos hacia un dispositivo de refrigeración para eliminar la humedad y una vez fríos dirigirse hacia la unidad de muestreo.

Los humos o gases de la combustión son automáticamente aspirados a través de la boquilla a la misma velocidad que ellos tienen en el lugar del muestreo (condición isocinética). Los ajustes para mantener la condición isocinética son realizados de forma automática, sin necesidad de que el operador tenga que solucionar las condiciones termodinámicas muchas veces complejas de los gases y de los parámetros de muestreo. (CTE, 2013)

1.7.2 Metodología para las mediciones.

Se realiza el monitoreo de emisiones en el emplazamiento, las unidades utilizadas en la medición de los gases son partes por millón (ppm) y se normalizan a mg/Nm³ a las condiciones normales de temperatura de 0 °C o 273.15 K y presión de una atmósfera (1 atm o 1013.25 HPa). Para comparar los valores normalizados medidos con la norma se realiza la conversión al % de oxígeno de referencia correspondiente.

Se siguen los criterios de la norma cubana NC TS 803: 2010, que plantea que hasta tanto no exista norma nacional para el muestreo de emisiones, se seguirán los métodos de referencia establecidos por la Agencia de Protección Ambiental

de los Estados Unidos (EPA, en inglés) o métodos equivalentes establecidos por Alemania o Japón. (CTE, 2013)

1.8 Conclusiones parciales.

1. Las termoeléctricas constituyen un renglón importante en el desarrollo de un país. Un componente importante en la eficiencia de la unidad es el precalentador de aire que contribuye a la mejora de la eficiencia de los CAR garantizando consigo un consumo racional de combustible.
2. En las plantas de producción industriales la eficiencia de los procesos y la reducción de los gases de escape cobran cada vez mayor importancia, debido a los crecientes costos de la energía y a unas normas de protección del medio ambiente cada vez más estrictas.

Capítulo 2: Determinación de la eficiencia energética del precalentador de aire y metodología del impacto ambiental de la CTE.

Los intercambiadores de calor suelen operar durante largos periodos sin cambios en sus condiciones de operación. Por lo tanto, se pueden considerar como aparatos de flujo estacionario. Como tales, el gasto de masa de cada fluido permanece constante y las propiedades de los fluidos, como la temperatura y la velocidad, en cualquier entrada o salida, siguen siendo las mismas.

Asimismo, las corrientes de fluido experimentan poco o ningún cambio en sus velocidades y elevaciones y, como consecuencia, los cambios en la energía cinética y en la potencial son despreciables. En general, el calor específico de un fluido cambia con la temperatura; pero, en un intervalo específico de temperaturas, se puede considerar como una constante en algún valor promedio, con poca pérdida en la exactitud. La conducción axial de calor a lo largo del tubo suele ser insignificante y se puede considerar despreciable. Por último, se supone que la superficie exterior del intercambiador de calor está perfectamente aislada, de modo que no se tiene pérdida de calor hacia el medio circundante y cualquier transferencia de calor sólo ocurre entre los dos fluidos.

En la práctica los intercambiadores de calor son de uso común y un ingeniero se encuentra a menudo en la posición de seleccionar un intercambiador de calor que logre un cambio de temperatura específica de una corriente de fluido de gasto de masa conocido, o bien, de predecir las temperaturas de salida de las corrientes de fluido caliente y del frío en un intercambiador de calor específico. Los dos métodos usados en el análisis de los intercambiadores de calor son, el de la diferencia media logarítmica de temperatura (o LMTD) es el más apropiado para la primera tarea y el método de la efectividad de número de unidades de transferencia (NTU por sus siglas en inglés), para la segunda, como se acaban de describir.

El presente caso de estudio es un precalentador de tubo y carcasa en el cual el aire circula por la carcasa mientras que por los tubos circula vapor:

Descripción técnica del precalentador de aire de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”.

Tabla 2.1 Datos de diseño.

Descripción	Unidades	carcasa	Tubos
Fluido		aire	Vapor
Flujo másico	Kg/h	310,050	17,849
Presión operativa	Mpa		1.2
Caída de presión	Kpa	≤ 0.36	
Temperatura de entrada	$^{\circ}C$	15	335
Temperatura de salida	$^{\circ}C$	101	188
Presión de diseño		5 KPa	1.97 MPa

El modelo es HM-5R (56) (55)-3200 con dos bloque cada uno, posee una superficie de $737 m^2$, con un peso de 5700Kg

Tabla 2.2 Confecciones.

Descripción	Marca	Dimensiones	Cantidad
Registro	M-1	800x600	1
Conexión de drenaje	RC2		4
Drenaje de salida	C-1	BW	2
Entrada de vapor	N-1	BW	4

Tabla 2.3 Otros datos de diseño.

Descripción	Cantidad	Material	Especificaciones
Aletas	1x tubo	A1050P-24	t0.5xp4.4
Tubos	556	STB340-E	$\Phi=15.9 \times 2.0$
Cabezales	8	STPG370-S	$\Phi=125$ SCH=80
Carcasa	1	SS400	e=4.5mm

2.1 Metodología del cálculo de coeficientes de transmisión de calor a través de un intercambiador de calor (método logarítmico).

Un balance de energía entre el estado inicial y el final del sistema proporciona la siguiente ecuación:

$$q = m c_p (T_2 - T_1) \quad (2.1)$$

Donde:

q: es la cantidad de calor obtenida del fluido,

m: es el flujo másico del fluido,

C_p: es el calor específico del fluido,

T₁: es la temperatura de entrada del fluido,

T₂: es la temperatura de salida del fluido.

La diferencia media efectiva de temperaturas sirve para calcular el flujo de calor intercambiado y se determina por medio de un balance de energía entre la cedida por el fluido caliente y la recibida por el fluido frío, en la forma:

$$q = UA F \Delta T_{LMTD} \quad (2.2)$$

Siendo:

U= el coeficiente global de transferencia de calor

A =el área de la superficie de intercambio térmico

F =un factor de corrección

$$\Delta T_{LMTD} = \text{la diferencia media logarítmica de temperaturas} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

ΔT_1 y ΔT_2 las diferencias de temperaturas, inicial y final, entre los fluidos caliente y frío.

El parámetro U define el coeficiente global de transferencia de calor para superficies limpias y, por tanto, puede caracterizar la resistencia térmica entre los fluidos caliente y frío:

$$\frac{1}{U_{\text{limpio}}} = \frac{A_e}{h_{ci} \times A_i} + R_{\text{equiv}} + \frac{1}{h_{ce}} \quad (2.3)$$

Siendo:

U_{limpio} =coeficiente global de transmisión de calor del intercambiador limpio, respecto a la sección exterior

A_e = sección exterior

A_i = sección interior

h_{ce} = coeficiente de convección medio del fluido en el exterior del tubo

h_{ci} = coeficiente de convección medio del fluido en el interior del tubo

R_{equiv} = resistencia unitaria del tubo, en la que no se han considerado los depósitos de suciedad interior y exterior, y el material del tubo, en m^2K/W , basada en el área de la superficie exterior del tubo

La expresión del coeficiente global de transmisión de calor U_{func} en funcionamiento al cabo de un tiempo, referida a la sección exterior A_e es:

$$U_{func} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ce}} + R_e + R_{equiv} + \frac{R_i \times A_e}{A_i} + \frac{A_e}{h_{ci} \times A_i}} \quad (2.4)$$

Siendo:

R_e = resistencia unitaria del depósito de suciedad en el exterior del tubo

R_i = resistencia unitaria del depósito de suciedad en el interior del tubo

A_e/A_i es la relación entre la superficie exterior y la interior del tubo (Fernández Díez, 2000).

Tabla 2.4 Valores aproximados del coeficiente global de transmisión de calor U.

Componente Físico	$B \text{ tu/ft } 2h^\circ F$	$W / m^2 \text{ }^\circ K$
<i>Ventana de cristal plano</i>	1.1	6.2
<i>Ventana de doble cristal plano</i>	0.4	2.3
<i>Condensador de vapor</i>	20-1000	1100 a 5700
<i>Calentador de agua del ciclo</i>	200-1600	1100 a 8500
<i>Termopermutador agua-agua</i>	160-300	850 a 1700
<i>Termopermutador tubo aleteado (agua interior a tubos)</i>	6-10	30 a 300
<i>Termopermutador tubo aleteado (aire exterior a tubos)</i>	6-10	30 a 300
<i>Termopermutador agua-aceite</i>	20-60	110 a 340
<i>Vapor a gas</i>	5 a 50	30 a 300
<i>Agua a gas</i>	10 a 20	55 a 200

Tabla 2.5 Factores de ensuciamiento empleados en calderas.

Tipo de fluido	ft ² h°K/Btu	m ² °C/W
sobre 125°F	0,001	0,0002
Aceite combustible	0,005	0,001
Vapores de alcohol	0,0005	0,0001
Vapor exento de aceite	0,0005	0,0001
Aire industrial	0,002	0,0004

En las Tablas 2.4 y 2.5 se presentan valores estimados de algunos coeficientes globales de transferencia de calor y de factores de ensuciamiento, aplicados en calderas.

La resistencia correspondiente a la pared de los tubos del intercambiador de calor es muy pequeña, en comparación con las resistencias de las capas de suciedad depositadas en las superficies interior y exterior de los tubos, por lo que se puede despreciar, por tanto tenemos que:

$$U_i = \frac{h_{ci} \times h_{ce}}{h_{ci} + \frac{D_e}{D_i} \times h_{ce}} \quad (2.5)$$

El método de la LMTD resulta muy adecuado para la determinación del tamaño de un intercambiador de calor con el fin de dar lugar a las temperaturas prescritas de salida cuando se especifican los gastos de masa y las temperaturas de entrada y de salida de los fluidos caliente y frío.

Con el método de la LMTD, la tarea es seleccionar un intercambiador que satisfaga los requisitos prescritos de transferencia de calor. El método que debe seguirse en el proceso de selección es:(Cengel, 2009).

1. Seleccionar el tipo de intercambiador de calor apropiado para la aplicación.
2. Determinar cualquier temperatura desconocida de entrada o de salida y la razón de la transferencia de calor mediante un balance de energía.
3. Calcular la diferencia de temperatura media logarítmica ΔT_{ml} y el factor de corrección F si es necesario.
4. Obtener (seleccionar o calcular) el valor del coeficiente de transferencia de calor total U .
5. Calcular el área superficial A_s de transferencia de calor.

2.2 Método NTU para el cálculo de eficiencia de un intercambiador de tubo y coraza.

Hay situaciones de diseño en las que se conocen las características funcionales de un determinado intercambiador, conociéndose también las temperaturas correspondientes a los fluidos que fluyen por el mismo, como es el caso del presente trabajo (Cengel, 2009).

Por tanto la eficiencia la obtenemos de la siguiente manera:

$$E = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (2.6)$$

La eficiencia E compara la transferencia térmica real, que es la absorbida por el fluido que se calienta, con la transferencia térmica máxima que podría transmitirse en un intercambiador.

Donde:

Q: Razón de transferencia de calor real,

Q_{\max} : Razón máxima posible de la transferencia de calor. (Cengel, 2009)

La transferencia de calor en un intercambiador alcanzará su valor máximo cuando:

1. El fluido frío se caliente hasta la temperatura de entrada del caliente o,
2. El fluido caliente se enfríe hasta la temperatura de entrada del frío.

Estas dos condiciones límites no se alcanzarán en forma simultánea a menos que las razones de capacidad calorífica de los fluidos caliente y frío sean idénticas (es decir, $C_c = C_h$). Cuando $C_c \neq C_h$, el cual suele ser el caso, el fluido con la razón de capacidad calorífica menor experimentará un cambio más grande en la temperatura y, de este modo, será el primero en experimentar la diferencia máxima de temperatura, en cuyo punto se suspenderá la transferencia de calor. Por lo tanto la razón máxima posible de transferencia de calor en un intercambiadores:(Cengel, 2009).

$$Q_{\max} = (m \times C_p)_{\min} \times \Delta T_{\max} = C_{\min}(T_c - T_f) \quad (2.7)$$

$$C_c = (m C_p)_c \quad (2.8)$$

$$C_f = (m C_p)_f \quad (2.9)$$

Si:

$$C_c < C_f, \text{ entonces: } Q = C_c (T_{c\text{ent}} - T_{c\text{sal}}), \quad (2.10)$$

$$C_f < C_c, \text{ entonces: } Q = C_f (T_{f\text{sal}} - T_{f\text{ent}}) \quad (2.11)$$

Es decir la efectividad de un intercambiador de calor permite determinar la razón de la transferencia de calor sin conocer las temperaturas de salida de los fluidos. La efectividad de un intercambiador de calor depende de su configuración geométrica así como de la configuración del flujo. Por lo tanto, los diferentes tipos de intercambiadores tienen relaciones diferentes para la efectividad.

2.3 Cálculo de la eficiencia en el precalentador de aire de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”(método NTU).

Se buscó el Cp del aire se buscó el del vapor:

Introducir Datos

Unidades SI

Presión de Vapor: 1.97 MPa abs

Temperatura del Vapor [?]: 335 °C

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

[Limpiar](#)

Entalpía Específica del Vapor Sobre-calentado	3104.75	kJ/kg
Volumen Específico del Vapor Sobre-calentado	0.136871	m³/kg
Calor Específico del Vapor Sobre-calentado	2.24443	kJ/kg·K
Viscosidad del Vapor Sobre-calentado	0.0216056	mPa s

Resultados

Figura 2.1 Propiedades del vapor sobrecalentado.

Tabla 2.6 Propiedades del aire (Holman, 8va edición).

Propiedades del aire a la presión atmosférica*.

Los valores de μ , k , c_p y Pr dependen poco de la presión y se pueden utilizar en un intervalo bastante amplio de presiones

T, K	ρ , kg/m ³	c_p , kJ/kg·°C	$\mu \times 10^5$, kg/m·s	$\nu \times 10^6$, m ² /s	k , W/m·°C	$\alpha \times 10^4$, m ² /s	Pr
100	3,6010	1,0266	0,6924	1,923	0,009246	0,02501	0,770
150	2,3675	1,0099	1,0283	4,343	0,013735	0,05745	0,753
200	1,7684	1,0061	1,3289	7,490	0,01809	0,10165	0,739
250	1,4128	1,0053	1,5990	11,31	0,02227	0,15675	0,722
300	1,1774	1,0057	1,8462	15,69	0,02624	0,22160	0,708
350	0,9980	1,0090	2,025	20,76	0,03003	0,2983	0,697
400	0,8826	1,0140	2,286	25,90	0,03365	0,3760	0,689
450	0,7833	1,0207	2,484	31,71	0,03707	0,4222	0,683
500	0,7048	1,0295	2,671	37,90	0,04038	0,5564	0,680
550	0,6423	1,0392	2,848	44,34	0,04360	0,6532	0,680
600	0,5879	1,0551	3,018	51,34	0,04659	0,7512	0,680
650	0,5430	1,0635	3,177	58,51	0,04953	0,8578	0,682
700	0,5030	1,0752	3,332	66,25	0,05230	0,9672	0,684
750	0,4709	1,0856	3,481	73,91	0,05509	1,0774	0,686
800	0,4405	1,0978	3,625	82,29	0,05779	1,1951	0,689
850	0,4149	1,1095	3,765	90,75	0,06028	1,3097	0,692
900	0,3925	1,1212	3,899	99,3	0,06279	1,4271	0,696
950	0,3716	1,1321	4,023	108,2	0,06525	1,5510	0,699
1.000	0,3524	1,1417	4,152	117,8	0,06752	1,6779	0,702
1.100	0,3204	1,160	4,44	138,6	0,0732	1,969	0,704
1.200	0,2947	1,179	4,69	159,1	0,0782	2,251	0,707
1.300	0,2707	1,197	4,93	182,1	0,0837	2,583	0,705
1.400	0,2515	1,214	5,17	205,5	0,0891	2,920	0,705
1.500	0,2355	1,230	5,40	229,1	0,0946	3,262	0,705
1.600	0,2211	1,248	5,63	254,5	0,100	3,609	0,705
1.700	0,2082	1,267	5,85	280,5	0,105	3,977	0,705
1.800	0,1970	1,287	6,07	308,1	0,111	4,379	0,704
1.900	0,1858	1,309	6,29	338,5	0,117	4,811	0,704
2.000	0,1762	1,338	6,50	369,0	0,124	5,260	0,702
2.100	0,1682	1,372	6,72	399,6	0,131	5,715	0,700
2.200	0,1602	1,419	6,93	432,6	0,139	6,120	0,707
2.300	0,1538	1,482	7,14	464,0	0,149	6,540	0,710
2.400	0,1458	1,574	7,35	504,0	0,161	7,020	0,718
2.500	0,1394	1,688	7,57	543,5	0,175	7,441	0,730

Luego de encontrar el Cp del vapor se buscó el del aire. Como el valor del Cp a la temperatura de entrada del aire dada en la tabla 2.1 no es exacto entonces se interpola:

T, K	$Cp, \frac{Kj}{Kg^{\circ}C}$
250	1, 0053
288	Cp
300	1,0057

El resultado de la interpolación es que el $Cp = 1,0056 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C}$

Por la ecuación 2.8:

$$Cc = (m * Cp) = 17\,849 \frac{kg}{h} * 2,244 \frac{Kj}{kg * K}$$

$$Cc = 40\,060,83 \frac{Kj}{h * K}$$

Por la ecuación 2.9:

$$C_f = (m * C_p) = 310\,050 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1,0056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{C}^\circ}$$

$$C_f = 31\,178\,628 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{C}^\circ}$$

Como $C_c \leq C_f$, entonces: (ecuación 2.10)

$$Q = C_c (T_{\text{cent}} - T_{\text{csal}})$$

$$Q = 40\,060,8311 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{k}} * (335 - 188)$$

$$Q = 5\,888\,942,17 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Por la ecuación 2.7:

$$Q_{\text{max}} = C_{\text{min}} (T_{\text{ce}} - T_{\text{fe}})$$

$$Q_{\text{max}} = 40\,060,83 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{k}} (335 - 15)$$

$$Q_{\text{max}} = 12\,819\,466 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Por la ecuación 2.6:

$$E = \frac{Q}{Q_{\text{max}}} * 100$$

$$E = 0,46 * 100 = 46\%$$

La eficiencia del precalentador nuevo que se va a colocar en la unidad 3 de la caldera de la CTE de Cienfuegos es de 46%.

Se calcula la eficiencia del precalentador anterior y se compara:

Tabla 2.7 Datos del precalentador de aire anterior.

Parámetros de trabajo	Vapor	Aire
Temperatura de entrada(t1)	288 °C	15°C
Temperatura de salida(t2)	115,9 °C	70 °C
Flujo másico(m)	$12000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$	$310,050 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
Calor específico(Cp)	$2,05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{C}^\circ}$	$1,0056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{C}^\circ}$

Siendo del mismo modelo que el nuevo lo que con un área de 756,524 m²

Por la ecuación 2.8:

$$C_c = (m * C_p) = 12\,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2,05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

$$C_c = 24\,600 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{K}}$$

Por la ecuación 2.9:

$$C_f = (m * C_p) = 310\,050 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{C}^\circ}$$

$$C_f = 31\,178\,628 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{C}^\circ}$$

Como $C_c \leq C_f$, entonces: (ecuación 2.10)

$$Q = C_c (T_{\text{cent}} - T_{\text{csal}})$$

$$Q = 24\,600 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{K}} * (335 - 188)$$

$$Q = 361\,620 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Por la ecuación 2.7:

$$Q_{\text{max}} = C_{\text{min}} (T_{\text{ce}} - T_{\text{fe}})$$

$$Q_{\text{max}} = 26\,933,16 \frac{\text{kJ}}{\text{h} * \text{K}} (335 - 15)$$

$$Q_{\text{max}} = 8\,618\,611,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Por la ecuación 2.6:

$$E = \frac{Q}{Q_{\text{max}}} * 100$$

$$E = 0,42 * 100 = 42\%$$

La eficiencia del anterior precalentador era de 42%

Esta eficiencia significa que el precalentador nuevo aprovecha un 46% de la cantidad de calor máxima a brindar por el aire que entra al equipo, un 4% más que el anterior.

2.3.1 Lo que implica tener el Precalentador de aire fuera:

Las ponchaduras en los radiadores que forman el precalentador redundaron en continuas averías cercanas a los cabezales inferiores, obligando a la cancelación de los tubos en lugares de difícil acceso; este proceso se sucedió hasta el momento en que más del 70% del equipo estuvo fuera de funcionamiento, lo que obligó a prescindir de su explotación, esto aparejado a la inexistencia de piezas de repuesto o remplazo, condujo al suministro de aire frío desde la descarga del ventilador de tiro forzado (VTF) directamente al calentador de aire regenerativo(CAR).

Esta problemática trajo como consecuencia el deterioro pronunciado de las partes de más baja temperatura del propio calentador de aire regenerativo y de los conductos de aire y gases que se comunican con este agregado; además se eleva el índice de corrosión en las superficies metálicas del sistema aire-gas; provoca una disminución de la eficiencia energética del CAR al recibir aire a menor temperatura que la establecida, así como también un aumento del índice de consumo de combustible.

1. Daños por corrosión cestos fríos y tibios CAR.
2. Ensuciamiento de los CAR, disminución de los tiempos entre lavados, normalmente cada 2 meses, 6 -7 lavados por año.
3. Para la limpieza se requieren 9 horas a 80 MW donde el consumo específico es de 280 g/kWh a 120 MW carga promedio por la regulación de la frecuencia del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) el consumo es de 253 g/kWh siendo la diferencia de 27 g/kWh de incremento de dicho consumo.
4. Cambio de los cestos de los CAR por deterioro ácido todos los mantenimientos ampliados y parciales ampliados con una frecuencia anual.
5. Limitaciones de carga por mal estado de los CAR y por suciedad, limitando la generación e incrementando el consumo de combustible.
6. Mayor consumo de vapor para limpieza por sopletes de vapor de los CAR.

2.4 Metodología para la estimación del caudal másico de emisión en la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”.

El objetivo primario de los ensayos de chimenea es determinar la concentración de los contaminantes en el flujo de gases para evaluar el cumplimiento de la norma de emisiones y determinar el caudal másico de emisión, que es la base de los inventarios de emisiones y dato de entrada indispensable de los modelos de dispersión.

El caudal másico, designado habitualmente como E, se define como la masa emitida de un contaminante dado, dividida por la unidad de tiempo. La unidad más común de E es kilogramos por hora (kg/h), también se utilizan el g/s y T/año. En este estudio se determinaron los g/s.

La relación entre el caudal másico de emisión y la concentración del contaminante y el flujo de gas puede escribirse de la siguiente forma:

$$E = k \times C_c \times FGEV \quad (2.12)$$

Donde, k es una constante usada para conversión de unidades, Cc es la concentración del contaminante en el flujo de gases expresada en mg/Nm³ y FGEV es el flujo volumétrico de gases que se expulsa por la chimenea en Nm³ por la unidad de tiempo correspondiente. (CTE, 2013)

2.4.1 Cálculo del flujo volumétrico y la velocidad de los gases de escape.

Para la determinación del flujo volumétrico de gases de escape, FGEV, se parte de las ecuaciones básicas de combustión, que estiman el volumen teórico o estequiométrico, V_T, y real, V_R, de aire que se necesita para lograr la combustión completa de la unidad de masa del combustible a condiciones normales; temperatura de cero grados Celsius (0 °C ó 273,15 K) y presión de una atmósfera (1 atm ó 1013,25 HPa),

$$V_T = 8,887 \frac{C}{100} + 3,317 \frac{S}{100} + 20,959 \frac{H}{100} - 2,604 \frac{O}{100} + 0,797 \frac{N}{100}, \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (2.13)$$

$$V_R = V_T \frac{21}{21 - O_2 - GE}, \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (2.14)$$

Donde:

C, S, H, O, N son las respectivas concentraciones de Carbono, Azufre, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno en el combustible; O₂-GE contenido de O₂ en los gases de escape.

El contenido de Oxígeno en los gases de escape se midió durante la campaña de monitoreo mientras que para las concentraciones de C, S, H, O, N se asumieron valores estándares para el combustible utilizado.

Composición del Fuel oíl

C – 85.5 % para llevar el total a 100%

H – 11.3 %

O – 0.502 %

N – 0.501 %

S – 2.12 %

H₂O – 0.05 %

Cenizas – 0.027

Finalmente el flujo normal volumétrico de gases de escape, FGEV, se calcula a partir del consumo másico de combustible, CC,

$$\mathbf{FGEV = VR * CC, Nm^3/s} \quad (2.15)$$

La velocidad de los gases de escape se estima a partir de este flujo, el área del conducto de escape y la temperatura real de los gases, también medida durante la campaña de monitoreo.

$$\omega = \frac{FGEV}{Area} \left(\frac{273.15 + T_{gases}}{273.15} \right), \mathbf{m/s} \quad (2.16)$$

Donde:

Área, área interior del conducto de escape,

T_{gases}, temperatura de salida de los gases de escape.

La siguiente tabla muestra los datos básicos utilizados en la modelación de dispersión de los contaminantes emitidos en los gases de la combustión desde la fuente considerada: flujo másico de emisiones del contaminante en g/s, flujo volumétrico de emisiones de los gases de escape en m³/s, velocidad de salida de los gases m/s y temperatura de salida de los gases de la combustión en °C. (CTE, 2013)

Tabla 2.8 Datos de las emisiones utilizados para la modelación.

	Unidades	SO ₂	CO	NO _x	H ₂ S	MPT
Flujo másico de emisiones del contaminante	g/s	632.87	14.38	69.73	6.03	43.21
Temperatura de salida de los gases de la combustión	°C	113.62				
Flujo volumétrico real de los gases de la combustión	m ³ /s	363.59				
Velocidad de salida de los gases de la combustión	m/s	12.86				

2.4.2 Inventario de emisiones.

Para el análisis de los resultados de las mediciones al compararlos con respecto a los valores normados, los valores medidos en mg/Nm³se corrigen por el valor del oxígeno de referencia utilizado en las mediciones según el tipo de combustible y la tecnología utilizada (Oref utilizado 3 %), según indica la norma cubana de emisiones.

Tabla 2.9 Resultados de las mediciones corregidas por el valor del Oref.

ID	CMC 3	CMC 4	CTECMC
Flujo normal volumétrico de gases combustión [Nm³/s]	148.87	107.91	256.78

	O₂ medido %	10.73	4.62	8.16
NO_x	(mg/m³) a 0 °C referido al O₂ref	381.85	381.15	381.56
	EMA			500
	E/EMA			0.76
SO₂	(mg/m³) a 0 °C referido al O₂ref	3427.69	3497.98	3457.23
	EMA			7000
	E/EMA			0.49
MPT	(mg/m³) a 0 °C referido al O₂ref	129.46	221.84	168.28
	EMA			350
	E/EMA			0.48

Las emisiones de contaminantes obtenidas en el inventario de emisiones de en la CTE Cienfuegos no superan las emisiones máximas permisibles (EMA) exigidos por la norma cubana NC TS 803:2010 para la fuente considerada (chimenea por donde se expulsan los gases de la combustión de las unidades 3 y 4).

La modelación de los contaminantes indica que se cumple con los límites admisibles de exposición laboral establecidos en la norma NC 872:2011 – Seguridad y salud en el trabajo – Sustancias nocivas en el aire de la zona de trabajo – Evaluación de la exposición laboral – Requisitos generales.

Los valores de las concentraciones máximas no resultan suficientes para ejemplificar la magnitud de las afectaciones a la calidad del aire. Para el escenario y para cada contaminante, el número de evaluaciones realizadas correspondientes al período evaluado es el siguiente:

1. 900 concentraciones promedios en todo el período evaluado(12 meses), una para cada receptor.
2. 328 500 concentraciones diarias (900 receptores por 365 días modelados en el período evaluado)
3. 7 884 000 concentraciones horarias (900 receptores por 8 760 horas

modeladas en el período evaluado).

Tabla 2.10 Concentraciones máximas y su relación con la concentración de referencia.

Contaminante		1hora	24 horas	Período
SO₂	C_{ref} , [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	250	45	40
	$C_{m\acute{a}x}$, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1002.15129	112.76874	24.97636
	$C_{m\acute{a}x}/C_{ref}$	4.01	2.51	0.62
CO	C_{ref} , [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	25000	8000	-
	$C_{m\acute{a}x}$, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	23.68798	3.76106	-
	$C_{m\acute{a}x}/C_{ref}$	0.0009	0.0005	-
NO_x	C_{ref} , [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	160	40	35
	$C_{m\acute{a}x}$, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	86.61937	15.09908	2.66762
	$C_{m\acute{a}x}/C_{ref}$	0.54	0.38	0.08
H₂S	C_{ref} , [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	20	7	-
	$C_{m\acute{a}x}$, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	9.93262	1.57705	-
	$C_{m\acute{a}x}/C_{ref}$	0.50	0.23	-
MPT	C_{ref} , [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	400	100	60
	$C_{m\acute{a}x}$, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	44.02336	7.71869	1.70265
	$C_{m\acute{a}x}/C_{ref}$	0.11	0.07	0.03

De acuerdo a los resultados se concluye que las afectaciones más importantes se deben al contaminante SO₂. Para los contaminantes NO_x, CO, MPT y H₂S no se incumple la norma cubana de calidad de aire en inmisiones. (Cubaenergía, CTE, 2013)

2.5 Conclusiones parciales.

1. La determinación de la eficiencia del precalentador de aire muestra la relación que existe entre la cantidad de calor real que se puede obtener y la máxima; lo que significa que el precalentador utiliza 46% del calor brindado por el aire.
2. Según la norma cubana NC 872:2011 – Seguridad y salud en el trabajo la modelación de los contaminantes para la CTE indica que se cumple con los límites admisibles de exposición laboral.

Capítulo 3: Evaluación económica de los precalentadores y de los costos del CAR.

3.1 Montaje de los precalentadores.

La termoeléctrica posee dos precalentadores y estos son comprados según el contrato 13960/15 en China con un precio de \$216234,02 MLC y \$237833,87 MN.

Para el cambio del precalentador de aire se necesita en la termoeléctrica la mano de obra que proviene de la EMCE, esta mano de obra está compuesta por brigadas, a las cuales se les paga de la siguiente manera. (EMCE, 2017)

1. Montaje y esquema de izaje para el cambio de los precalentadores.

Se le cobra a la termoeléctrica \$707,09 y se le paga a los trabajadores \$ 178,68 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.1 Fuerza de trabajo y tiempo para el montaje y esquema en el cambio de los precalentadores.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
ayudante	2	24
Mecánico A	1	12
Mecánico B	1	12
Mecánico C	2	24
Soldador A	2	24

2. Traslado, preparación, alinear, soldar precalentadores.

Se le cobra a la termoeléctrica \$2057,61 y se le paga a los trabajadores \$ 519,85 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.2 Fuerza de trabajo y tiempo para el traslado, la preparación, el alineamiento y la soldadura en los precalentadores.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudantes	1	72
Mecánico A	1	72
Mecánico B	1	72
Soldador A	1	60

3. Alineamiento de paquetes.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 137,81 y se le paga a los trabajadores \$ 34,82 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.3 Fuerza de trabajo y tiempo para el alineamiento de paquetes.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico A	1	6
Mecánico C	1	6
Soldador A	1	6

4. Traslado, preparación, alinear y soldar los precalentadores.

Se le cobra a la termoeléctrica \$713,32 y se le paga a los trabajadores \$ 180,22 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.4 Fuerza de trabajo y tiempo para el traslado, la preparación, el alineamiento y la soldadura de los precalentadores.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudantes	1	24
Mecánico A	1	24
Mecánico C	1	24
Soldador A	1	24

5. Montaje y soldadura de chapas de sellaje de ambas caras del pH.

Se le cobra a la termoeléctrica \$1333,69 y se le paga a los trabajadores\$ 336,95 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.5 Fuerza de trabajo y tiempo para el montaje y soldadura de las chapas de sellaje de ambas caras del pH.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico B	1	32
Mecánico C	2	64
Soldador A	2	80

6. Desmantelar, evacuar y montar apoyos cabezales.

Se le cobra a la termoeléctrica \$3771,30 y se le paga a los trabajadores\$ 952,81 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.6 Fuerza de trabajo y tiempo para desmantelar, evacuar y montar apoyos cabezales.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	84
Mecánico A	1	84
Mecánico C	2	168
Soldador A	2	168

7. Construcción y cambio de marco y tapa de los registros.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 107,57 y se le paga a los trabajadores\$ 27,18 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.7 Fuerza de trabajo y tiempo para la construcción y cambio de marco y de tapa de los registros.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
----------------	----------	-----------

Ayudante	1	5
Mecánico B	1	5
Soldador	1	5

8. Limpieza del área.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 22,39 y se le paga a los trabajadores \$ 5,66 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.8 Fuerza de trabajo y tiempo para la limpieza de área de trabajo.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	0.50
Mecánico A	1	0.50
Mecánico B	1	0.50
Mecánico C	1	0.50
Pailero industrial	1	0.50
Soldador	1	0.50

Se le cobró a la termoeléctrica por el montaje de los precalentadores un total de \$ 8927,04 y de esto se le paga a los trabajadores \$ 2255,40.

3.2 Desmontaje y Montaje de los cestos del CAR.

Con el desuso de los precalentadores se dañan también los cestos del CAR y por tanto se necesitan cambiar.

Para el monte y desmonte de los cestos se necesita en la termoeléctrica la mano de obra que proviene de la EMCE, esta mano de obra está compuesta por brigadas, a las cuales se les paga de la siguiente manera:

3.2.1 Desmonte de los cestos fríos.

1. Preparación de equipo de oxicorte.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 29,73y se le paga a los trabajadores \$ 7,51 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.9 Fuerza de trabajo y tiempo para la preparación del equipo de oxicorte.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	2
Soldador A	1	2

2. Traslado de herramientas hacia el área.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 43,22 y se le paga a los trabajadores \$10,92 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.10 Fuerza de trabajo y tiempo para el traslado de las herramientas hacia el área de trabajo.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	2
Mecánico A	1	2
Mecánico C	1	2

3. Desmontar 2 persianas de la compuesta de salida de aire.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 23,07y se le paga a los trabajadores \$ 5,83 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.11 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar 2 persianas de la compuerta de salida del aire.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico B	1	1.50
Soldador	1	1.50

4. Abrir registro de cestos fríos. Desmontar tapas, motor y marcar.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 437,74y se le paga a los trabajadores \$110,59 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.12 Fuerza de trabajo y tiempo para abrir el registro de los cestos fríos, desmontar tapas, el motor y marcar.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	19.50
Mecánico B	1	19.50
Mecánico C	1	19.50

5. Desmante de las tornillerías de las tapas de los cestos fríos.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 531,28y se le paga a los trabajadores \$ 134,23como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.13 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar las tornillerías de las tapas de los cestos fríos.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	24.50
Mecánico B	1	24.50
Soldador	1	24.50

6. Desmontar sellos radiales superior o inferior, extracción y evacuación.

Se le cobra a la termoeléctrica \$177,08y se le paga a los trabajadores \$44,74como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.14 Fuerza de trabajo y tiempo para el desmante de los sellos radiales, la extracción y la evacuación.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	6.50
Mecánico C	2	12.00

Mecánico B	1	6.00
------------	---	------

7. Desmonte del sistema de sellaje periférico inferior.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 126,27y se le paga a los trabajadores \$31,90 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.15 Fuerza de trabajo y tiempo para el desmonte del sistema de sellaje periférico inferior.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	2	9.50
Mecánico C	1	4.50
Soldador V	1	4.50

8. Desmonte y evacuación de los cestos fríos del CAR.

Se le cobra a la termoeléctrica \$287,61y se le paga a los trabajadores \$72,66como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.16 Fuerza de trabajo y tiempo para el desmonte y la evacuación de los cestos fríos del CAR.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	8.00
Mecánico A	1	3.00
Mecánico B	1	8.00
Mecánico C	2	16.00

9. Desmonte de los sellos centrales (sellos del eje parte inferior).

Se le cobra a la termoeléctrica \$531,28 y se le paga a los trabajadores \$ 134,23 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.17 Fuerza de trabajo y tiempo para el desmonte de los sellos centrales en el eje inferior.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	24
Mecánico B	1	24
Soldador	1	24

10. Extraer parrillas de soportes de los cestos del CAR.

Se le cobra a la termoeléctrica \$315,17y se le paga a los trabajadores \$79,63como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.18 Fuerza de trabajo y tiempo para la extracción de las parrillas de soporte de los cestos del CAR.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico B	1	14.04
Mecánico C	1	14.04
Soldador	1	14.04

11. Evacuación fuera de la caldera de cestos y parrillas.

Se le cobra a la termoeléctrica \$221,11 y se le paga a los trabajadores \$ 55,86 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.19 Fuerza de trabajo y tiempo para la evacuación de los cestos y las parrillas fuera de la caldera.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	2	16.00
Mecánico C	2	16.00

12. Desmonte de cestos en medios de transporte hacia materia prima.

Se le cobra a la termoeléctrica \$405,24y se le paga a los trabajadores \$102,38 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.20 Fuerza de trabajo y tiempo para el desmonte de los cestos en los medios de transporte hacia materia prima.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	3	60.00

13. Reponer las escuadras de los portasellos periféricos.

Se le cobra a la termoeléctrica \$38,24 y se le paga a los trabajadores \$9,66 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.21 Fuerza de trabajo y tiempo para la reposición de las escuadras de los portasellos periféricos.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	2.52
Mecánico C	1	2.52

14. Desmontar angulares de portasellos periféricos superior- inferior.

Se le cobra a la termoeléctrica \$174,62 y se le paga a los trabajadores \$44,12 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.22 Fuerza de trabajo y tiempo para el desmonte de angulares de los portasellos periféricos superior e inferior.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico C	1	12.00
Soldador	1	12.00

15. Desmontar tornillos de angulares de soporte de sellos periféricos.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 53,38 y se le paga a los trabajadores \$ 13,49 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.23 Fuerza de trabajo y tiempo para el desmonte de tornillos de angulares de los soportes de los sellos periféricos.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico C	2	4.80
Soldador	1	2.40

16. Limpieza del área.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 36,58 y se le paga a los trabajadores \$9,24 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.24 Fuerza de trabajo y tiempo para la limpieza del área de trabajo.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	1
Ayudante R	1	1
Mecánico B	1	1
Ojalatero	1	1
Pailero industrial	1	1

Se le cobró a la termoeléctrica por el desmonte de los cestos fríos un total de \$ 3431,2 y de esto se le paga a los trabajadores \$ 886,99.

3.2.2 Desmonte de los cestos calientes.

1. Preparación de equipo de oxicorte.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 29,73 y se le paga a los trabajadores \$7,51 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.25 Fuerza de trabajo y tiempo para la preparación del equipo de oxicorte.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	2
Soldador A	1	2

2. Traslado de herramientas hacia el área.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 43,22 y se le paga a los trabajadores \$10,92 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.26 Fuerza de trabajo y tiempo para el traslado de las herramientas hacia el área de trabajo.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	2
Mecánico A	1	2
Mecánico C	1	2

3. Abrir registro, preparar condiciones para extraer los cestos calientes.

Se le cobra a la termoeléctrica \$44,57y se le paga a los trabajadores \$11,26como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.27 Fuerza de trabajo y tiempo para abrir el registro y preparar las condicione para la extracción de los cestos calientes.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico A	1	3.00
Mecánico C	1	3.00

4. Desmontar 2 persianas de la compuesta de salida de aire.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 23,07y se le paga a los trabajadores \$ 5,83 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.28 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar 2 persianas de la compuerta de salida de aire.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico B	1	1.50
Soldador	1	1.50

5. Desmontar sellos radiales.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 177,08 y se le paga a los trabajadores \$ 44,74 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.29 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar los sellos radiales.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico B	1	6.00
Mecánico C	2	12.00
Soldador A	1	6.00

6. Desmontar y evacuar sellos periféricos superior e inferior del CAR.

Se le cobra a la termoeléctrica \$112,24 y se le paga a los trabajadores \$ 28,36 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.30 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar y evacuar sellos periféricos superior e inferior del CAR.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Mecánico B	1	5.00
Mecánico C	1	5.00
Soldador A	1	5.00

7. Desmontar y evacuar cestos de capa caliente.

Se le cobra a la termoeléctrica \$786,99 y se le paga a los trabajadores \$ 198,83 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.31 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar y evacuar cestos de capa caliente.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	4	56.00
Mecánico B	1	14.00
Mecánico C	1	14.00

Soldador A	2	28.00
------------	---	-------

8. Desmonte y evacuación de cestos tibios del CAR.

Se le cobra a la termoeléctrica \$786,99 y se le paga a los trabajadores \$ 198,83 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.32 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar y evacuar cestos tibios del CAR.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	4	56.00
Mecánico B	1	14.00
Mecánico C	1	14.00
Soldador A	2	28.00

9. Desmonte de los sellos centrales superiores e inferiores(los 3 ejes).

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 531,28 y se le paga a los trabajadores \$ 134,23 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.33 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar los sellos centrales superiores e inferiores.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	24.00
Mecánico B	1	24.00
Soldador A	1	24.00

10. Evacuación fuera de la caldera de cesto y parrillas.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 221,11 y se le paga a los trabajadores \$ 55,86 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.34 Fuerza de trabajo y tiempo para la evacuación fuera de la caldera de cestos y parrillas.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	2	16.00
Mecánico C	2	16.00

11. Desmontar cestos en los medios de transporte a materia prima.

Se le cobra a la termoeléctrica \$810,49 y se le paga a los trabajadores \$ 204,77 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.35 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar cestos en los medios de transporte a materia prima.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	3	120.00

12. Reponer las escuadras de los portasellos periféricos.

Se le cobra a la termoeléctrica \$38,24 y se le paga a los trabajadores \$ 9,66 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.36 Fuerza de trabajo y tiempo para reponer las escuadras de los portasellos periféricos.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	2. 52
Mecánico C	1	2. 52

13. Desmontar angulares de los portasellos periféricos.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 174,72 y se le paga a los trabajadores \$44,12 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.37 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar los angulares de los portasellos periféricos.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Soldador	1	12.00
Mecánico C	1	12.00

14. Desmontar tornillos de angulares de soportes de sellos periféricos.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 58,38 y se le paga a los trabajadores \$13,49 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.38 Fuerza de trabajo y tiempo para desmontar tornillos de angulares de soportes de sellos periféricos.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Soldador	1	4.80
Mecánico C	2	2.40

15. Limpieza del área.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 36,58 y se le paga a los trabajadores \$9,24 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.39 Fuerza de trabajo y tiempo para la limpieza del área de trabajo.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	1
Ayudante R	1	1
Mecánico B	1	1
Ojalatero	1	1
Pailero industrial	1	1

Se le cobró a la termoeléctrica por el desmonte de los cestos calientes un total de \$ 3869,59 y de esto se le paga a los trabajadores \$ 977,65.

3.2.3 Montaje de los cestos y tapas del CAR.

1. Traslado de las herramientas hacia el área.

Se le cobra a la termoeléctrica \$ 43,22 y se le paga a los trabajadores \$10,92 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.40 Fuerza de trabajo y tiempo para el traslado de las herramientas hacia el área de trabajo.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	2
Mecánico A	1	2
Mecánico C	1	2

2. Organización de los cestos del CAR para el montaje.

Se le cobra a la termoeléctrica \$561,10 y se le paga a los trabajadores \$141,77 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.41 Fuerza de trabajo y tiempo para la organización de los cestos del CAR.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	60
Mecánico A	1	20

3. Montaje de soporte de cestos tibios.

Se le cobra a la termoeléctrica \$4528,18 y se le paga a los trabajadores \$1144,04 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.42 Fuerza de trabajo y tiempo para el montaje de los soportes de los cestos tibios.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	2	122.40
Mecánico A	2	122.40
Mecánico B	2	122.40
Mecánico C	2	122.40
Soldador A	2	122.40

4. Montaje de los cestos tibios.

Se le cobra a la termoeléctrica \$1124,27 y se le paga a los trabajadores \$284,04 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.43 Fuerza de trabajo y tiempo para montaje de los cestos tibios.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	4	80
Mecánico A	1	20
Mecánico B	1	20
Mecánico C	2	40

5. Montaje de soporte de los cestos calientes.

Se le cobra a la termoeléctrica \$4528,18 y se le paga a los trabajadores \$1144,04 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.44 Fuerza de trabajo y tiempo para montaje de soportes de los cestos calientes.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	2	122.40
Mecánico A	2	122.40

Mecánico B	2	122.40
Mecánico C	2	122.40
Soldador A	2	122.40

6. Montaje de los cestos calientes.

Se le cobra a la termoeléctrica \$899,41 y se le paga a los trabajadores \$227,24 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.45 Fuerza de trabajo y tiempo para montaje de los cestos calientes.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	4	64
Mecánico A	1	16
Mecánico B	1	16
Mecánico C	2	32

7. Traslado, introducción y montaje de parrillas del CAR.

Se le cobra a la termoeléctrica \$420,51 y se le paga a los trabajadores \$106,24 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.46 Fuerza de trabajo y tiempo para el traslado, la introducción y el montaje de las parrillas del CAR.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	14.40
Mecánico C	1	14.40
Mecánico B	1	14.40
Soldador A	1	14.40

8. Traslado y montaje de los cestos fríos del CAR.

Se le cobra a la termoeléctrica \$683,28 y se le paga a los trabajadores \$172,63 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.47 Fuerza de trabajo y tiempo para el traslado y el montaje de los cestos fríos del CAR.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	2	32
Mecánico A	1	16
Mecánico B	1	16
Mecánico C	2	32

9. Aplicar molyton a los cestos del extremo frío y comprobar horizontalidad del rotor.

Se le cobra a la termoeléctrica \$658,36y se le paga a los trabajadores \$166,33 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.48 Fuerza de trabajo y tiempo para el aplique de molyton a los cestos del extremo frío y para la comprobación de la horizontalidad del rotor.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	3	72
Mecánico B	1	12
Mecánico C	1	12

10. Montar la tapa de los cestos para evitar entrada de suciedades.

Se le cobra a la termoeléctrica \$1214,96 y se le paga a los trabajadores \$306,96 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.49 Fuerza de trabajo y tiempo para el montaje de las tapas de los cestos.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
----------------	----------	-----------

Ayudante	2	57.60
Mecánico B	2	57.60
Mecánico C	2	57.60

11. Montar las tapas en los cestos fríos para el cierre de los registros.

Se le cobra a la termoeléctrica \$538,76 y se le paga a los trabajadores \$136,12 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.50 Fuerza de trabajo y tiempo para montaje de tapas en los cestos fríos para el cierre de los registros.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Soldador A	1	24.0
Mecánico B	1	24.0
Mecánico C	1	24.0

12. Montaje de tornillos y apriete.

Se le cobra a la termoeléctrica \$1178,54 y se le paga a los trabajadores \$297,75 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.51 Fuerza de trabajo y tiempo para el montaje de los tornillos y los aprietes.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	40
Mecánico A	1	40
Mecánico B	1	40
Mecánico C	1	40

13. Limpieza del área.

Se le cobra a la termoeléctrica \$18,29 y se le paga a los trabajadores \$4,62 como salario planificado para la ejecución de los trabajos acordados.

Tabla 3.52 Fuerza de trabajo y tiempo para la limpieza del área de trabajo.

Especialidades	Cantidad	Tiempo(h)
Ayudante	1	0.50
Ayudante R	1	0.50
Mecánico B	1	0.50
Ojalatero	1	0.50
Pailero industrial	1	0.50

Se le cobró a la termoeléctrica por el montaje de los cestos un total de \$16397,06 y de esto se le paga a los trabajadores \$ 4142,69.

MILLENIUM permite:

1. El registro, administración, sistematización y consulta de información relacionada con registros contables y financieros.
2. Generación automática de informes, extractos y consulta.
3. Contabilizaciones automáticas.
4. Generación de documentos automáticos para cierres contables.
5. Depreciación de activos.
6. Contabilizaciones automáticas basadas en los parámetros configurados en la empresa como impuestos de IVA, ICA, retención en la fuente y el CREE.
7. Cruces de facturas tanto de proveedores como de clientes de una forma muy sencilla.
8. Generación de documentos automáticos para cierres contables, NIIF.
9. Depreciación de activos.
10. Diferencias en cambio en cartera y proveedores.
11. Costeos de inventarios y muchas otras opciones que brinda el sistema.

12. Elaboración de planes de pagos según las necesidades de la empresa permitiendo así controlar y programar los pagos sin necesidad de otras herramientas.

SISTEMA FINANCIERO MILENIUM se encuentra en la modalidad de Software Licenciado.

Software para Empresas

Pequeñas / Medianas / Grandes.

3.3 Conclusiones parciales:

1. Esta forma de pago se lleva en la empresa EMCE mediante un programa llamado Millenium, el cual es un software contable capaz de optimizar los procesos empresariales y elabora planes de pagos según las necesidades de la empresa permitiendo así controlar y programar los pagos sin necesidad de otras herramientas.

Conclusiones.

1. El uso de los precalentadores influye en la reducción de las roturas en los componentes del CAR, al usarse el aire a una temperatura de trabajo que favorece el rendimiento en general de la caldera.
2. Con el uso del precalentador se mantiene un uso estándar del combustible y se disminuye la emisión de gases a la atmósfera.
3. Utilizando el método NTU se obtuvo un 46% de eficiencia, siendo esta la cantidad de calor brindada por el aire al precalentador lo que ayuda a que el aire no entre frío en el CAR previniendo sus averías.
4. Los cestos del CAR fueron cambiados 4 veces en el tiempo que los precalentadores estuvieron inactivos. Aplicando el software MILLENIUM, por el cambio de los cestos, la termoeléctrica gastó con el pago a la EMCE \$94 791,4; y por el cambio de los precalentadores \$8 927,04; esto le da un gasto a la termoeléctrica de \$103 718,44.

Recomendaciones.

Después de analizado el tema sobre el uso de los precalentadores y conociendo su importancia para la termoeléctrica, arribamos a las siguientes recomendaciones:

1. Evitar la no utilización de los precalentadores de aire por un tiempo alargado ya que puede provocar daños adicionales en el equipo caldera.
2. Cuando haya una avería en estos equipos tratar de solucionarlo lo más rápido posible.
3. En caso de serios daños en los precalentadores de aire, reemplazarlos por nuevos equipos ya que los costos de reparación pueden aumentar al averiarse otros componentes del CAR.

Bibliografía

- ASME (The American Society of Mechanical Engineers) (2002).
- ASME (The American Society of Mechanical Engineers) (2011).
- Blokh, G. (1988). *Heat Transfer in steam boiler furnaces*. Leningrad, USSR: Central Boiler and Turbine Institute.
- Cardona, A., Nigro, N., Sonzogni, V. y Storti, M. (2006). *Mecánica Computacional* (Vol. XXV). Santa Fe, Argentina.
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico* (Tercera edición.). México, D.F: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Cengel, Y. A., & Boles, Michael A. (2009). *Transferencia de calor* (Sexta Edición.). U.S.A: McGraw-Hill.
- Corberán, J. M. y Royo, R. (n.d.). *Tema 12: Intercambiadores de calor*. Santa Clara, Cuba.
- D. Bilmes, P. (1999). *Análisis y prevención de Fallas Metalúrgicas*. Argentina.
- Fay, J. A. y Golomb, D. S. (2002). *Energy and the Environment*. U.S.A: Oxford University Press.
- Fernández Díez, P. (n.d.). Centrales Térmicas. Retrieved from <http://libros.redsauce.net>
- Fundación Labien para IHOBE, S.A. (2005). *Guía Técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire*. IHOBE-Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
- Grigsby, L. (2007). *Electric Power Engineering Handbook* (2nd ed.). U.S.A: Taylor & Francis Group.
- Hernández, E. N. y Gelabert, C. (n.d.). *Memorias descriptivas de los formularios de control de metales de la caldera y líneas de los bloques de 158 mega watts de CTE Carlos M de Céspedes de Cienfuegos*. Cienfuegos.
- Herrera, O. y Blanco, A. (1985). *Equipos de transferencia de calor*. Habana, Cuba.
- Holman, J.P. (n.d.). *Transferencia de calor*. (8va edición, 1ra en español.).
- Hossain, M.K., y Saunders, R.J. (1978). *Oxid. Met.* 12.
- Isachenko, V., Osipova, V. y Sukomel, A. (1984). *Transmisión de calor* (Tomo 1). Habana, Cuba: Pueblo y educación.

- Jiménez García J. A. (2008). *Análisis de la formación de NOx en el generador de vapor de 350 MW quemando combustóleo*. (Tesis de Maestría en Ciencias de Sistemas energéticos). Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
- Karan, G. M. (1998). *Cálculo térmico de calderas (Método normativo)*. Sankt-Petersburg.
- Kays, W. M. y London, A. L. (1984). *Compact Heat Exchangers* (3ra. ed.). Nueva York, U.S.A: McGraw-Hill.
- Kern, D. Q. (1975). *Procesos de transferencia de calor*. Habana, Cuba: Pueblo y educación.
- Krasnoschioko, E.A., y Sukomiel, A.S. (1987). *Problemas de termotransferencia*. Moscú, Rusia: Mir Moscú.
- Moran, M. y Shapiro, H. (2006). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. (5th ed.). Great Britain: Jhon Whyley and Sons.
- Buthod y et al. (n.d.). Capítulo 8 "Heat Exchangers Design". Universidad de Tulsa.Oklahoma.
- Rivero Castellanos, M. (2012). *Estimación de la Vida Útil de los tubos de las Calderas de la CTE "Carlos Manuel de Céspedes" para diferentes materiales de los tubos*. (Tesis de Diploma). Universidad "Carlos Rafael Rodríguez.", Cienfuegos
- Rizhkin, Y. (1985a). *Centrales Termo/eléctricas Primera Parte*. Habana, Cuba: Pueblo y educación.
- Rizhkin, Y. (1985b). *Centrales Termo/eléctricas Segunda Parte*. Habana, Cuba: Pueblo y educación.
- Rogers, D.K. y Sidey, D. (n.d.). *Comparison of boiler tube residual life prediction models*. Toronto, Canadá.
- Rubio González, A. M. (2000). *Generadores de Vapor*. Funcionamiento y explotación. Santa Clara, Cuba.
- Servers, W.H., Delger, H.E. y Miles J.G. (1961). *Energía mediante vapor, aire o gas*. Barcelona, España.
- Siegel Robert, R. Howell J. (2002). *Thermal Radiation Heat Transfer* (Fourth Edition.). U.S.A: Taylor and Francis.
- Tanquero Díaz, N. (2002). *Curso de generadores de vapor*. Puerto Ordaz, Venezuela.

(n.d.-a). Retrieved from
[http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide/
health_cd.html#_1_1](http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide/health_cd.html#_1_1).

(n.d.-b). Retrieved from
<http://www.uhu.es/servicio.prevencion/menuservicio/info/higiene/dioxido.pdf>

(n.d.-c). Retrieved from <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir2/mxcalspn.pdf>.

(n.d.-d). Retrieved from
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014
_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf).

(n.d.-e). Retrieved from [http://www.tlv.comglobalLAc
calculatorsuperheated-steam-
table.html](http://www.tlv.comglobalLAc calculatorsuperheated-steam-table.html).

Anexos.



3RD ANGLE PROJECTION		SCREW : ISO. M.UNC.W.	
NO.	DOC.HISTORY	DATE	CH'D
		04.10.28	tt
		04.10.14	tt
DUTY	CHIEF		
CASING LEAK TEST PRESS.	kPa	ALLOWABLE PRESS. DROP	NO / 10 MIN.
PNEUM'G TEST.	-	YES (NO)	YES (NO)
HYDRO'G TEST.	-	YES (NO)	(YES), NO
DESIGN TEMP.	°C	150	350
DESIGN PRESS.	-	5.0 kPa	1.97 MPa
OPERAT. TEMP. (IN/OUT)	°C	15/101	335/188
DRAFT LOSS	kPa	< 0.36	-
OPERAT. PRESS.	-	-	1.2 MPa
QUANTITY	NO.	310.050	11.623
FLUID CIRCULATED	-	AIR	STEAM
		CASING SIDE	TUBE SIDE
TYPE : HM-5R-56(55)-3200 2800x5/UNIT			
SQ.M.SURF./UNIT		M ²	
DESIGN DATA			
FIN	1式 A1050P-H24	0.5 x P44	
HEATING TUBE	556 STB340-E	15.9 x 2.0	
HEADER	8 STPG370-S	125 x 5CH80	
CASING	1式 SS400	4.5	
DESCRIPTION	NO. RECD	MATERIAL	REMARKS
PARTS & MATERIAL SPECIFICATION			
QUANTITY PER SET	SET IS GIVEN IN THIS TABLE, MAKE FOR 2 SETS.		
TITLE			
STEAM COIL AIR HEATER			
MANAGER	MFG.NO.		
DUTY			
CHARGED	高野 展	DOC.NO.	
DATE	2004.10.14	H1478	
NOZZLES AND CONNECTIONS			
SEO KOATSU KOGYO CO., LTD.			



