

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL USO DEL CARBÓN DE
RECHAZO DE LOS MOLINOS COMO COMBUSTIBLE
PARA PRECALENTAR EL AIRE DE COMBUSTIÓN DE LA
CALDERA DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE
PAIPA (IV UNIDAD)**

GERMÁN DARIO VIVAS BÁEZ



Compañía Eléctrica de Sochagota S.A. E.S.P.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010**

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL USO DEL CARBÓN DE
RECHAZO DE LOS MOLINOS COMO COMBUSTIBLE
PARA PRECALENTAR EL AIRE DE COMBUSTIÓN DE LA
CALDERA DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE
PAIPA (IV UNIDAD)**

GERMÁN DARIO VIVAS BÁEZ
Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

DIRECTOR UIS
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico

COORDIRECTOR COMPAÑÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA
MARIO ALFONSO CABRA MATEUS
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	17
1.1 OBJETIVO GENERAL.	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	20
2.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	20
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS PARTES DE LA CALDERA.....	22
2.2.1 Economizador.....	24
2.2.2 Hogar.....	24
2.2.3 Sobrecalentador.....	26
2.2.4 Recalentador.....	27
2.2.5 Atemperadores.....	27
2.2.6 Tambor de Vapor o Domo.....	29
2.2.7 Sistema de Transporte y Preparación del Carbón.....	31
2.2.8 Sistema Aire-Gases.....	34
2.2.9 Sistema Agua-Vapor.....	34
2.2.10 Sistema de Calentamiento del Aire de Combustión.....	38
2.2.10.1 Calentador de Aire Regenerativo (Tipo Ljungström).....	39
2.2.10.2 Calentador de Aire por Vapor.....	39
2.3 PROCESO DE ARRANQUE ACTUAL	41
2.3.1 Arranque en Frío.....	42
2.3.2 Arranque en Tibio.....	44
2.3.3 Arranque en Caliente.....	45
2.4 NORMA ASME PTC-4	45
2.4.1 Eficiencia del Combustible	45
2.4.2 Eficiencia Neta.....	46
2.4.2.1 Método Directo o de Entrada – Salida.....	46
2.4.2.2 Método Indirecto o de Pérdidas.....	47
2.5 INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	47

2.5.1	Tipos de Intercambiadores de Calor.	48
2.5.1.1	Arreglo de Flujo.	48
2.5.1.2	Tipo de Construcción.....	50
2.5.2	Análisis Térmico del intercambiador de calor.	52
2.5.2.1	Uso de la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica.	52
2.5.2.1.1	Intercambiador de calor de flujo paralelo.	53
2.5.2.1.2	Intercambiador de Calor en Contraflujo.	53
2.5.2.1.3	Intercambiadores de Calor de Pasos Múltiples y de Flujo Cruzado.	53
2.5.2.2	Método de la Eficiencia-NTU.	54
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.....	56
3.1	PROBLEMA EN EL PROCESO DE PREPARACIÓN DEL CARBÓN.....	56
3.2	PROBLEMA EN EL PROCESO DE ARRANQUE.....	58
3.3	PROBLEMA EN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO DEL AIRE DE COMBUSTIÓN	59
3.4	SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS PLANTEADOS	60
3.4.1	Alternativa de Solución	62
3.4.1.1	Sistema Agua – Vapor.....	65
3.4.1.2	Sistema Aire-Gases.	65
3.4.1.3	Características de los Equipos y Selección.	68
3.4.1.3.1	Calentador de Aire por Vapor.	68
3.4.1.3.1.1	Programa Desarrollado para la Evaluación del Precalentador de Aire por Vapor.....	74
3.4.1.3.1.2	Determinación de la Capacidad de Transferencia de Calor del Precalentador de Aire por Vapor.....	79
3.4.1.3.1.3	Ajuste de los Parámetros de Operación.....	90
3.4.1.3.2	Caldera Piro-tubular de Parrilla Viajera.	91
3.4.1.3.2.1	Determinación del Flujo de Vapor Requerido.....	92
3.4.1.3.3	Selección de los elementos Auxiliares del Sistema.....	96
3.4.1.3.3.1	Bomba para el Agua de Alimentación.	96
3.4.1.3.3.2	Tanque de Agua de Alimentación.	96
3.4.1.3.4	Sistema de Transporte y Almacenamiento del Combustible.	98
4.	FACTIBILIDAD ECONÓMICA	99
4.1	ANÁLISIS DE COSTOS.....	100

4.2	ARRANQUE EN FRÍO	101
4.3	ARRANQUE EN TIBIO.....	104
4.4	ARRANQUE EN CALIENTE.	107
4.5	PROYECCIÓN DEL COSTO DE LOS ARRANQUES.....	107
4.6	PROCESO EN OPERACIÓN CONTINUA.....	108
4.7	MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA TRABAJANDO CON Y SIN EXTRACCIÓN DE VAPOR	109
4.8	COSTO DE LA INVERSIÓN EN EQUIPOS Y MONTAJE DEL SISTEMA AUXILIAR	112
4.9	FLUJO FINANCIERO	113
5.	CONCLUSIONES	123
	BIBLIOGRAFÍA.....	125
6.	ANEXOS	126

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama modificación del sistema de precalentamiento de aire de combustión	19
Figura 2. Esquema simplificado del proceso de una central termoeléctrica a base de carbón.	21
Figura 3. Principales Componentes de la Caldera.	23
Figura 4. Corrosión de Economizadores debido al Azufre del Combustible.	25
Figura 5. Partes Principales del Atemporador de Inyección.	28
Figura 6. Circulación Natural del Vapor en la Caldera.	30
Figura 7. Partes Internas de un Tambor.	30
Figura 8. Análisis Último del Carbón.	32
Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.	32
Figura 9. Molino de rodillos.	33
Figura 10. Ciclo General Agua-Vapor.	36
Figura 12. Configuración del Calentador de Aire Regenerativo.	40
Figura 13. Temperatura promedio entre la entrada del aire y la salida de los gases del calentador de aire regenerativo.	41
Figura 14. Histórico de la potencia generada desde la hora cero del arranque hasta operación a plena carga.	44
Figura 15. Histórico de la potencia generada desde la hora cero del arranque hasta Operación a plena carga.	45
Figura 16. Configuración Izquierda Flujo Paralelo, Derecha Configuración Flujo Contraflujo.	49
Figura 17. Intercambiadores de calor de flujo cruzado. Izquierda Mezclado, Derecha no Mezclado	49
Figura 18. Intercambiador de calor de tubos y coraza con un paso por la coraza y un paso por los tubos.	51
Figura 19. Intercambiador de calor de tubos y coraza. a) un paso por la coraza dos pasos por el tubo. b) dos pasos por la coraza y dos pasos por el tubo.	51

Figura 20. Cubiertas de intercambiador de calor compactos. a) Tubos con aletas (tubos planos, aletas de placas continuas. b) Tubo con aletas (tubos circulares, aletas de placas continuas).....	52
Figura 21. Estado Actual de Operación.	57
Figura 22. Modificación – Implementación del Sistema Auxiliar.	61
Figura 23. Equipos del Sistema Auxiliar- Vista Lateral.....	63
Figura 24. .Equipos del Sistema Auxiliar- Vista Superior	64
Figura 25. Sistema Agua- Vapor.....	66
Figura 26. Sistema Aire-Gases	67
Figura 27. Precalentador de Aire por Vapor, 1 módulo	69
Figura 28. Configuración de las Aletas del Precalentador de Aire por Vapor	70
Figura 29. Precalentador de Aire por Vapor, Vista Superior.....	71
Figura 30. Histórico de temperaturas y flujo de aire de combustión.	72
Figura 31. Histórico de temperaturas y flujo de aire de combustión.	73
Figura 32. Histórico de temperaturas y flujo de aire de combustión.	74
Figura 33. Comportamiento Termodinámico.	75
Figura 34. Interfaz del Programa Desarrollado	77
Figura 35. Interfaz Geometría del Calentador de Aire por Vapor.	78
Figura 36. Factor de transferencia de calor para tuberías y tubos aleteados. (a) Jameson.	84
Figura 37. Eficiencia de Aleta.	86
Figura 38. Condensación de Película a altos números de Reynolds.....	87
Figura 39. Condensación de Película a bajos números de Reynolds.....	88
Figura 40. Diferencia de Temperatura Media logarítmica.....	89
Figura 42. Flujo de Calor Demandado por el Aire.	93
Figura 43. Elementos Mínimos para el control y supervisión de la caldera y el tanque de agua de alimentación.....	95
Figura 44. Proyección del Precio del A.C.P.M.	99
Figura 45. Proyección del Precio del Carbón en la Región.	100
Figura 46. Histórico del Consumo de A.C.P.M, en un Arranque realizado el 9 de Julio de 2008 Desde la Hora Cero del Arranque Hasta la Entrada en Servicio del Primer Molino.	101
Figura 47. Resultados Arrojadados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio.....	102

Figura 48. Histórico del Consumo de A.C.P.M, en un Arranque realizado el 27 de Junio de 2009 Desde la Hora Cero del Arranque Hasta la Entrada en Servicio del Primer Molino.	102
Figura 49. Resultados Arrojadados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio.....	103
Figura 50. Resultados Arrojadados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio.....	103
Figura 51. Histórico del Consumo de Carbón Desde la Entrada en Servicio del Primer Molino, Hasta Alcanzar Operación a Plena Carga.	104
Figura 52. Histórico del Consumo de A.C.P.M, Desde la Hora Cero del Arranque hasta Operación a Plena Carga	105
Figura 53. Resultados Arrojadados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio.....	105
Figura 54. Comportamiento del A.C.P.M Desde la Hora Cero del Arranque hasta Operación a Plena Carga	106
Figura 55. Resultados Arrojadados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio.....	106
Figura 56. Proyección del Costo de Los Arranques en Cuanto a Combustibles.....	108
Figura 57. Análisis Económico de la Implementación del Sistema Auxiliar.	120
Figura 58. Periodo de Recuperación de la Inversión.....	121
Figura 59. Variación del Índice de precios Al Consumidor.	159

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Carbón de rechazo de los molinos en kilogramos.....	58
Tabla 2. Precios de los combustibles.....	59
Tabla 3. Tipos de Datos que Reconoce el Programa.....	76
Tabla 4. Dimensiones del Calentador de Aire por Vapor.....	81
Tabla 5. Características del Carbón de Rechazo.....	92
Tabla 6. Elementos mínimos para el control y supervisión de la caldera.....	94
Tabla 7. Características Químicas del Agua de Llenado.....	96
Tabla 8. Características Químicas del Agua de Reposición.....	97
Tabla 9. Elementos mínimos para el control y supervisión del FWT.....	97
Tabla 10. Carbón Requerido Por el Sistema Auxiliar.....	98
Tabla 11. Carbón de Rechazo Máximo por Día.....	109
Tabla 12. Eficiencia con y sin Extracción de Vapor.....	110
Tabla 13. Parámetros Máximos en Operación a Plena Carga (150[MW]).....	110
Tabla 14. Resultados A Máxima Carga (150 [MW]).....	111
Tabla 15. Costo del Sistema Auxiliar.....	112
Tabla 16. Activos Intangibles.....	113
Tabla 17. Costo Total del Sistema Auxiliar.....	113
Tabla 18. Comparación del Tiempo de Suministro de A.C.P.M.....	119
Tabla 19. Costo Total de los Combustibles en los Arranques.....	119
Tabla 20. Índice de Precios al Consumidor.....	120
Tabla 21. Consumo Actual de A.C.P.M. y Carbón en los Arranques.....	154 154
Tabla 22 Costo A.C.P.M.....	154
Tabla 23 Costo Carbón.....	154
Tabla 24. Costo Total Anual.....	155
Tabla 25. A.C.P.M. Ahorrado y Carbón de Reemplazo.....	156
Tabla 26. Ahorro Total de A.C.P.M por Año en Pesos.....	156
Tabla 27. Costo Anual del Carbón de Reemplazo.....	157
Tabla 28. Ganancia Disminución del Heat Rate.....	157
Tabla 29. Consumo de Carbón Para el Funcionamiento del Sistema Auxiliar.....	157

Tabla 30. Costo de Carbón Para el Funcionamiento del Sistema Auxiliar.....	158
Tabla 31. Recuperación de la Inversión y Valor Presente Neto.	158
Tabla 32. Flujo Neto de Caja e Índice de Recuperación de la Inversión.	159

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A1. SISTEMA AIRE GASES.....	127
ANEXO A2. CURVA DE ARRANQUE FRIO.	129
ANEXO A3. CURVA DE ARRANQUE TIBIO.	131
ANEXO A4. CURVA DE ARRANQUE CALIENTE.	133
ANEXO A5. DIAGRAMA AGUA VAPOR CALDERA PIROTUBULAR DE PARRILLA VIAJERA.	135
ANEXO A6. LAYOUT CALDERA PIROTUBULAR DE PARRILLA VIAJERA.	137
ANEXO A7. ISOMETRICO UBICACIÓN EN PLANTA DE CALDERA PIROTUBULAR DE PARRILLA VIAJERA.	139
ANEXO A8. CÓDIGO DEL PROGRAMA EN MATLAB.	140
ANEXO A9. CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS FINANCIERO.....	154
ANEXO A10 COTIZACIÓN.	160
ANEXO 11. NOMENCLATURA	176

RESUMEN

TITULO:

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL USO DEL CARBÓN DE RECHAZO DE LOS MOLINOS COMO COMBUSTIBLE PARA PRECALENTAR EL AIRE DE LA CALDERA DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA (IV UNIDAD).*

AUTORES:

Germán Dario Vivas Báez**

PALABRAS CLAVES:

Factibilidad Económica, Central Termoeléctrica, Precalentador de Aire por Vapor, Aire de Combustión, Eficiencia del Proceso.

DESCRIPCIÓN:

El costo de generar energía eléctrica en la Central Termoeléctrica de Paipa (IV Unidad) se ha visto afectado debido a tres problemas. El primero, la caída en la eficiencia del proceso en los períodos que se requiere la extracción de vapor generado para el precalentamiento del aire de combustión. El segundo, el constante incremento en el precio del combustible de arranque (A.C.P.M.), el cual se utiliza durante 8 horas en estos períodos para conseguir las condiciones que requiere la combustión del carbón en la caldera. El tercero, el rechazo de carbón en los molinos, debido a las impurezas y la variabilidad del carbón suministrado.

Debido a estos problemas este trabajo de grado analiza la factibilidad de implementación de un sistema auxiliar para los períodos de arranque y operación de la caldera, el cual consta de una caldera pirotubular de parrilla viajera, que permite quemar el tipo de carbón rechazado en los molinos y generar vapor para el precalentamiento del aire de combustión, reduciendo el suministro de A.C.P.M. en los períodos de arranque.

Se estableció la viabilidad de la implementación del sistema auxiliar, ya que la inversión se recupera en un tiempo de nueve años, tiempo menor al de la evaluación del proyecto (10 años), permitiendo una capitalización por un valor de \$92'210.000 millones, descontado al año cero del proyecto; es decir a pesos de hoy.

* Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Omar Armando Gelvez Arocha, Ingeniero Mecánico. Codirector: Mario Alfonso Cabra Mateus, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE:

FEASIBILITY ANALYSIS OF USE OF THE MILL RESIDUAL COAL LIKE FUEL TO PREHEAT THE BOILER AIR IN PAIPA THERMOELECTRIC CENTRAL (IV UNIT)*.

AUTHOR:

Germán Dario Vivas Báez**

KEYWORDS:

Economic Feasibility, Thermoelectric plant, Steam air preheater, Combustión air, Process Efficiency.

DESCRIPTION:

The cost to generate electric energy in Paipa thermoelectric plant (IV Unit) has been affect for three main issues. The first one is the low process efficiency in periods in which is required a steam extraction for preheating of combustion air. The second one, is the constant increasing of starting fuel prices (Diesel), this is used during 8 hours to achieve the coal combustion conditions in the boiler. The last one, is the reject of coal in the mills because impurities and variability in raw material.

Due to these issues, this study analyzed the feasibility of an auxiliary system implementation for the boiler start run and operation periods. This system contains a pyrotubular boiler with a traveler grill that allows burning the residual mills coal and generates steam to preheat combustion air, reducing the diesel supply in start run periods.

In this job the feasibility of an auxiliary system implementation was established and concluded that the investment is recuperated in nine years which is a lower time compared to the project evaluation period (10 years). That means that is possible have a capitalization of \$92'210.000 millions in currently money.

* Degree Work.

** Faculty of Physics-Mechanical Engineering. Mechanical Engineering, Director: Omar Armando Gelvez Arocha, Mechanical Engineer. Codirector: Mario Alfonso Cabra Mateus, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

La Compañía Eléctrica de Sochagota S.A (Termopaipa IV) es una termoeléctrica que utiliza carbón como combustible principal; el cual además de la granulometría apropiada, requiere de una preparación previa del aire para su combustión. Adicionalmente el aire debe tener las condiciones adecuadas tanto para el secado como para el transporte del carbón. Por lo anterior y buscando un mejor comportamiento de la combustión a las condiciones ambientales del área se utiliza un combustible secundario para el arranque de la planta, A.C.P.M. El tiempo para la sustitución del combustible secundario en un arranque en frío es aproximadamente 8 horas, lo cual representa un rubro importante en el costo de la generación de energía eléctrica. Además el costo de generación se ve afectado por otros factores como: el rechazo de carbón de los molinos y la extracción de vapor generado para fines de calentamiento del aire de combustión.

Este proyecto pretende beneficiar a la compañía a través de la implementación de un sistema auxiliar. Este sistema constará de una caldera pirotubular que trabajará en paralelo con el sistema actual de precalentamiento de aire de combustión, formando parte del ciclo después de las paradas programadas o imprevistas de la planta y en los períodos de operación, cuando no se alcance la temperatura del aire requerida a la entrada del calentador de aire regenerativo. La caldera auxiliar utilizará como combustible el carbón de rechazo de los molinos (carbón con pirritas) aprovechando su potencial calorífico. De esta manera se busca mejorar la eficiencia de la misma y contribuir a la protección del medio ambiente mediante la reducción del uso de combustibles fósiles adicionales como el A.C.P.M. En general este conjunto de actividades apunta a la disminución de los costos de generación de energía eléctrica.

1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 Objetivo General.

Contribuir al desarrollo de la industria nacional participando activamente en los procesos de cambio para el progreso, soportados en la misión de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 Objetivos Específicos.

1. Analizar la factibilidad económica y energética de modificar el sistema de calentamiento de aire de combustión de la Compañía Eléctrica de Sochagota (Termopaipa IV), el cual se basa en el consumo de A.C.P.M. y la extracción de vapor proveniente de la turbina de alta, por un sistema auxiliar que utilice el carbón de rechazo de los molinos como fuente de energía para generar vapor. Este sistema debe soportar una carga máxima de 750 [ton/h] de aire con un cambio de temperatura de hasta 60°C. Para cada uno de los elementos del sistema auxiliar se pretende la realización de las siguientes acciones:
 - a. Respecto de la fuente de energía:
 - Determinar el flujo másico de vapor requerido por el sistema auxiliar.
 - Seleccionar una caldera auxiliar que satisfaga la demanda de vapor para el precalentamiento de aire de combustión utilizando como fuente de energía el carbón de rechazo de los molinos para los períodos de arranque y operación de la caldera principal.

b. Respecto del equipo de transferencia de calor:

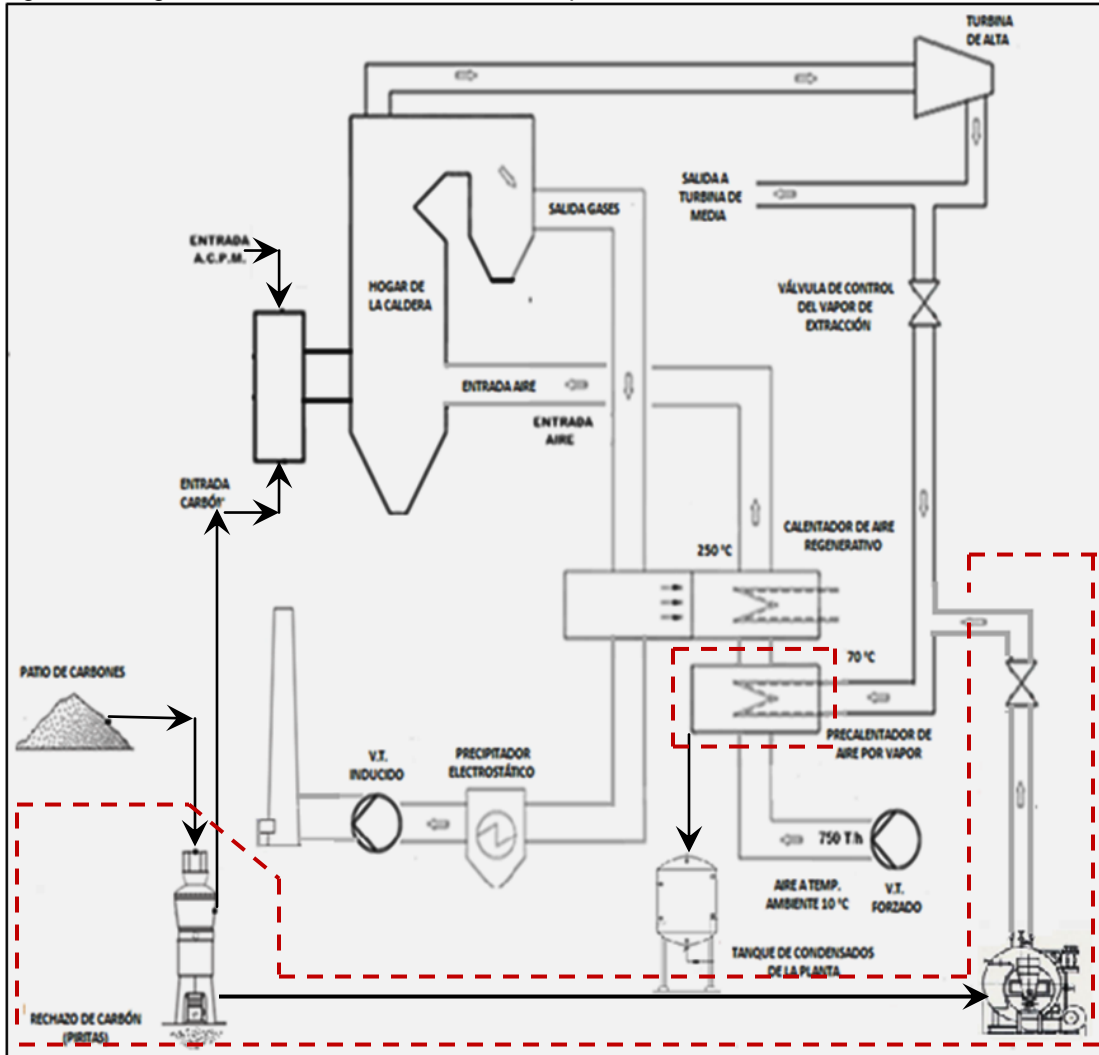
- Determinar la capacidad de transferencia de calor actual del precalentador de aire con vapor (Steam Coil).
- Rediseñar y ajustar los parámetros de operación (Flujo másico, temperaturas de entrada y salida, área de transferencia de calor) del calentador de aire con vapor según los requerimientos de calentamiento del aire impuestos por la caldera principal.

c. Respecto de los elementos auxiliares del sistema:

- Seleccionar el sistema de transporte para el carbón que se rechaza en los molinos (piritas) y el carbón de soporte proveniente del patio de carbones que alimentara la caldera auxiliar.
- Seleccionar las tuberías y demás accesorios para el acople al sistema principal.

d. Medir la eficiencia de la caldera principal trabajando con y sin la extracción de vapor, siguiendo el estándar de la norma PTC 4.1-1964 - ASME Test Form for Abbreviated Efficiency.

Figura 1. Diagrama modificación del sistema de precalentamiento de aire de combustión



2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

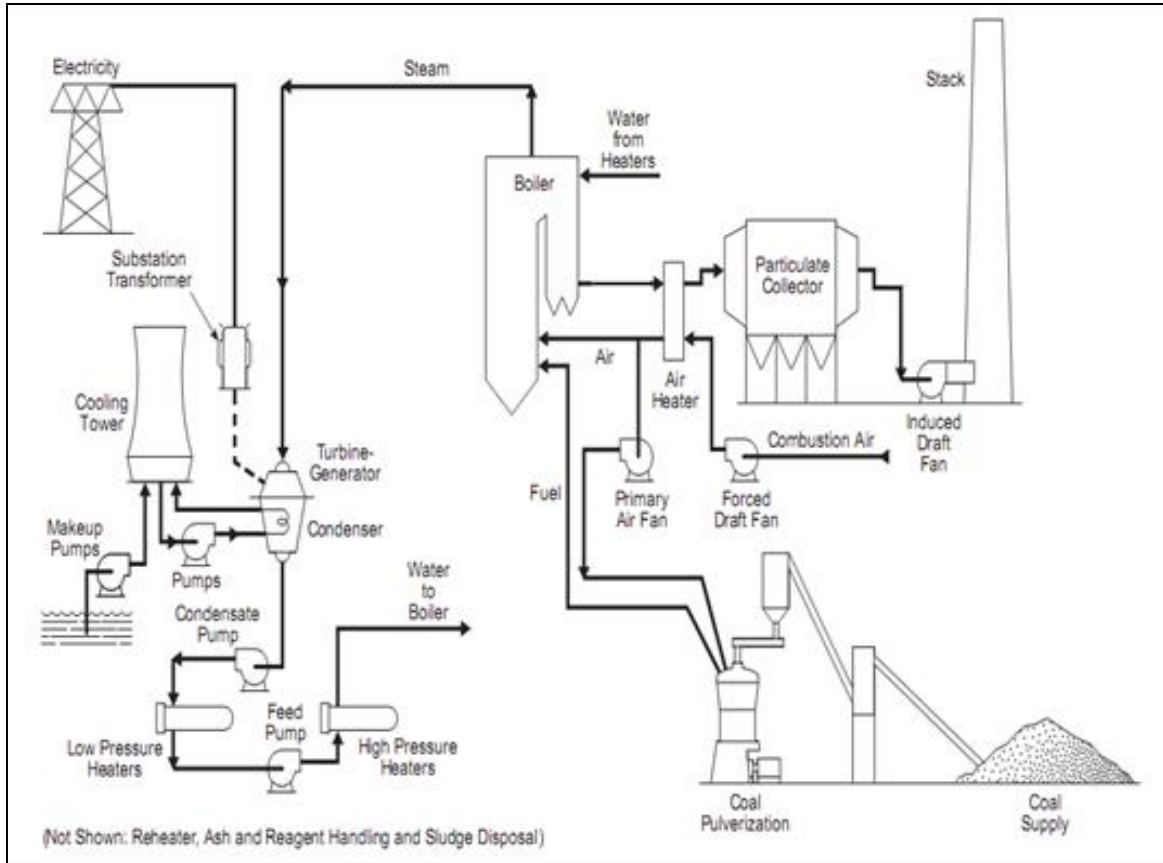
La Compañía Eléctrica de Sochagota S.A (Termopaipa IV) es una termoeléctrica que utiliza carbón como combustible principal y A.C.P.M. como combustible secundario o de arranque. Tiene una capacidad instalada de 165 MW y está ubicada a 5 km de la vía que comunica al municipio de Paipa con la ciudad de Tunja (Boyacá).

2.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El proceso de ebullición del agua para obtener vapor es un fenómeno familiar. Termodinámicamente, en vez de incrementar la temperatura del agua, la energía usada resulta en un cambio de fase del estado líquido a gaseoso, agua a vapor. Esta conversión es la principal parte de un amplio sistema para generar energía eléctrica. La Figura 2, identifica los principales subsistemas de la central termoeléctrica a base de carbón en la cual se desarrollo este proyecto. Entre los cuales se incluyen; la recepción y preparación de combustible, combustión y generación de vapor, protección medioambiental, turbina-generador, y el rechazo de calor incluyendo las torres de enfriamiento.

Primero, siguiendo el combustible y los productos de la combustión (gases del combustible) a través del sistema. El sistema de manipulación de combustible almacena el carbón de suministro, prepara el combustible para la combustión y lo transporta hacia el generador de vapor. El sistema asociado con el aire, lo conduce hasta los quemadores a través de un ventilador de tiro forzado.

Figura 2. Esquema simplificado del proceso de una central termoeléctrica a base de carbón.



Fuente: Steam Its Generation and Use, The Babcock and Wilcox Company.

El subsistema generador de vapor, el cual incluye el calentador de aire, el quemador de la mezcla combustible-aire, los recuperadores de calor, y el generador de vapor a alta presión y alta temperatura. Los gases de combustión salen del subsistema generador de vapor y entran al calentador de aire, luego continúan su recorrido a través de un sistema colector de partículas donde la ceniza y los residuos sólidos son removidos. Finalmente los gases restantes son enviados a la chimenea a través de un ventilador de tiro inducido.

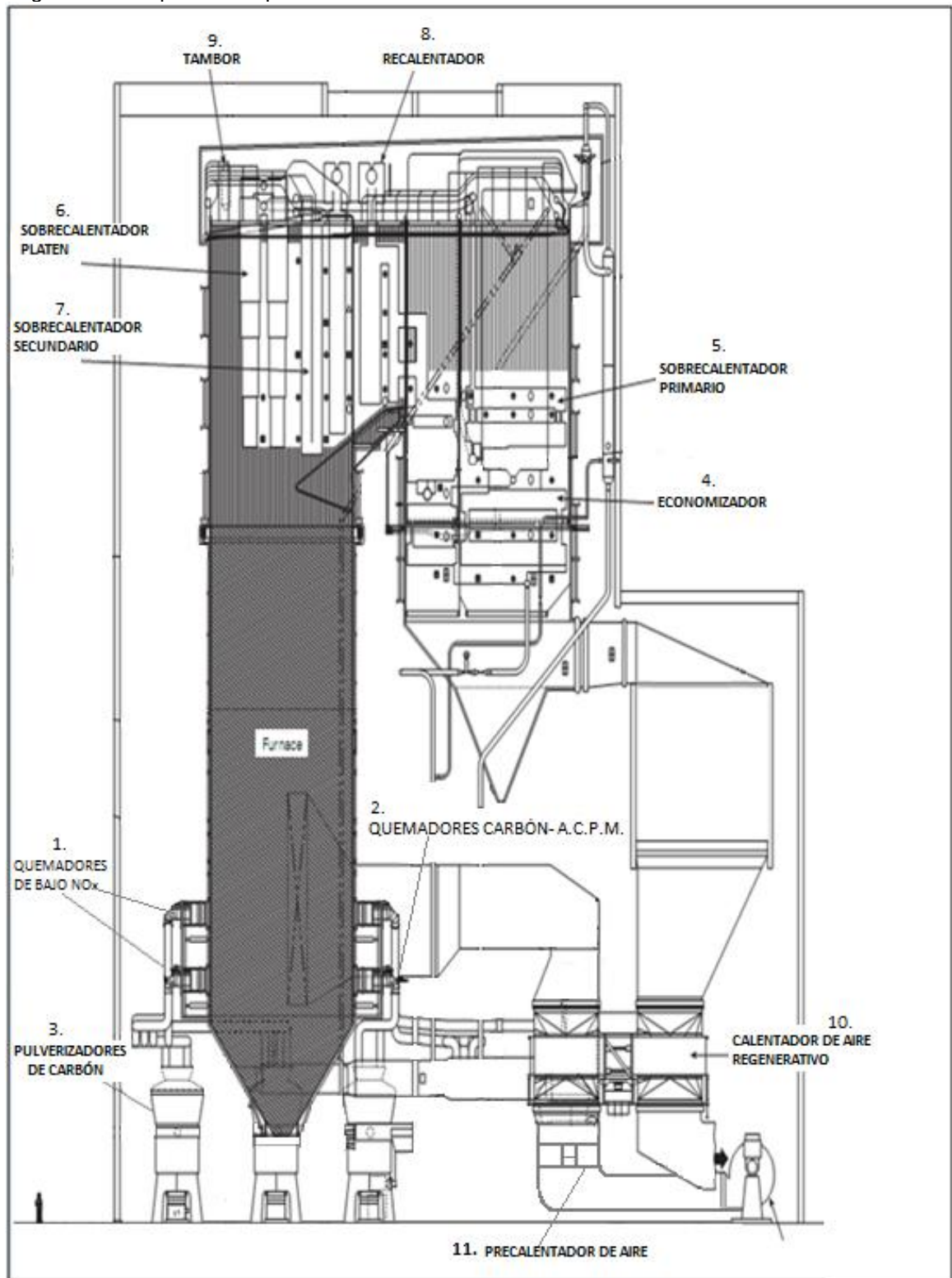
Segundo, siguiendo la trayectoria del agua-vapor. El generador de vapor (caldera) evapora el agua llevando el vapor a alta temperatura y alta presión, bajo condiciones controladas cuidadosamente hacia la turbina-generator que produce

la electricidad. El vapor es recalentado en el generador de vapor después de pasar a través del sistema de turbinas multietapa, haciendo circular el vapor que sale de cada etapa por detrás de la caldera llevándolo a una mayor temperatura. Por último el vapor continúa hacia la turbina y al condensador donde el calor remanente es rechazado. Después el agua del condensador es retornado a la caldera, siendo impulsado por bombas e incrementando su presión y temperatura en los intercambiadores de calor. La energía absorbida por el condensador es eventualmente rechazada a la atmósfera por una o más torres de enfriamiento.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS PARTES DE LA CALDERA

El generador de vapor tipo Carolina es una caldera radiante, de circulación natural y con un hogar de tipo ceniza sólida o solera seca. Está equipada con cuatro grupos de cuatro quemadores cada uno (1.), de los cuales tres grupos están diseñados sólo para quemar carbón pulverizado y el otro con la capacidad adicional de quemar A.C.P.M. (2.). Además, está dotada de alimentadores y pulverizadores de carbón (3), economizador (4.), sobrecalentador primario (5.), sobrecalentador platen (6.), sobrecalentador secundario (7.), recalentador (8.), tambor o domo (9.), calentador de aire regenerativo (10), precalentador de aire (11.), y otros componentes auxiliares tales como sopladores (equipo para la limpieza de la superficie de transferencia de calor), colectores de ceniza y equipo de manipulación, control y monitoreo entre otros (ver Figura 3).

Figura 3. Principales Componentes de la Caldera.



Fuente: Steam Its Generation and Use, The Babcock and Wilcox Company.

2.2.1 Economizador.

Antes de entrar al tambor¹ el agua de alimentación pasa por este equipo, donde recupera parte del calor de los gases de combustión que salen de la caldera, logrando aumentar su temperatura. Esta recuperación de calor se refleja en un incremento del rendimiento, de aquí su nombre.

Trabaja a contracorriente ya que los gases de combustión circulan de arriba hacia abajo y el agua de abajo hacia arriba por dentro del arreglo de tubos lisos. Estos tubos forman un área de transferencia de calor de 4273 [m²].

Tanto la corrosión interna como la externa, son posibles si existen las condiciones propicias. La corrosión interna se puede evitar manteniendo un ph requerido del agua de alimentación y un contenido de cero en el oxígeno disuelto. Esto implica el empleo de calentadores, desaireadores o condensadores.

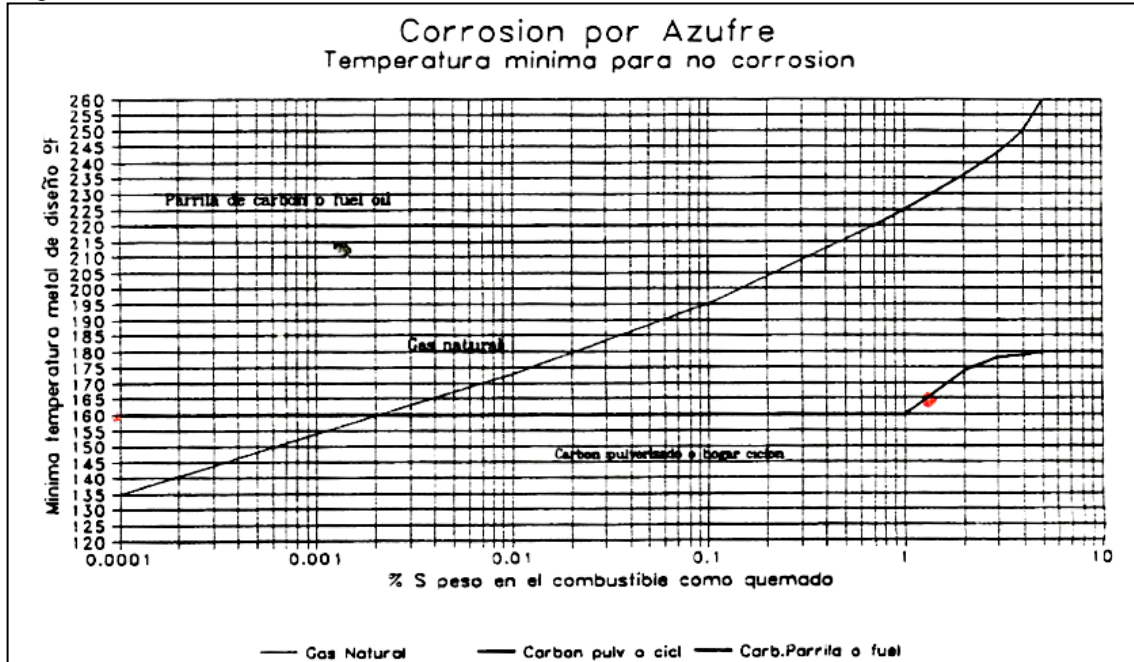
La corrosión externa depende del azufre, la humedad del combustible y el método de combustión. Manteniendo la temperatura del metal por encima del valor indicado en la Figura 4, junto con un porcentaje mínimo de azufre en el combustible, se impide la corrosión externa.

2.2.2 Hogar.

Tiene como finalidad proporcionar el espacio cerrado para que se produzca la combustión completa, esto es esencial para un funcionamiento eficaz y sin humos. El hogar y el equipo de combustión deberán proporcionar tres condiciones básicas.

¹ Equipo utilizado para la separación de la mezcla agua-vapor.

Figura 4. Corrosión de Economizadores debido al Azufre del Combustible.



Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.

Temperatura para mantener la combustión, turbulencia para poner el aire en contacto con el combustible, y tiempo en la zona de alta temperatura y de turbulencia para que la combustión sea completa. Además de estas, existen varios factores que determinan el tamaño, la forma y la construcción del hogar, entre estos están: caudal y tipo de combustible, equipo de combustión, características de las cenizas, temperatura deseada en los gases de salida y la altura requerida para la circulación natural del agua.

El agua proveniente del tambor o domo entra por la parte inferior del hogar distribuyéndose por las paredes de tubos que la conforman, estos tubos proveen el área de transferencia de calor (1217 [m²]) para que el agua (líquida) se transforme en vapor saturado.

2.2.3 Sobrecalentador.

La capacidad calorífica o entalpía del vapor procedente del tambor, aumenta cuando pasa por el sobrecalentador. Este se encuentra situado en la zona más caliente del paso de convección a la salida del hogar.

La caldera tiene un sobrecalentador primario ubicado cerca de la salida del paso de convección, un sobrecalentador radiante platen y un sobrecalentador secundario donde sale el vapor vivo a la turbina. Los valores máximos de temperatura, flujo y presión de este vapor vivo son del orden de 543 [°C], 515,000 [Kg/h] y 170 [bar] respectivamente.

Es muy importante controlar la temperatura del vapor, no solamente para proteger del creep² los sobrecalentadores, sino también a todos los grupos a los que la caldera proporciona vapor.

La distribución de calor entre las distintas superficies varía con la carga. A mayor carga será mayor la proporción de calor absorbido en las superficies de radiación frente a las de convección. Sin embargo, se puede lograr una temperatura del vapor casi constante si existe una correcta relación entre la superficie de convección y la superficie de radiación, pero en la mayoría de los casos, la temperatura del vapor se ve también afectada por el exceso de aire, tipo de quemador, condiciones de suciedad en el hogar y temperatura del agua de alimentación.

En calderas con cargas bajas, se utiliza sistemas de recirculación de los gases de combustión. Este ejerce el control de temperatura del vapor sobrecalentado y

² CREEP: Fatiga térmica o sobrecalentamiento de corta duración

recalentado direccionando el gas que proviene de la salida del economizador hacia la parte inferior del hogar de la caldera mediante un ventilador.

Durante el período en que se levanta presión, no pasa por el sobrecalentador ningún vapor, o muy poco. Sería necesario un régimen de combustión sumamente alto para producir el suficiente vapor para que circule por todos los tubos del sobrecalentador y además levantar la presión de la caldera. Por estos motivos, la temperatura del gas que penetra en el sobrecalentador durante el levantamiento de presión, debe mantenerse por debajo de la temperatura de diseño del metal del sobrecalentador.

2.2.4 Recalentador.

Estos son utilizados en las calderas de alta presión para calentar el vapor procedente de la turbina de alta presión antes de ser admitido en la turbina de baja presión, con lo cual se aumenta el rendimiento del ciclo de vapor. La presión, temperatura y flujo máximo que se logra obtener en este equipo es de 49.3 [bar], 542 [°C] y 460,000 [Kg/h] respectivamente.

2.2.5 Atemperadores.

El sistema de atemperación por inyección, sprays, es un método para controlar la temperatura del vapor. Este método regula la temperatura vaporizando agua con una temperatura más baja que la del vapor. El sistema de spray presenta la ventaja de tener una acción sensitiva y rápida a las variaciones de temperatura.

Como se muestra en la Figura 5, el atemperador de tobera spray consta de un tubo interior, el cual tiene forma de venturi, descargando el agua de la tobera en la

zona cónica más estrecha donde se inicia la mezcla entre el agua y el vapor. Este venturi sirve para dos propósitos:

- Incrementar la velocidad de vapor para que se complete la mezcla y la evaporación total del agua.
- Proteger de choques térmicos a la tubería.

Figura 5. Partes Principales del Atemperador de Inyección.



Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.

La camisa del atemperador del recalentador no es de tipo venturi, para evitar la pérdida de carga que ello supone, sino que es recta, siendo su única misión proteger la tubería del choque térmico.

Los elementos claves de esos sistemas implican la necesidad de controlar la formación y emisión de contaminantes, proveer de una eficiencia completa de combustión, y manejar el material inerte encontrado en el combustible.

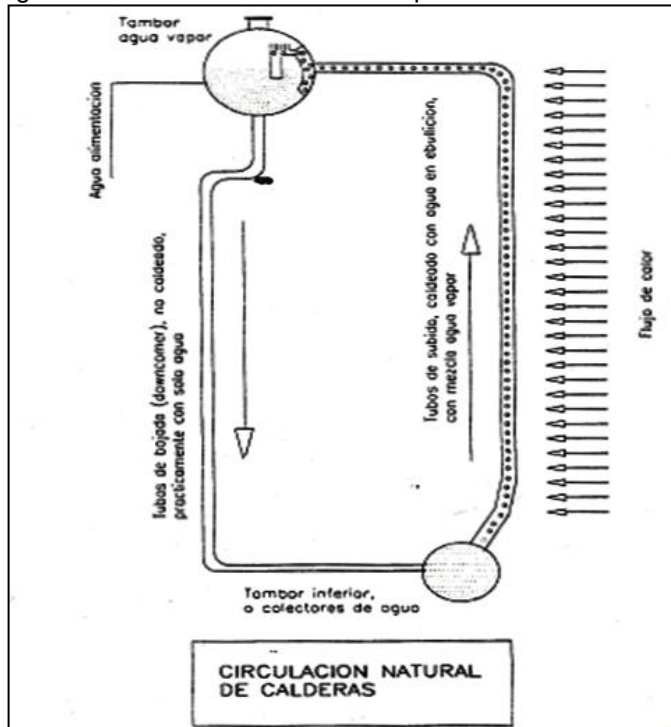
2.2.6 Tambor de Vapor o Domo.

El objetivo principal del tambor de vapor o domo es el de proporcionar una superficie libre y controlada para separar el vapor saturado de la mezcla de vapor-agua producida en la caldera. El flujo de esta mezcla que asciende por los tubos generadores es bombeado hacia el domo por el efecto del cambio en la densidad del líquido mientras este cambia de fase o se evapora (Circulación natural). Los tubos de bajada (downcomers) que se muestran en la Figura 6, contienen agua saturada o subenfriada, mientras que los tubos generadores o de subida, contienen una mezcla de agua-vapor, más ligera³.

Ya en su interior (ver Figura 7) la mezcla de vapor-agua pasa por una zona de mamparas que la separan del agua contenida en el tambor. El vapor es conducido a los ciclones entrando tangencialmente. La fuerza centrífuga impulsa el agua contra las paredes deslizándola a la parte inferior incorporándola al agua contenida en el tambor. El vapor pasa por dos separadores de tipo corrugado, el primero situado inmediatamente a la salida de los ciclones (scrubber primario) y el segundo situado en la parte superior del tambor (scrubber secundario).

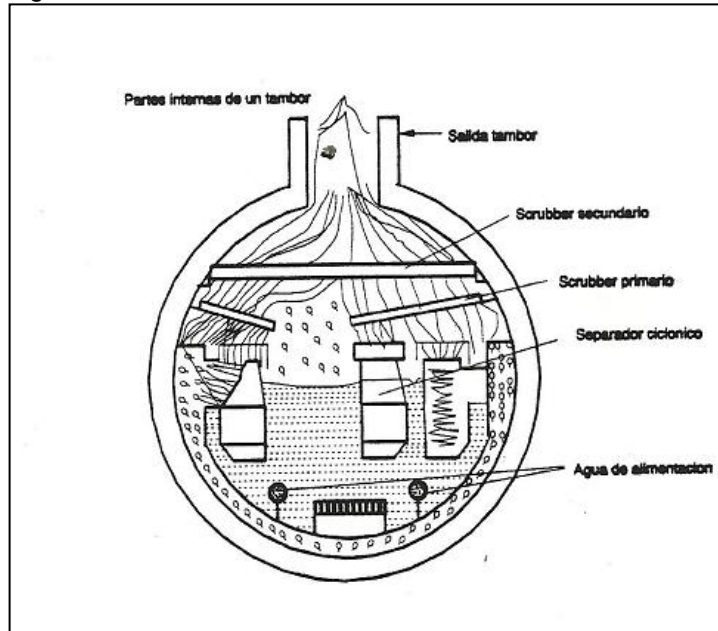
³ La mezcla que sale de los tubos de subida suele contener de un 5% a un 20% de vapor en peso, según sea la presión y carga de la caldera.

Figura 6. Circulación Natural del Vapor en la Caldera.



Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.

Figura 7. Partes Internas de un Tambor.



Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.


2.2.7 Sistema de Transporte y Preparación del Carbón.

El carbón, combustible fósil de tipo bituminoso es la materia prima para la generación de energía eléctrica (su composición se puede observar en la Figura 8). Este es transportado desde las minas de carbón de la región, recibido y almacenado con un tamaño entre 0 y 400 [mm] en el patio de carbones de la planta. De allí es transportado por los cargadores de ruedas hacia las tolvas y por medio de una banda transportadora es llevado a la primera etapa de trituración donde su granulometría pasa a tener un tamaño del orden de 0 a 50 [mm]. Luego es enviado al alimentador gravimétrico que surte verticalmente de carbón a los molinos. Este entra verticalmente a través de un tubo de bajada a la mesa de molienda giratoria. Luego es llevado por las fuerzas centrífugas hacia los rodillos (ver Figura 9), los cuales pasan sobre él y lo muelen hasta conseguir un tamaño promedio de 75 [μm], gracias a la fuerza desarrollada por el sistema hidroneumático. Al pasar los rodillos por encima de la cama del material, los émbolos acoplados de los cilindros se mueven a través del sistema de balancines y el aceite hidráulico del cilindro se desplaza dentro de los acumuladores llenos con gas.

El material sobre el cual han pasado los rodillos es lanzado por encima de la mesa de molienda hacia la zona que se encuentra encima de la corona de álabes, debido a la fuerza centrífuga. Aquí se forma un lecho fluidificado, por lo tanto el aire primario caliente evapora espontáneamente el agua que contiene y lleva el material molido al clasificador dinámico que selecciona el tamaño⁴ final del carbón.

⁴ El tamaño de partícula influye en el grado de control (mayor o menor) que pueda ejercerse sobre la combustión, de igual manera este factor repercute en el nivel de emisiones arrojados a la atmósfera.

Figura 8. Análisis Último del Carbón.



Minerals
Barranquilla
F490101
MS-20667-1/08
Pág. 1 de 1

Autopista al Aeropuerto Km.8
Tel: 3769500
Fax: 3762071 A. A. 3505
Barranquilla – Colombia

PARA: COMPAÑÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA S.A. E.S.P.
KM 5 Carretera Paipa a Tunja, Termopaipa IV
Paipa

PRODUCTO : CARBON
RECIBIDA EN : JUNIO 15 DE 2008
IDENTIFICADA POR : COMPAÑÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA S.A. E.S.P.

REPORTE DE ANALISIS

De acuerdo a instrucciones recibidas de **COMPAÑÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA S.A. E.S.P.**, **SGS COLOMBIA S.A.**, ha efectuado análisis sobre una (1) muestra suministrada e identificada por **COMPAÑÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA S.A. E.S.P.**, como "Carbón", según su solicitud efectuada el 12 de Junio de 2008, recibida en nuestro laboratorio en la fecha arriba mencionada.

Los siguientes resultados fueron establecidos por el Laboratorio de **SGS COLOMBIA S.A.**, en Barranquilla, de acuerdo a la norma ASTM:

ID MUESTRA: EFC 110608
ID. LABORATORIO 4903-222117
FECHA DE ANÁLISIS: 17-06-08 **SECADO AL AIRE** **COMO SE RECIBE** **NORMA APLICADA**
PROXIMO COMPLETO

Humedad Total, % en peso		8.96	D-3302-02a *
Ceniza, % en peso	15.81		D-5142-04 *
Volatil, % en peso	36.64		D-5142-02 *
Azufre, % en peso	1.1354		D-4239-04a Meth B *

Poder Calorífico Neto
Poder calorífico neto, Kcal/Kg

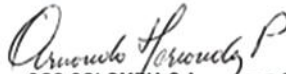
		5914	D-5865-04
--	--	------	-----------

ANALISIS ULTIMO	COMO SE RECIBE	BASE SECA	NORMA APLICADA
Humedad Total, % en peso	8.96		D-3302-02 *
Carbono, % en peso	61.97	66.07	D-5373-02 *
Hidrogeno, % en peso	4.42	4.85	D-5373-02 *
Nitrogeno, % en peso	1.39	1.53	D-5373-02 *
Ceniza, % en peso	14.86	16.32	D-3174-04 *
Azufre, % en peso	1.07	1.17	D-4239-04a Meth B *
Oxigeno, % en peso (dff)	7.33	8.06	

**Estos análisis se encuentran acreditados por la SIC (Superintendencia de Industria y Comercio) bajo resolución número 10172 de 2004".

NOTA: Estos resultados tienen validez con referencia única y exclusivamente sobre las muestras recibidas en nuestro laboratorio de SGS COLOMBIA S.A., en Barranquilla.

Barranquilla, Colombia
JUNIO 18 DE 2008

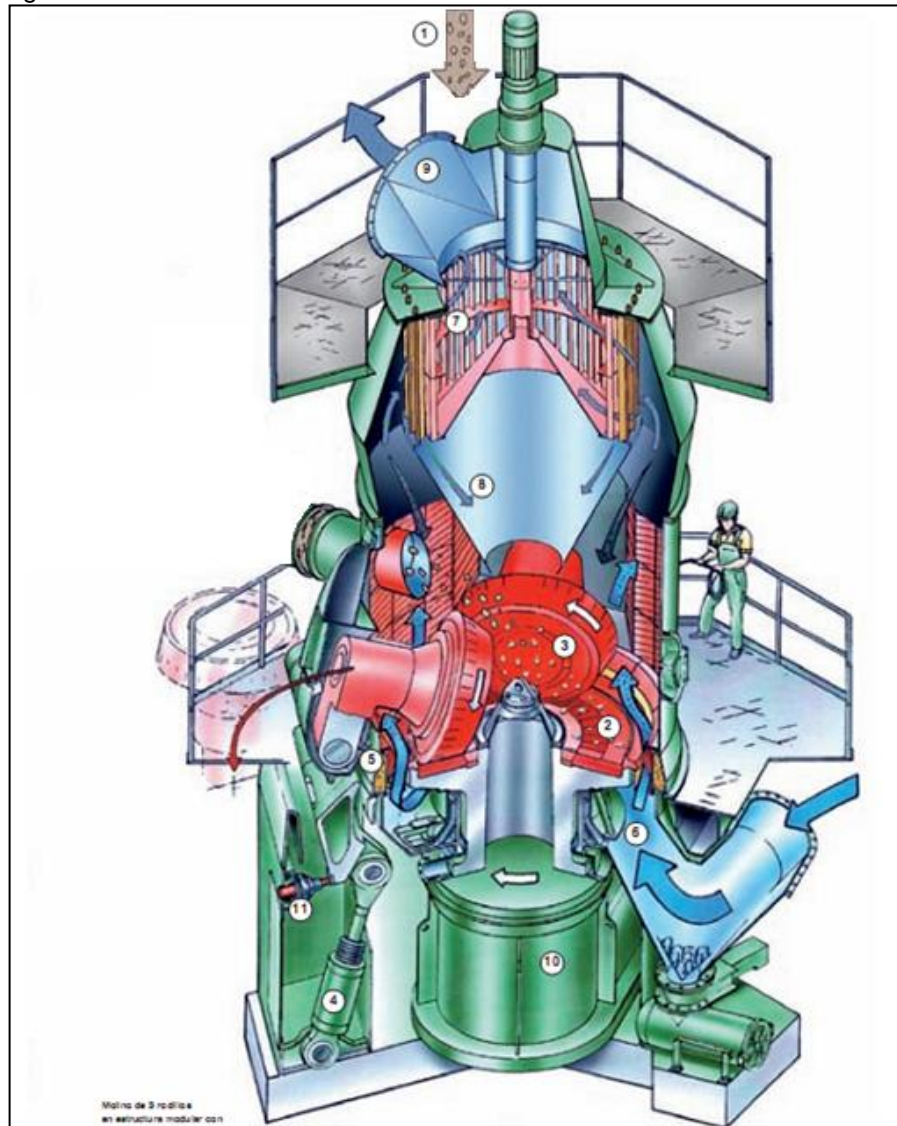


SGS COLOMBIA S.A.
ARMANDO HERNANDEZ PEDROZA
SUPERVISOR DE LABORATORIO

*This document is issued, on the Client's behalf, by the Company under its General Conditions of Service available at http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. The Client's attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any other holder of this document is advised that information contained herein reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.

Figura 9. Molino de rodillos.



Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.

Esto se logra, gracias a la fuerza resultante producto del balance de fuerzas entre el peso de la partícula, el arrastre ejercido por el aire primario y la fuerza centrípeta que ejerce el clasificador. La fracción gruesa de las partículas del clasificador, según el ajuste del mismo, en recirculación interna retorna a la mesa de molienda, para pasar de nuevo a los rodillos.

2.2.8 Sistema Aire-Gases.

Los elementos que participan en este proceso se identifican en el Anexo 1. El flujo de aire suministrado por el ventilador de tiro forzado, pasa por el calentador de aire por vapor y el calentador de aire regenerativo de gases, elevando así su temperatura. Luego, este es llevado al cajón de aire (windbox) donde se distribuye, una parte como aire primario y otra como secundario. El aire secundario es llevado directamente a cada uno de los quemadores mientras el primario es dirigido hacia los molinos mezclándose con el aire de atemperación, el cual es extraído antes de la etapa de calentamiento. Esta mezcla se conduce a los ventiladores de aire primario, con el fin de conseguir la presión adicional para circular a través de los molinos y la tubería carbón-aire hasta los quemadores.

El carbón y el aire son rápidamente mezclados y quemados en el hogar de la caldera y los gases de combustión suben a través de ella. En la primera etapa la transferencia de calor sucede por radiación, sucesivamente el gas pasa a través del sobrecalentador platen, sobrecalentador secundario, recalentador⁵, sobrecalentador primario y economizador entregando su energía por convección. Los gases pasan a través del calentador de aire, equipo de control de contaminantes (precipitador electrostático) y por último el ventilador de tiro inducido antes de salir a la atmosfera por la chimenea.

2.2.9 Sistema Agua-Vapor.

La Figura 10, muestra los equipos principales que intervienen en el ciclo (agua-vapor) con las condiciones termodinámicas reales en cada punto.

El agua es sometida a un tratamiento de purificación antes de inyectarla al ciclo, con el fin de evitar una prematura corrosión en los elementos del sistema.

⁵ En este punto la transferencia de calor es netamente por convección, debido a que este elemento y los restantes están completamente fuera de la zona de radiación.

Al principio del ciclo esta agua pasa por los calentadores que usan el vapor extraído de la turbina de baja como se observa en la Figura 10, elevando sustancialmente su temperatura y presión. Luego es conducida hacia el tanque de agua de alimentación, donde es desaireado y de allí el agua es impulsada al economizador pasando primero por los calentadores de alta.

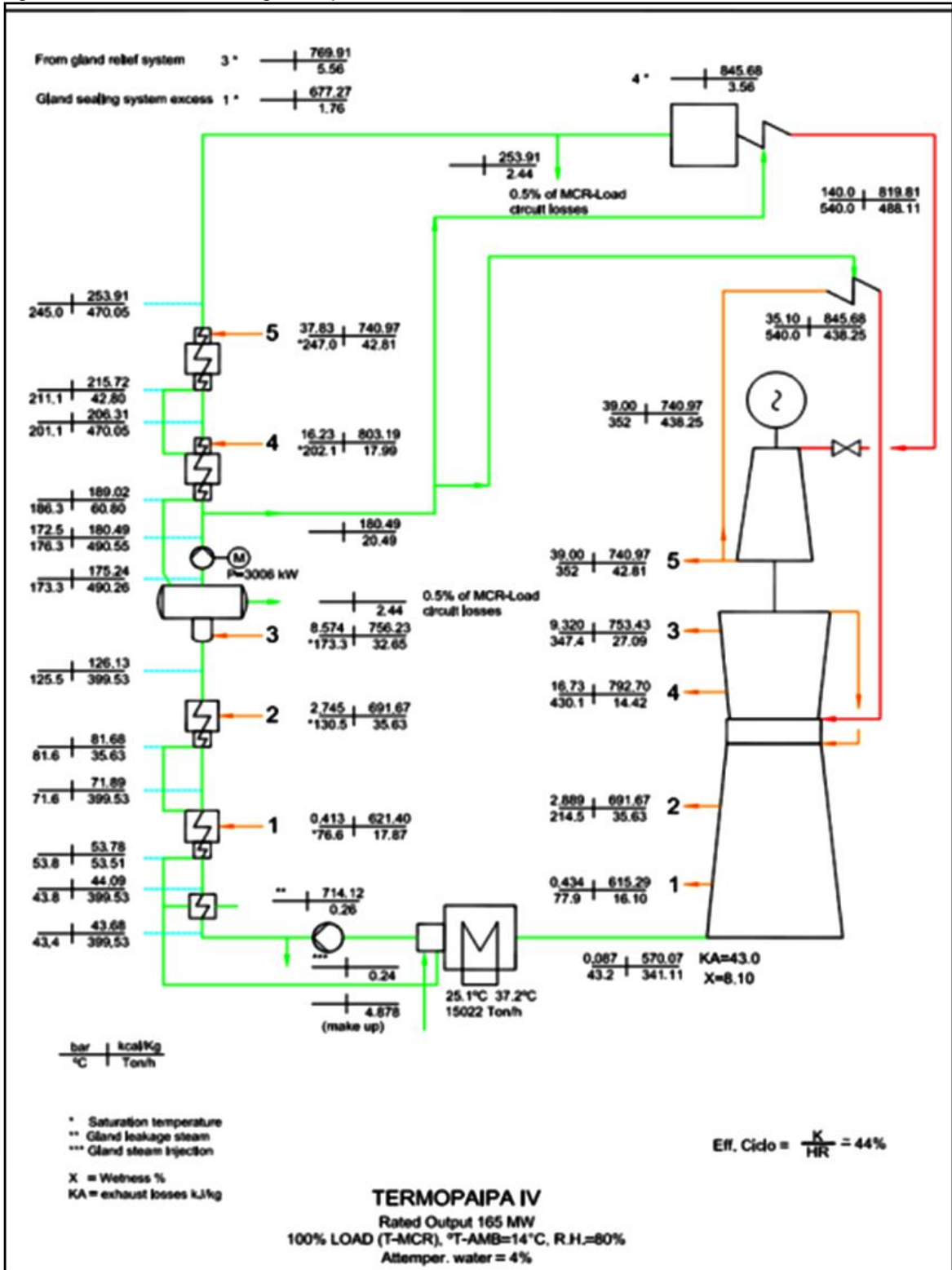
Se hará un seguimiento detallado del ciclo a partir del economizador. Siguiendo el circuito que se muestra en la Figura 11⁶, el agua entra al economizador por el colector (1), circula por los bancos (2) y (3), saliendo por el colector (4), pasa por los tubos de soporte del sobrecalentador primario (5) y (6), sale por los colectores (7) fuera del paso de gases, siendo conducido por los tubos (8) al tambor (9).

El agua es conducida fuera del domo por los tubos (downcomers) (10) por fuera del flujo de gases, entra a los colectores (11) y es guiada por los tubos (12) llegando a la parte inferior del hogar de la caldera entrando por los cabezales (13). En el hogar sube por las paredes de tubos (15) debido al cambio de fase y a la diferencia de densidades producto del intercambio de calor por radiación, el vapor saturado es llevado al tambor (9) por los tubos (19) y (20).

El vapor procedente del tambor (9) sigue a través de los tubos (21) fuera del flujo de gases, entra en el colector (22) circulando a través de los tubos (23) que forman el techo, entrando a los colectores (30).

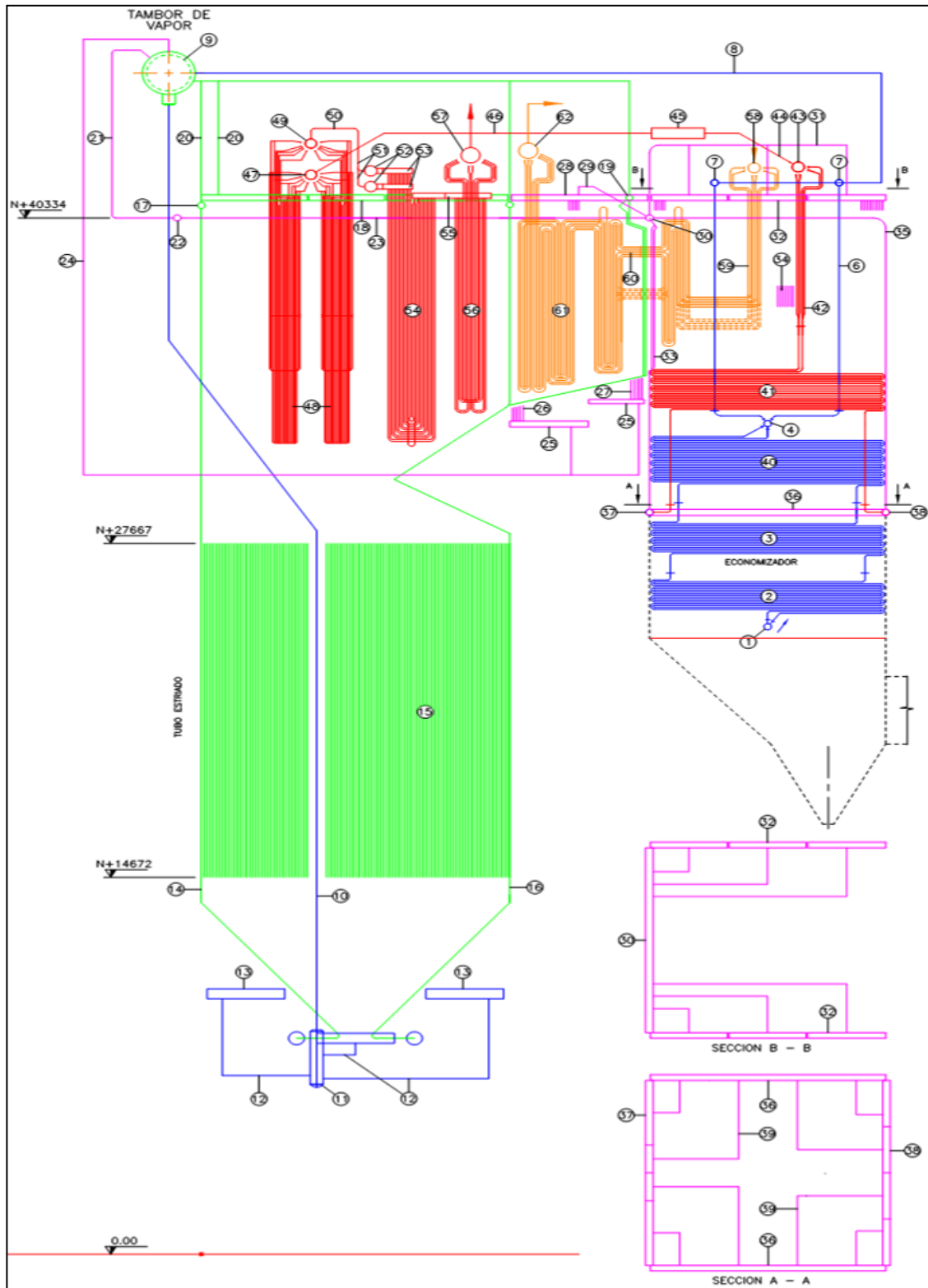
⁶ Debido a que este trabajo de grado se enfoca en el área de caldera, se hará una explicación más profunda del comportamiento del agua-vapor al pasar por este equipo. Anexo 2.

Figura 10. Ciclo General Agua-Vapor.



Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.

Figura 11. Sistema Agua-Vapor.



Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.

El colector (30) distribuye el vapor por el techo y la pared posterior por los tubos (35) entrando en el colector (38), a través de los tubos (31) alimenta los colectores laterales (32) y estos a las paredes laterales (34) entrando a los colectores (36), saliendo por los colectores (37) y (38).

De allí el vapor que llega a los colectores (37) y (38) circula por los bancos horizontales (40) y (41) y por el banco de salida (42) entrando en el colector (43) pasando por el atemperador (45) y a través de los tubos (46) entra en el colector (47).

El vapor procedente del colector (47) circula a través del sobrecalentador platen (48) entrando en el colector (49) y es conducido por los tubos (50) a los atemperadores (51) entrando en los colectores (52) y de éstos a los manifolds (53) circulando por los tubos del sobrecalentador secundario (54) pasando por los manifolds intermedios (55) entrando por los tubos del sobrecalentador secundario (56) entrando al colector de salida de caldera (57).

El vapor procedente de la turbina entra al colector (58) y circula por el banco de entrada (59) circulando por los tubos banco intermedio (60) y banco recalentador salida (61) entrando al colector de salida (62).

2.2.10 Sistema de Calentamiento del Aire de Combustión.

Este sistema se compone básicamente de dos equipos ubicados en serie, el calentador de aire regenerativo (tipo Ijungström) y el calentador de aire por vapor.

2.2.10.1 Calentador de Aire Regenerativo (Tipo Ljungström).

Este equipo transfiere calor indirectamente por convección, ya que usa como medio de almacenamiento de energía un arreglo de placas corrugadas de acero que periódicamente son expuestas al flujo caliente (gases) y al flujo frío (aire). Como se muestra en la Figura 12, los flujos de aire y gases atraviesan el calentador por dos cámaras iguales sin mezclarse. La velocidad de rotación del equipo es del orden de 1 [rpm] para garantizar la transferencia de calor hacia y desde las superficies.

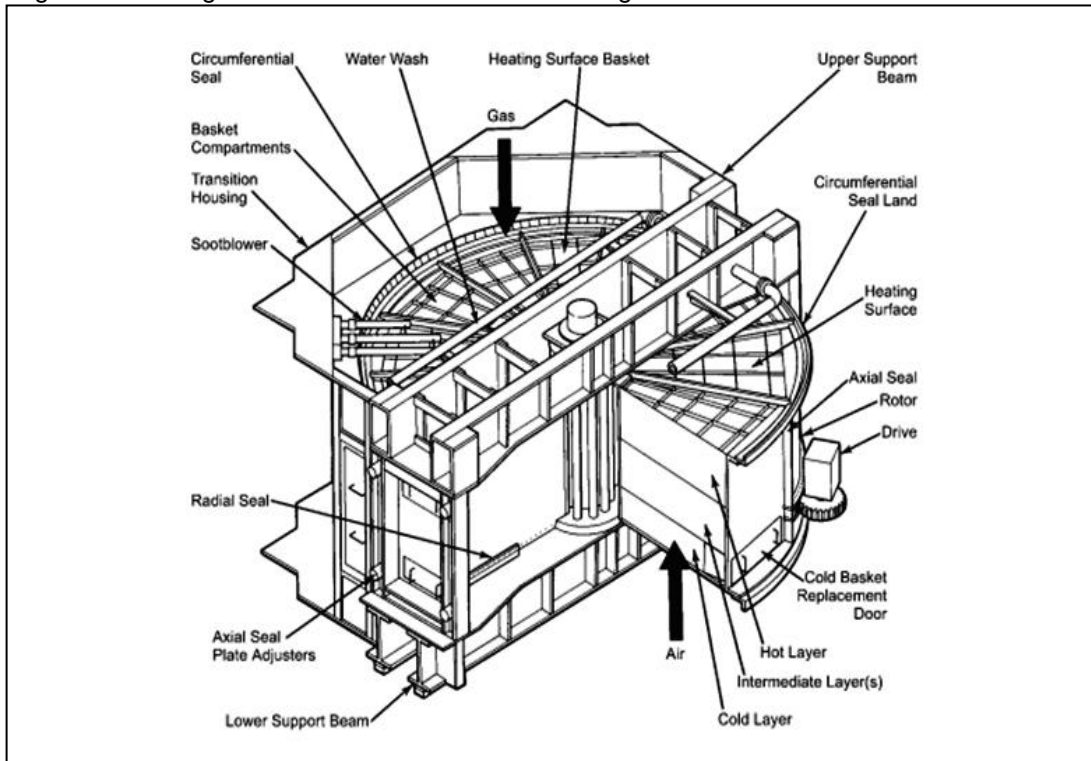
2.2.10.2 Calentador de Aire por Vapor.

Este equipo es un intercambiador de calor de flujo cruzado compuesto de dos módulos de 23 tubos aleteados cada uno, se encuentra ubicado entre el ventilador de tiro forzado y el calentador de aire regenerativo (ver Anexo 1). Actualmente sirve como medio para elevar la temperatura del aire de combustión, mediante el intercambio de energía térmica entre este y el vapor auxiliar que se extrae de la turbina de alta.

Trabaja con vapor saturado a 10 [bar], el cual entra por dos bridas (ANSI 3" 300# WN.RF.) a cada módulo y sale por una, retornando el condensado subenfriado al ciclo de generación de vapor por medio del tanque de condensados de la planta⁷.

⁷ Este Equipo trabaja presión atmosférica.

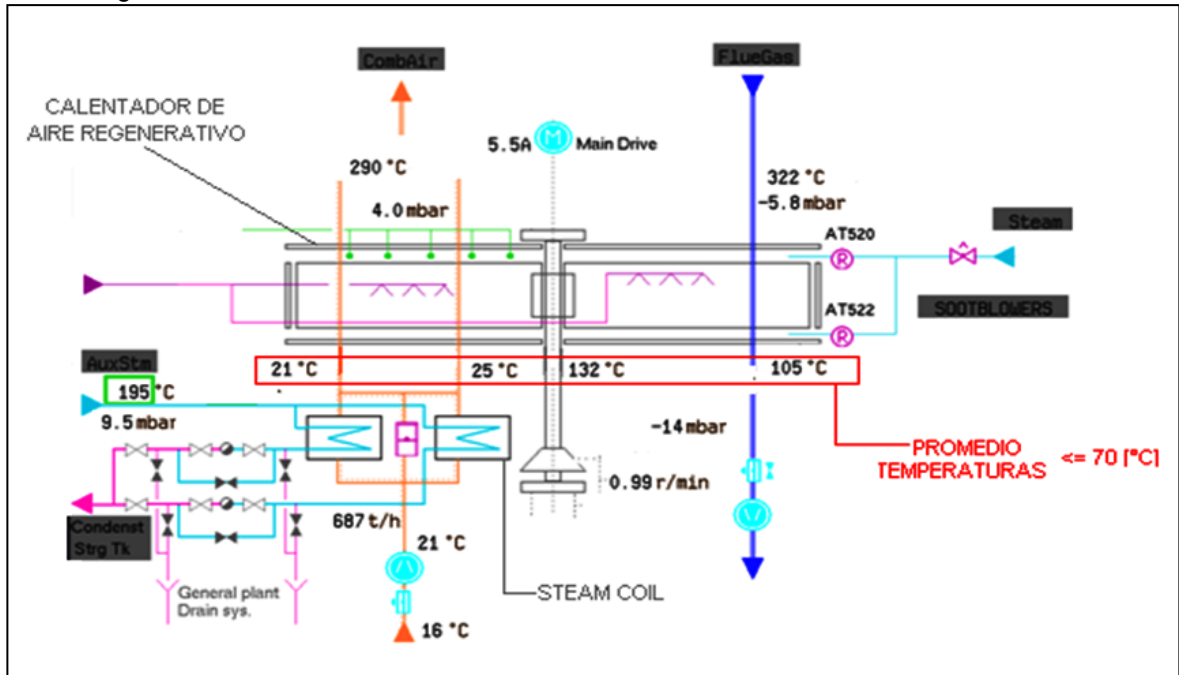
Figura 12. Configuración del Calentador de Aire Regenerativo.



Fuente: Steam Its Generation and Use, The Babcock and Wilcox Company.

Su participación en el calentamiento del aire se da únicamente como soporte al calentador de aire regenerativo, cuando el flujo y la temperatura de los gases de combustión no alcanzan a proporcionar la totalidad de la carga térmica requerida por el aire. El sistema de control está puesto para mantener un promedio de 70°C, entre la temperatura del aire a la entrada y la temperatura de los gases a la salida del calentador de aire regenerativo (ver Figura 13). De tal manera que si la temperatura de los gases a la salida de CAR alcanzara 140°C, el lazo de control actuaría impidiendo el flujo de vapor hacia el calentador de aire por vapor sacándolo de funcionamiento. Si al contrario la temperatura de los gases en este punto disminuyeran, el sistema de control trataría de mantener ese promedio permitiendo el paso de vapor hacia el calentador de aire por vapor en la medida que se requiera.

Figura 13. Temperatura promedio entre la entrada del aire y la salida de los gases del calentador de aire regenerativo.



Fuente: Compañía Eléctrica de Sochagota.

2.3 PROCESO DE ARRANQUE ACTUAL

Después de las paradas programadas (mantenimiento) o imprevistas (problemas sociales, económicos, fallas intempestivas, etc.) de la planta, todos los sistemas se encuentran en reposo. La puesta en marcha de la planta puede ser de tres tipos de acuerdo al estado térmico en que se inicia la caldera:

- Arranque en Frío
- Arranque en Tibio
- Arranque en Caliente

2.3.1 Arranque en Frío.

La temperatura del aire, el exceso de oxígeno y las características de cada tipo de combustible, influyen en la eficiencia de la combustión. Para el caso del carbón los requerimientos de temperatura durante un arranque en el cual la caldera esta a temperatura ambiente (0 – 15 [°C]), no son suficientes para permitir la combustión del mismo. Por esto se utiliza A.C.P.M., para producir el aporte de calor gradual y levantar las condiciones de temperatura en la caldera a tal punto de lograr iniciar y mantener la combustión del carbón, luego de un tiempo determinado.

La principal característica de este tipo de arranque es que todos los equipos de la caldera incluyendo paredes de tubos y ductos de aire, se encuentran en equilibrio térmico con el ambiente.

La secuencia de arranque se muestra en el Anexo 2, inicia con el encendido del grupo de ignitores⁸ 10, los cuales queman A.C.P.M. generando un flujo de gases constante. Mientras el quemador de A.C.P.M A2 entra en servicio, la temperatura del sobrecalentador se mantiene por debajo de 31°C, debido a que la energía de los gases está siendo usada para sacar al sistema del equilibrio. La energía liberada por el A.C.P.M. en el quemador A2 se suma al proceso y proporciona la cantidad necesaria para elevar constantemente la temperatura del sobrecalentador. Después de 2 horas aproximadamente la bomba del tanque de agua de alimentación entra en funcionamiento, la generación de vapor sobrecalentado se hace visible y los sistemas de calentamiento de agua empiezan a lograr condiciones de operación. En consecuencia el quemador A3 es puesto en operación, no sin antes disminuir al mínimo el flujo de combustible del quemador A2, para mantener al mínimo los esfuerzos que se generan en la tubería ante el cambio abrupto de temperatura. Por esto el incremento de la

⁸. El grupo 10 se refiere a los cuatro quemadores del primer nivel. Cada quemador posee un ignitor.

temperatura en esta etapa no debe superar 1.6 [°C/min] para los gases de combustión y 1.5 [°C/min] para el vapor sobrecalentado. Los requerimientos de calor siguen aumentando y con ello la entrada controlada de más ignitores y quemadores. A lo largo de seis horas los sistemas de precalentamiento y calentamiento del aire de combustión, alcanzan su estado normal de operación. En este punto el aire primario cumple con las condiciones requeridas para ejecutar su función de secado y transporte del carbón. De igual manera el aire secundario está listo para propiciar el ambiente requerido para garantizar el sostenimiento de una combustión adecuada del carbón.

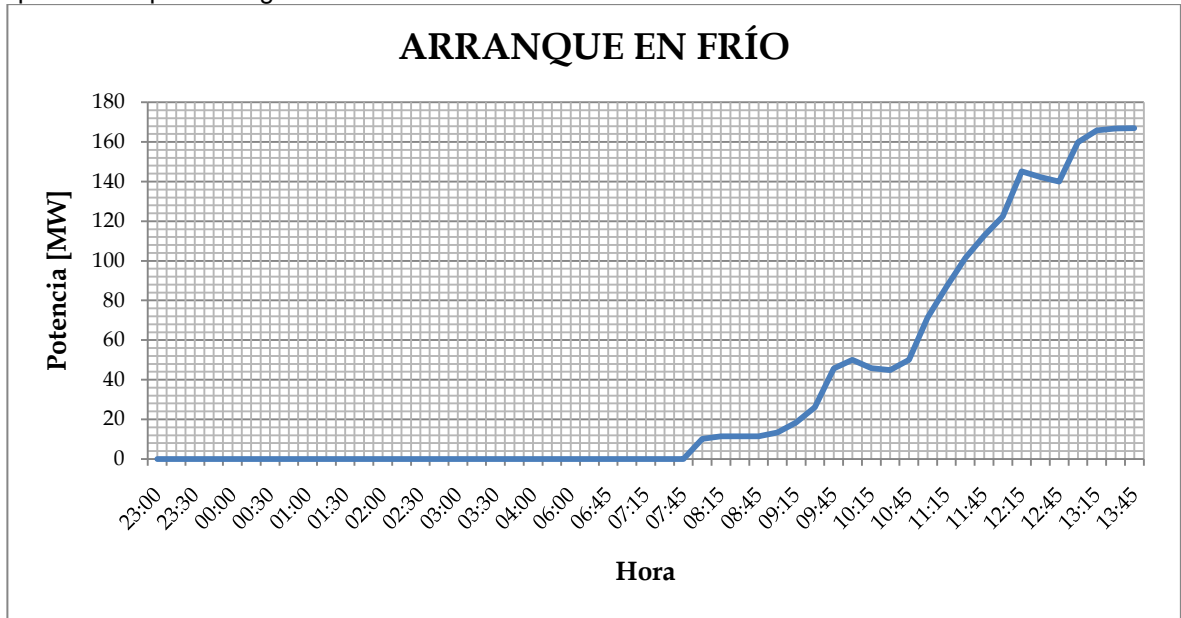
Bajo estas condiciones es puesto en operación el primer molino, sustituyendo así gradualmente el consumo de A.C.P.M.⁹ y aumentando en simultaneo el flujo de vapor generado con la calidad requerida para comenzar su inyección en la turbina e iniciar la secuencia de arranque de esta. En poco tiempo se alcanza la velocidad nominal de la turbina (3600 [rpm]) y la sincronización¹⁰ a la red nacional. Secuencialmente todos los molinos con sus correspondientes grupos de quemadores entran en funcionamiento para operar a máxima carga (165 MW).

En la Figura 14, se muestra el tiempo que dura un arranque típico realizado en junio de 2009 hasta alcanzar el estado de máxima carga. Al término de 8 horas aproximadamente el vapor posee la suficiente energía para mover la turbina y empezar con la generación de energía eléctrica.

⁹ La combustión de A.C.P.M. sigue acompañando las entradas en servicio del resto de quemadores manteniendo la reacción. En total el consumo de este combustible dura cerca de 8 horas

¹⁰ Alcanzar la frecuencia y la amplitud de onda en el voltaje, para entrar en fase con el sistema interconectado nacional.

Figura 14. Histórico de la potencia generada desde la hora cero del arranque hasta operación a plena carga.



2.3.2 Arranque en Tibio.

Como se observa en el Anexo 3, los criterios y parámetros de diseño a mantener son los mismos para cualquier tipo de arranque, solo que la secuencia de entrada y salida de servicio de los diferentes equipos cambia. La caldera se encuentra en un estado intermedio entre las condiciones de operación a plena carga (caliente) y las condiciones de arranque a temperatura ambiente (frío). Por consiguiente el tiempo total de arranque hasta la sincronización y el tiempo de suministro de A.C.P.M se reducen alrededor de 5 horas con respecto al arranque en frío.

La Figura 15, muestra el tiempo en que la generación de energía eléctrica toma lugar en un arranque en tibio realizado en Marzo de 2009.

Figura 15. Histórico de la potencia generada desde la hora cero del arranque hasta Operación a plena carga.



2.3.3 Arranque en Caliente.

Las condiciones en este tipo de arranque son menos exigentes, la caldera se encuentra caliente y por consiguiente la brecha térmica a superar es la más baja de todos los tres tipos. Como se observa en el Anexo 4, el consumo de A.C.P.M. se hace aún menor y el tiempo para la entrada en servicio de los molinos está alrededor de 1 hora.

2.4 NORMA ASME PTC-4

La norma hace referencia a dos tipos de eficiencia en unidades generadoras de vapor:

2.4.1 Eficiencia del Combustible

Para el cálculo de este tipo de eficiencia, se utiliza solamente el poder calorífico superior del combustible como única entrada de energía. Esta eficiencia es la utilizada por la gran mayoría de los fabricantes de calderas.

2.4.2 Eficiencia Neta

Para el cálculo de este tipo de eficiencia se utiliza como entrada el poder calorífico superior y las ganancias y pérdidas adicionales de calor. La norma ASME PTC 4 recomienda utilizar dos métodos de prueba para determinar la eficiencia de calderas generadoras de vapor que son:

- Método directo o de entrada-salida.
- Método indirecto o de pérdidas.

2.4.2.1 Método Directo o de Entrada – Salida.

El primer método consiste en medir directamente las entradas y salidas del equipo, el cual requiere las mediciones del poder calorífico superior, cantidad de combustible quemado, créditos y el calor absorbido por el fluido de trabajo. La entrada es definida como la energía química aportada por el combustible (poder calorífico superior) y la salida como el calor absorbido por el fluido de trabajo.

La eficiencia por el método directo es expresada por la siguiente ecuación:

$$\eta(\%) = \frac{\text{Calor absorbido por el fluido de trabajo}}{\text{Calor de combustión} + \text{Calor adicional por créditos}} \times 100$$

Este método se utiliza como primera y rápida aproximación para el cálculo de la eficiencia, aunque es necesario estabilizar las condiciones de la caldera para ajustar el punto de consigna, de modo que las comparaciones puedan hacerse en las mismas condiciones operativas.

2.4.2.2 Método Indirecto o de Pérdidas.

El segundo método consiste en medir directamente las pérdidas de calor, el cual requiere el análisis último del combustible, análisis de los gases de combustión, poder calorífico superior del combustible, etc. y datos de diseño y de equipo para su cálculo. La ventaja clave de este método es que indica donde están ocurriendo las pérdidas, haciendo posible la optimización de equipos y por consiguiente mejorar la eficiencia total del ciclo. Su desventaja es que son necesarios muchos datos y cálculos, lo cual aumenta el número de posibles fuentes de error.

La eficiencia por el método indirecto o método de pérdidas es expresada por la siguiente ecuación:

$$\eta(\%) = 100 - \frac{\text{Pérdidas totales de calor}}{\text{Calor de combustión} + \text{Calor adicional por créditos}} \times 100$$

En la mayoría de los casos, el método de pérdidas conlleva una incertidumbre total de prueba más baja porque las pérdidas medidas representan sólo una fracción pequeña de la energía total.

2.5 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor son dispositivos usados para la transferencia de calor entre dos o más fluidos. Las aplicaciones específicas se pueden encontrar en calefacción de locales, producción de potencia, recuperación de calor de desecho etc.

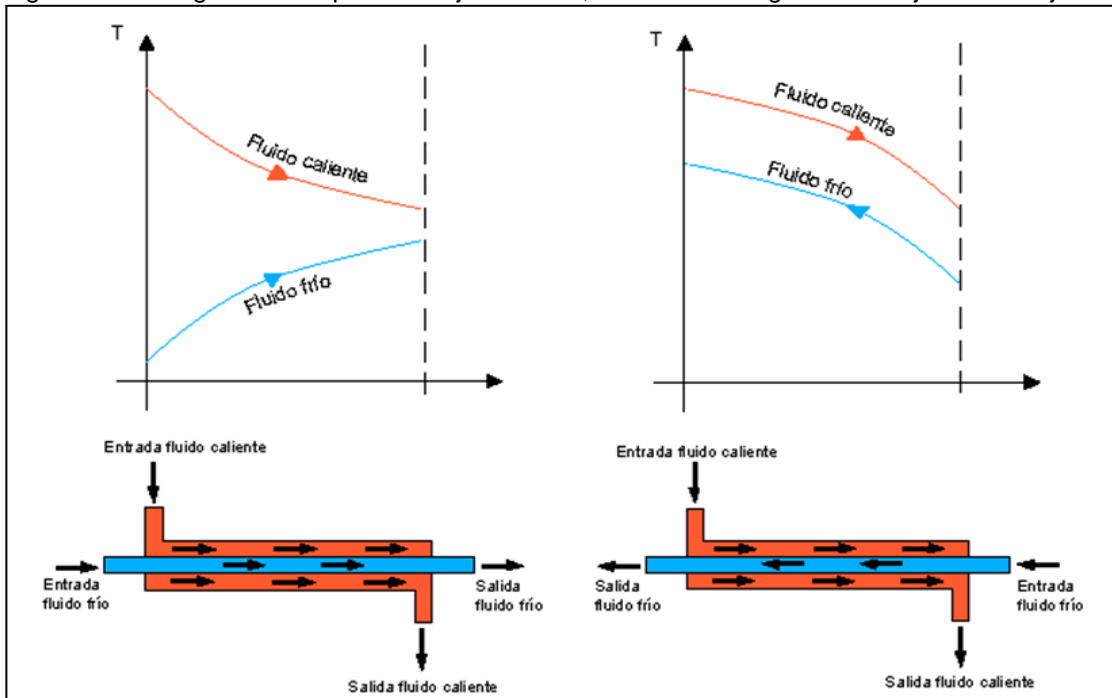
2.5.1 Tipos de Intercambiadores de Calor.

Los intercambiadores normalmente se clasifican de acuerdo con el arreglo del flujo y el tipo de construcción.

2.5.1.1 Arreglo de Flujo.

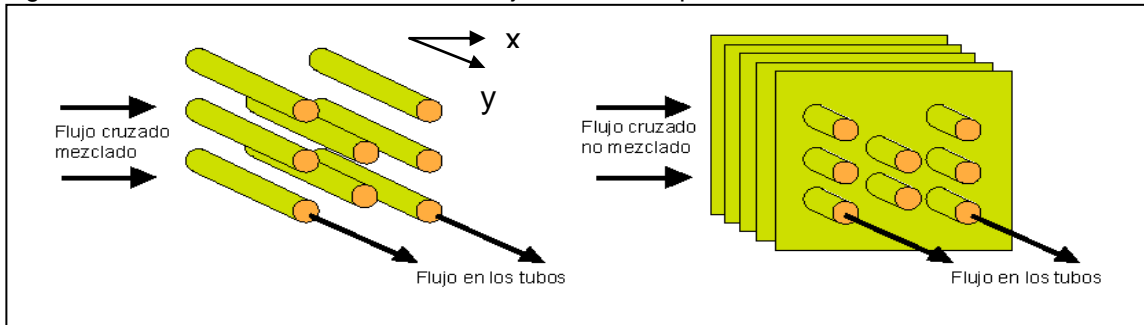
- **Flujo paralelo:** Los fluidos caliente y frío entran por el mismo extremo, fluyen en la misma dirección y salen por el mismo extremo. Figura 16a.
- **Contraflujo:** Los fluidos entran por extremos opuestos, fluyen en direcciones opuestas y salen por extremos opuestos. Figura 16b.
- **Flujo cruzado:** Los fluidos se mueven perpendiculares entre sí, esta configuración difiere según el fluido que se mueve sobre los tubos este mezclado o no mezclado.
- **Fluido Mezclado:** El fluido puede moverse en la dirección transversal y las variaciones de temperatura se producen, en principio, en la dirección del flujo principal. Figura 17a.
- **Fluido no Mezclado:** Las aletas impiden el movimiento del fluido en una dirección (y) que es transversal a la dirección del flujo principal (x). En este caso la temperatura del fluido varía con 'x' y 'y'. Figura 17b.

Figura 16. Configuración Izquierda Flujo Paralelo, Derecha Configuración Flujo Contraflujo.



Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank P. Incropera.

Figura 17. Intercambiadores de calor de flujo cruzado. Izquierda Mezclado, Derecha no Mezclado



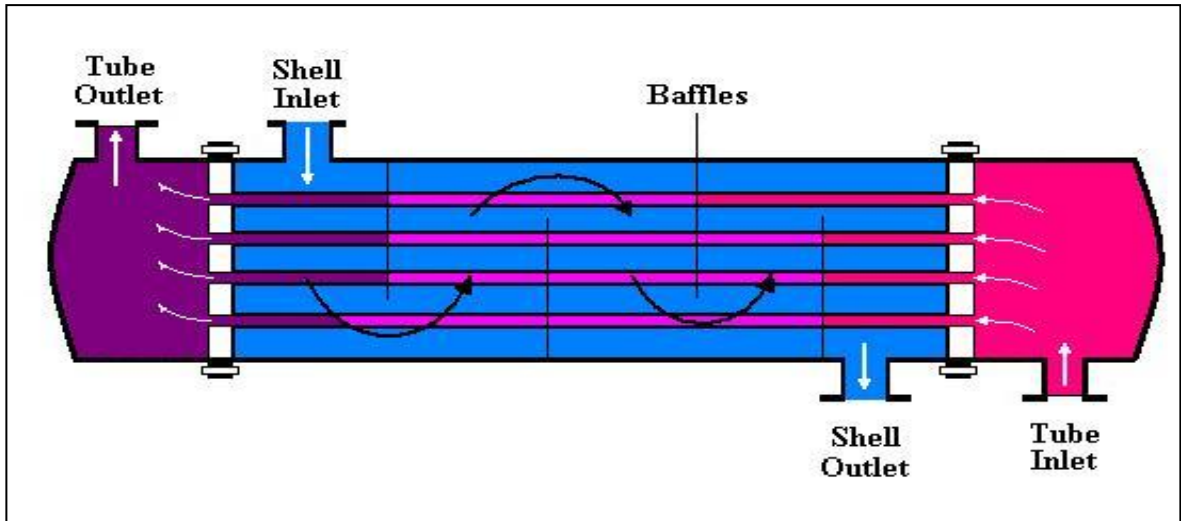
Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank P. Incropera.

2.5.1.2 Tipo de Construcción.

- **Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza:** Las formas específicas difieren de acuerdo con el número de pasos de tubos y coraza y la forma más simple que implica un solo paso por tubos y coraza se muestra en la Figura 18. Normalmente se instalan deflectores para aumentar el coeficiente de convección del fluido del lado de la coraza al inducir turbulencia y una componente de la velocidad de flujo cruzado. En las Figuras 19a. y 19b, se muestran intercambiadores de calor con deflectores con un paso por la coraza y dos pasos por los tubos y con dos pasos por la coraza y cuatro pasos por los tubos, respectivamente.

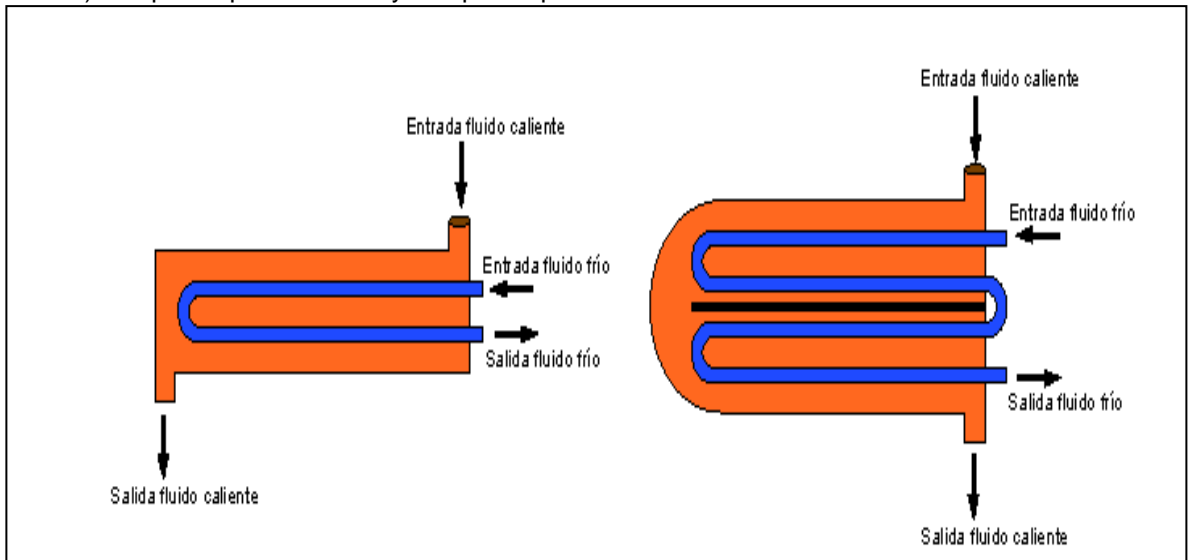
- **Intercambiadores de Calor Compactos:** Se usan para conseguir un área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen muy grande ($>700 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Estos dispositivos tienen complejos arreglos de tubos con aletas o placas y se usan normalmente cuando al menos uno de los fluidos es un gas, y en consecuencia se caracteriza por un coeficiente de convección pequeño. Los tubos pueden ser planos o circulares como en la Figura 20a y 20b, respectivamente, y las aletas pueden ser de placa o circular, como en las Figuras 20c. Los intercambiadores de calor de placas paralelas pueden ser con aletas lisas o corrugadas y se pueden usar en modos de operación de un solo paso o multipaso. Los pasos de flujo asociados con intercambiadores de calor compactos normalmente son pequeños ($D_h < 5\text{mm}$), y el flujo es por lo general laminar.

Figura 18. Intercambiador de calor de tubos y coraza con un paso por la coraza y un paso por los tubos.



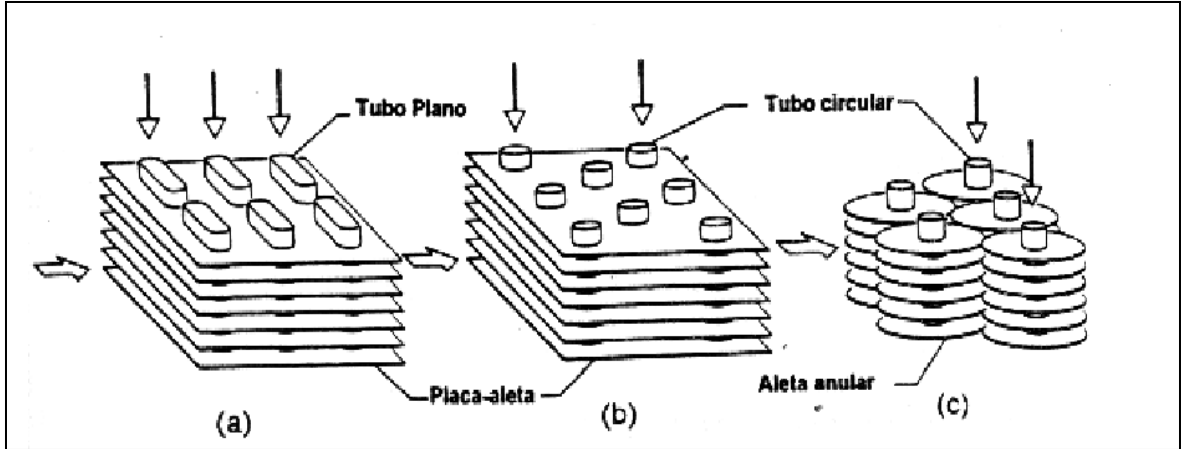
Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank P. Incropera

Figura 19. Intercambiador de calor de tubos y coraza. a) un paso por la coraza dos pasos por el tubo. b) dos pasos por la coraza y dos pasos por el tubo



Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank P. Incropera.

Figura 20. Cubiertas de intercambiador de calor compactos. a) Tubos con aletas (tubos planos, aletas de placas continuas. b) Tubo con aletas (tubos circulares, aletas de placas continuas). c) Tubo con aletas (tubos circulares, aletas de placas continuas).



Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank P. Incropera.

2.5.2 Análisis Térmico del intercambiador de calor.

2.5.2.1 Uso de la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica.

Para diseñar o predecir el rendimiento de un intercambiador de calor, es esencial relacionar la transferencia total de calor con cantidades tales como las temperaturas de entrada y salida del fluido el coeficiente global de transferencia de calor, y el área superficial total para transferencia de calor. Como ΔT varía con la posición en el intercambiador de calor, es necesario trabajar con una ecuación de flujo de la forma

$$q = UA \Delta T_m$$

Donde ΔT_m es una diferencia de temperaturas media apropiada.

2.5.2.1.1 Intercambiador de calor de flujo paralelo.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_1 = T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,i}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,o}$$

2.5.2.1.2 Intercambiador de Calor en Contraflujo.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_1 = T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,o}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,i}$$

2.5.2.1.3 Intercambiadores de Calor de Pasos Múltiples y de Flujo Cruzado.

Aunque las condiciones de flujo son más complicadas en los intercambiadores de calor de pasos múltiples y de flujo cruzado, las ecuaciones de los otros tipos de intercambiadores habitualmente se pueden usar si se hace la siguiente modificación a la diferencia de temperaturas media logarítmica:

$$\Delta T_{ml} = F \Delta T_{ml,CF}$$

Es decir, la forma apropiada de ΔT_{ml} se obtiene al aplicar un factor de corrección al valor de ΔT_{ml} que se calcularía bajo la suposición de condiciones de contraflujo.

2.5.2.2 Método de la Eficiencia-NTU.

Si solo se conocen las temperaturas de entrada, el uso del método DTML requiere un procedimiento iterativo. En tales casos es preferible utilizar un método alternativo, que se denomina método de eficiencia NTU.

Para definir la eficiencia de un intercambiador de calor, debemos determinar primero la transferencia de calor máxima posible, q_{max} , para el intercambiador. Esta transferencia de calor se puede alcanzar, en principio, en un intercambiador de calor de contraflujo de longitud infinita. En tal intercambiador, uno de los fluidos experimentarían la diferencia de temperaturas máxima posible,

$$T_{h,i} - T_{c,i}$$

$$q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i})$$

Donde C_{min} (capacitancia térmica de flujo $C_h = \dot{m}_h c_{p,h}$ o $C_c = \dot{m}_c c_{p,c}$) es igual a C_c o C_h la que sea menor. Entonces se define la eficiencia, ε , como la razón entre la transferencia real de calor para un intercambiador de calor y la transferencia de calor máxima posible:

$$\varepsilon \equiv \frac{q}{q_{max}}$$
$$\varepsilon \equiv \frac{C_h (T_{h,i} - T_{h,o})}{C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i})}$$

$$\varepsilon \equiv \frac{C_c (T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{\min} (T_{h,i} - T_{c,i})}$$

Por definición la eficiencia, que es adimensional, debe estar en el rango $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Es útil porque, si se conocen ε , $T_{h,i}$ y $T_{c,i}$ la transferencia real de calor se puede determinar fácilmente a partir de la expresión:

$$q = \varepsilon C_{\min} (T_{h,i} - T_{c,i})$$

Para cualquier intercambiador de calor se puede mostrar que:

$$\varepsilon = f\left(\text{NUT}, \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)$$

El número de unidades de transferencia (NTU) es un parámetro adimensional que se usa ampliamente para el análisis del intercambiador de calor y se define como:

$$\text{NTU} \equiv \frac{UA}{C_{\min}}$$

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

La energía almacenada en los combustibles fósiles es parte fundamental para la generación de energía eléctrica, por lo cual tiene gran influencia en el costo del proceso.

Como se dijo en los capítulos anteriores la Compañía Eléctrica de Sochagota hace uso de dos combustibles para su funcionamiento, el combustible primario o de operación normal (carbón) y el secundario o de arranque (A.C.P.M.). Hoy día el constante incremento en el precio de estos y la conciencia por la protección del medio ambiente, hace además de importante, necesaria la revisión y evaluación de todos los parámetros y sistemas que intervienen en el proceso de generación, con el fin de optimizar y reducir el consumo de recursos no renovables.

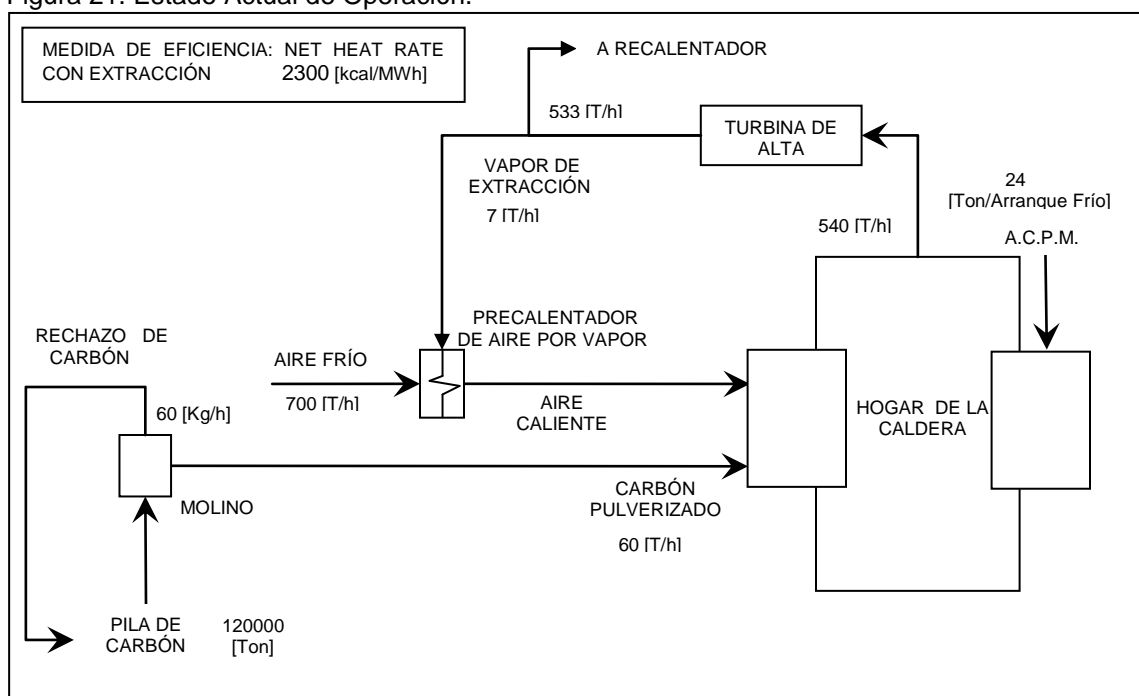
En concordancia con lo anterior, la evaluación y revisión de los procesos que involucra la operación, incluyendo el manejo de combustibles, permite identificar tres problemas que afectan directamente la eficiencia y el costo de generación de energía eléctrica. Estos problemas se identifican en la Figura 21.

3.1 PROBLEMA EN EL PROCESO DE PREPARACIÓN DEL CARBÓN

Como se estudio en el capítulo anterior, este proceso presenta dos etapas de trituración. La primera reduce el tamaño del carbón de 0-400 [mm] a 0-50[mm], y la segunda utiliza molinos de rodillo para pulverizar el combustible a un tamaño promedio de 75[μ m]. En esta última etapa se observa que una fracción del carbón

suministrado es rechazado¹¹ por los molinos, debido a las impurezas (pirita¹², piedras, etc.) y la variabilidad del combustible. Debido a la variabilidad en el origen, poder calorífico, pureza, tamaño etc., del carbón suministrado a Termopaipa IV, es inevitable que en el proceso de molienda surjan carbones muy duros es decir de bajo HGI¹³, los cuales, oponen una alta resistencia a la trituración, imposibilitando la reducción de estos al diámetro requerido.

Figura 21. Estado Actual de Operación.



Actualmente, este rechazo (carbón con pirita) es almacenado y transportado al patio de carbones donde se mezcla con el carbón sin procesar para ser recirculado, tratando de reducir el alto contenido de combustible inmerso en él.

¹¹ Este rechazo es comúnmente llamado carbón con piritas, debido a la alta concentración de este material que contiene.

¹² Pirita: Es un material del grupo de los sulfuros, cuya fórmula química es FeS_2 . Tiene un 53.4% de azufre y un 46.4% de hierro. Presenta alta abrasividad, insoluble en agua y magnética por calentamiento.

¹³ Hardgrove Grindability Index.

Está recirculación aumenta el desgaste en los rodillos, ya que el carbón con pirita presenta una alta dureza y abrasividad. El carbón que se logra desprender es mínimo y cada día el incremento de este carbón con pirita aumenta considerablemente (ver Tabla 1).

Tabla 1. Carbón de rechazo de los molinos en kilogramos.

AÑOMES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL [Kg]	PROMEDIO
2005	11570	6950	13330	27860	28300	22670	19990	23650	23865	22640	10010	40720	260555	21713
2006	80620	22470	28800	10120	11240	13120	21810	51120	60440	26240	28530	47230	401740	33478
2007	44830	43960	55160	38930	55460	42640	65950	95980	57410	40720	9220	45080	595340	49612
2008	40630	49130	64390	40190	45910	27020	21380	10500	17180	11190	2520	4680	334720	27893
2009	6100	17000	23650	18910	-	-	-	-	-	-	-	-	65660	16415
													SUMA	149111
													PROMEDIO MENSUAL	29822.2

3.2 PROBLEMA EN EL PROCESO DE ARRANQUE

La eficiencia en la combustión del carbón depende de la convergencia de varios factores como por ejemplo; el área de contacto con el oxígeno, el ambiente donde se va a llevar a cabo la combustión, la humedad en el combustible, entre otras. Para obtener las condiciones favorables para algunos de estos factores se requiere de temperaturas elevadas, las cuales en un arranque frío o tibio no se tienen. Como se nombro anteriormente el A.C.P.M. se utiliza como combustible en estos períodos, ya que su combustión es más sencilla, permitiendo de esta manera sortear estos problemas y acondicionar después de cierto tiempo el ambiente para iniciar y sostener una rata de combustión con carbón lo suficientemente grande para alcanzar operación a plena carga.

La Compañía Eléctrica de Sochagota se encuentra catalogada como gran consumidor de A.C.P.M. en la Tabla 2, se observa la amplia diferencia del costo por giga caloría entre este combustible y el carbón.

Tabla 2. Precios de los combustibles.

Combustible	Unidad	Jun-09
CARBON	[USD\$/Gcal]	6,0453
ACPM	[USD\$/Gcal]	73,7337

El mayor consumo de A.C.P.M. se presenta en el arranque en frío (23 [ton]), como se observa en el Anexo 2. Este consumo presenta una relación directa con las condiciones térmicas de la caldera. El consumo de este combustible disminuye a medida que la temperatura de la caldera se aleja por encima de la del ambiente, ya que el aire de combustión logra en menor tiempo las condiciones requeridas para preparar, transportar y lograr una combustión autosostenible del carbón. Este problema se identifica en la Figura 21.

3.3 PROBLEMA EN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO DEL AIRE DE COMBUSTIÓN

La demanda de carga térmica del aire en el calentador de aire por vapor varía constantemente, ya que esta depende de factores como la temperatura ambiente, el flujo de aire (según el estado de carga requerido por la caldera) y la temperatura de los gases a la salida del calentador de aire regenerativo. En la mayoría de casos la superficie de transferencia de calor en el calentador por vapor es demasiado grande para la demanda. Esto ocasiona que todo el calor latente se

transfiera antes de terminar el paso por los tubos, saliendo el condensado que debería ser saturado, subenfriado.

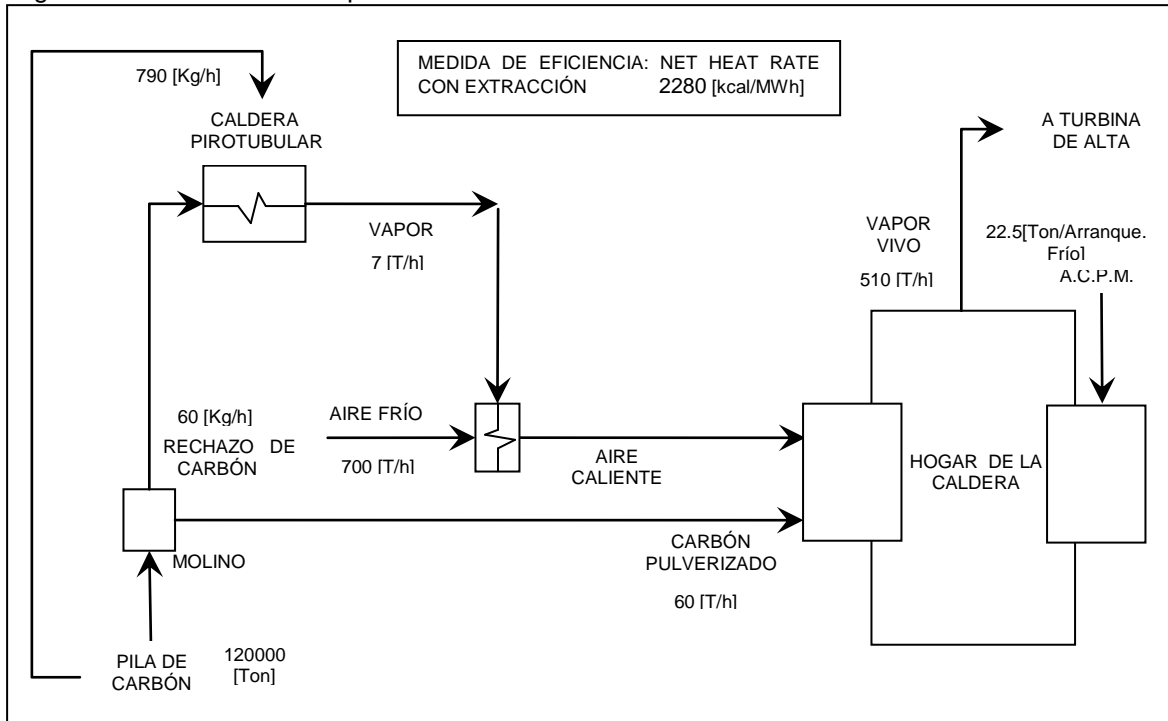
El diseño original del proceso vapor-agua del calentador de aire por vapor consistía en regresar al ciclo de la planta el condensado saturado que salía luego del intercambio de calor en este dispositivo, llevándolo directamente desde las estaciones de trampeo a la salida del calentador de aire por vapor hasta el tanque de agua de alimentación. El agua en este tanque viene de un proceso de recuperación de energía llegando a este punto en estado saturado, a una presión de trabajo igual a la que debería trabajar el calentador de aire por vapor.

Este diseño fue modificado debido al pobre funcionamiento del calentador de aire por vapor, ya que las condiciones de temperatura en condensado corresponde a las de líquido subenfriado las cuales son contraproducentes al diseño original de ciclo. Por esto, actualmente este condensado se retorna al ciclo por medio del tanque de condensados de la planta, disminuyendo la eficiencia del proceso al tener que recalentar de nuevo este agua. Este problema se identifica en la Figura 21.

3.4 SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS PLANTEADOS

Con el fin de reducir la recirculación del carbón con pirita a las pilas de carbón del patio de recibo, desgaste en los molinos y rechazo por presencia de piritas en el carbón, consumo de A.C.P.M. y la extracción de vapor auxiliar para fines de calentamiento, se propone la implementación de un sistema auxiliar. Este utilizará el carbón de rechazo de los molinos como fuente de energía en una caldera, la cual generará el vapor requerido por el calentador de aire por vapor para calentar el aire (Ver Figura 22).

Figura 22. Modificación – Implementación del Sistema Auxiliar.



Esta fuente de energía, además de proporcionar a la caldera principal condiciones térmicas favorables en un arranque, que resulten en la disminución del consumo de A.C.P.M., contribuirá al mejoramiento de la eficiencia del proceso en operación, ya que el vapor generado por el sistema principal no se extraerá para fines de calentamiento.

Este sistema trabajará en paralelo con el sistema actual de calentamiento de aire de combustión, formando parte del ciclo después de las paradas programadas o imprevistas de la planta y en los períodos de operación, cuando la temperatura del aire requerida a la entrada del calentador de aire regenerativo no se alcance.

Este trabajo de grado busca analizar la factibilidad de la implementación de un sistema auxiliar para los períodos de arranque (frío, tibio) y operación de la caldera principal de la Compañía Eléctrica de Sochagota S.A (Termopaipa IV).

3.4.1 Alternativa de Solución

Esta alternativa formará un ciclo auxiliar cerrado con los siguientes elementos:

- Elevador de Cangilones y Silo.
- Caldera Piro-tubular de Parrilla Viajera.
- Calentador de Aire por Vapor.
- Tanque de Agua de Alimentación Auxiliar.
- Bomba para el Agua de Alimentación.

La disposición de estos elementos en el sistema auxiliar se puede observar en la Figura 23 y 24. En el Anexo 6 y 7 se muestra el sistema acoplado al sistema principal.

Figura 23. Equipos del Sistema Auxiliar- Vista Lateral

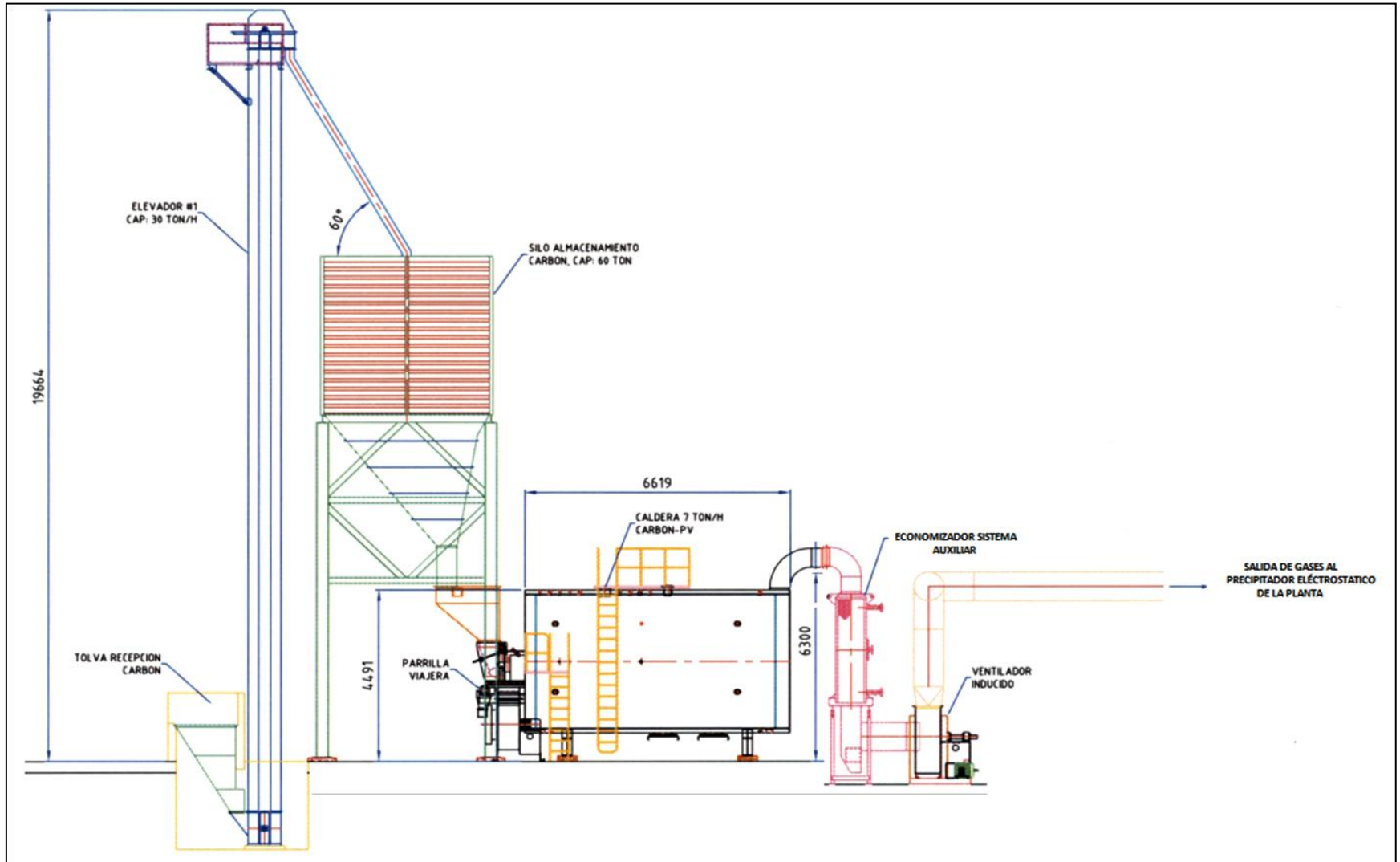
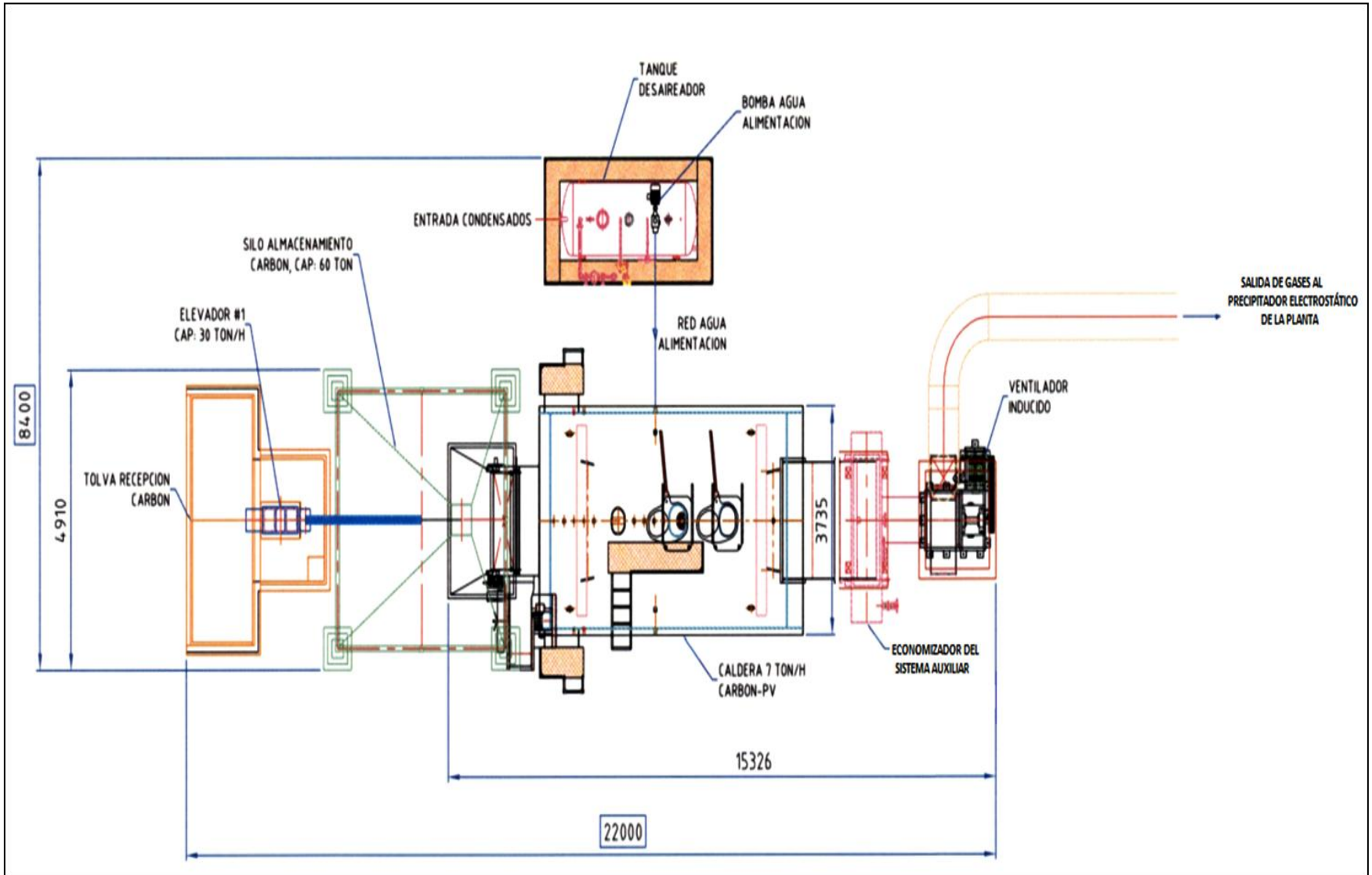


Figura 24. Equipos del Sistema Auxiliar- Vista Superior



3.4.1.1 Sistema Agua – Vapor

Como se observa en la Figura 25¹⁴, el tanque de agua de alimentación del sistema auxiliar es llenado con el agua proveniente del tanque de condensados de la planta. De ahí es conducido por la bomba de agua de alimentación hacia la caldera pirotubular, la cual quema el carbón de rechazo mediante una parrilla viajera, transfiriendo la suficiente energía al agua para generar vapor saturado a una presión de 10[bar]. Luego este es conducido hacia el calentador de aire por vapor, cumpliendo así, su función. El condensado saturado que sale del calentador de aire por vapor es regresado al tanque de agua de alimentación del sistema auxiliar, cerrando el ciclo.

3.4.1.2 Sistema Aire-Gases.

Los gases de combustión pasan a través de los tubos de la caldera pirotubular entregando gran parte de su energía al agua, sometiéndola a un proceso de cambio de fase. De allí son conducidos hacia la línea de gases de combustión de la caldera principal, antes del calentador de aire regenerativo, donde la presión se encuentra alrededor de -3 [bar] (ver Figura 25). Esta presión negativa junto con un ventilador de tiro inducido colocado a la salida de la caldera pirotubular logra este cometido. A partir de este punto siguen el proceso aire-gases de la caldera principal explicado en el capítulo anterior.

¹⁴ En el Anexo 5, se puede observar el plano en su tamaño original.

Figura 25. Sistema Agua- Vapor.

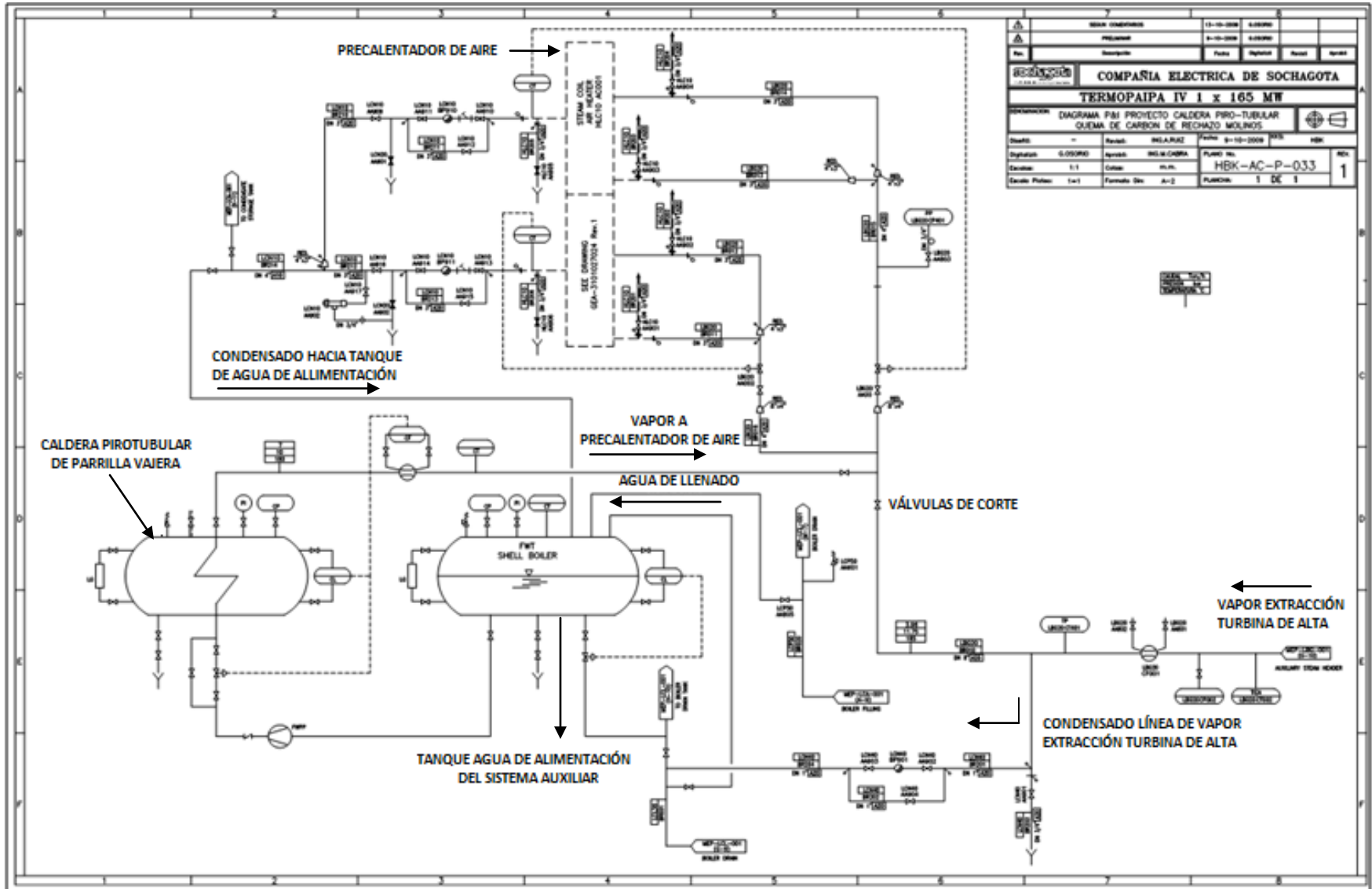
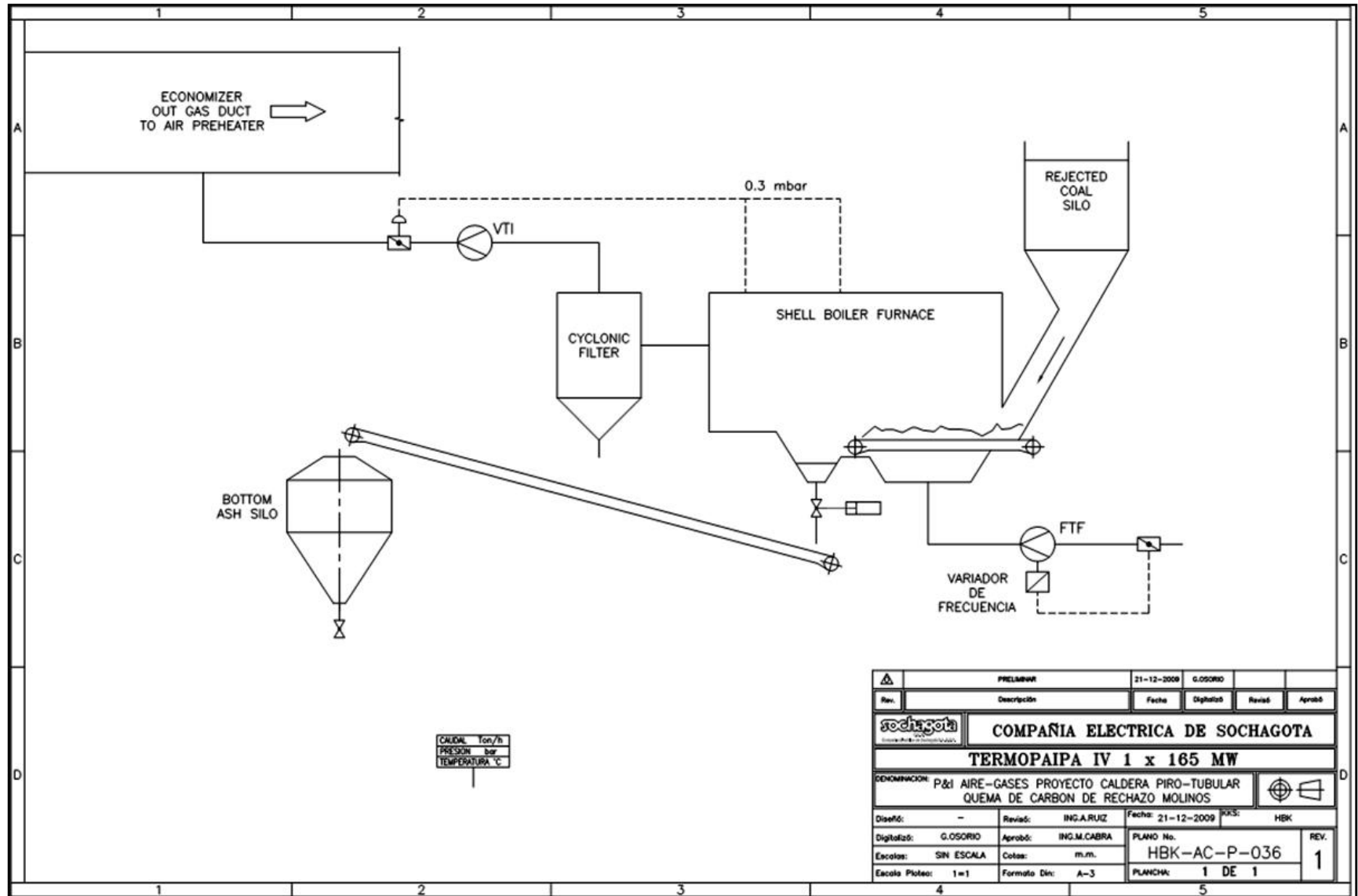


Figura 26. Sistema Aire-Gases



CAUDAL ton/h
 PRESION bar
 TEMPERATURA °C

PRELIMINAR	21-12-2009	G.OSORIO		
Rev.	Descripción	Fecha	Digitado	Revisó
 COMPANIA ELECTRICA DE SOCHAGOTA				
TERMOPAIPA IV 1 x 165 MW				
DENOMINACION: P&I AIRE-GASES PROYECTO CALDERA PIRO-TUBULAR QUEMA DE CARBON DE RECHAZO MOLINOS				
Diseño:	Revisó:	Fecha:	BOAS: HBK	
Digitado:	Aprobó:	PLANO No.		
Escalas:	Cotas:	HBK-AC-P-036		
Escala Ploteo:	Formato Din:	PLANCHA: 1 DE 1		
				REV. 1

3.4.1.3 Características de los Equipos y Selección.

3.4.1.3.1 Calentador de Aire por Vapor.

La selección de cada uno de los equipos involucrados en la alternativa depende del funcionamiento y las condiciones de trabajo a las que se ve sometido el calentador de aire por vapor (ver Figura 27-28-29). Por tal motivo se analizará la disposición de este equipo en los períodos de arranque y operación a plena carga, así mismo se evaluará su comportamiento mediante el cálculo del área de transferencia de calor requerida en diferentes puntos de operación, con el fin de corregir su mal funcionamiento.

➤ **Disposición en el Arranque en Frío.**

En las seis primeras horas de este arranque el precalentador de aire no participa activamente en el proceso de generación de energía eléctrica. Puesto que aunque la temperatura promedio está por debajo de 70 °C aún no se ha generado suficiente vapor para poder elevar la temperatura de 200 T/h más allá de 4°C (aproximadamente).

A medida que transcurre el tiempo, la caldera se aleja del equilibrio térmico con el ambiente, las condiciones para la sustitución del combustible de arranque se alcanzan y la generación de vapor aumenta. Por consiguiente el calentador de aire por vapor trabaja a máxima carga para un flujo de aire de 300 T/h logrando un incremento de temperatura de 50°C.

Figura 27. Pre calentador de Aire por Vapor, 1 módulo

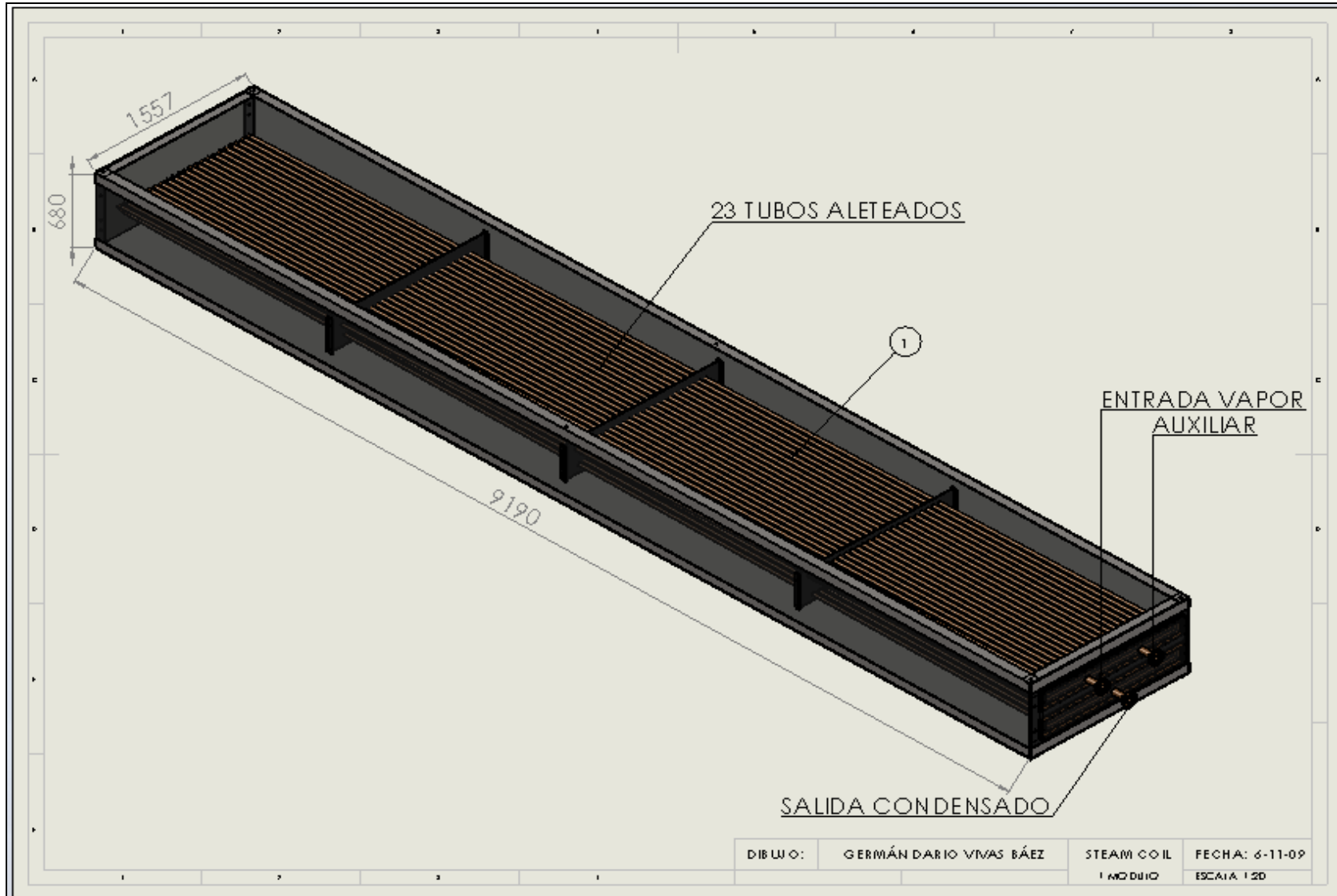


Figura 28. Configuración de las Aletas del Pre calentador de Aire por Vapor

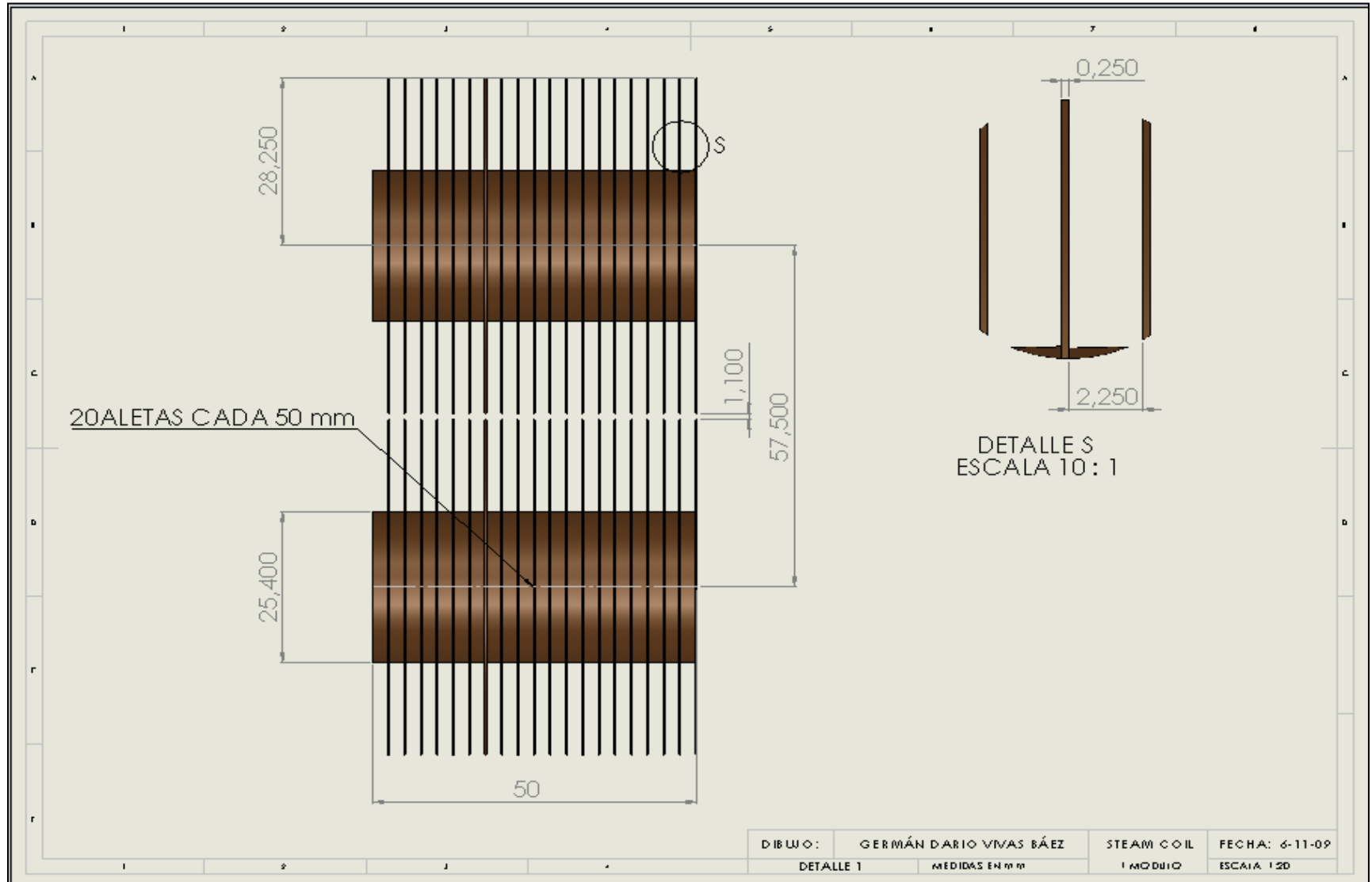
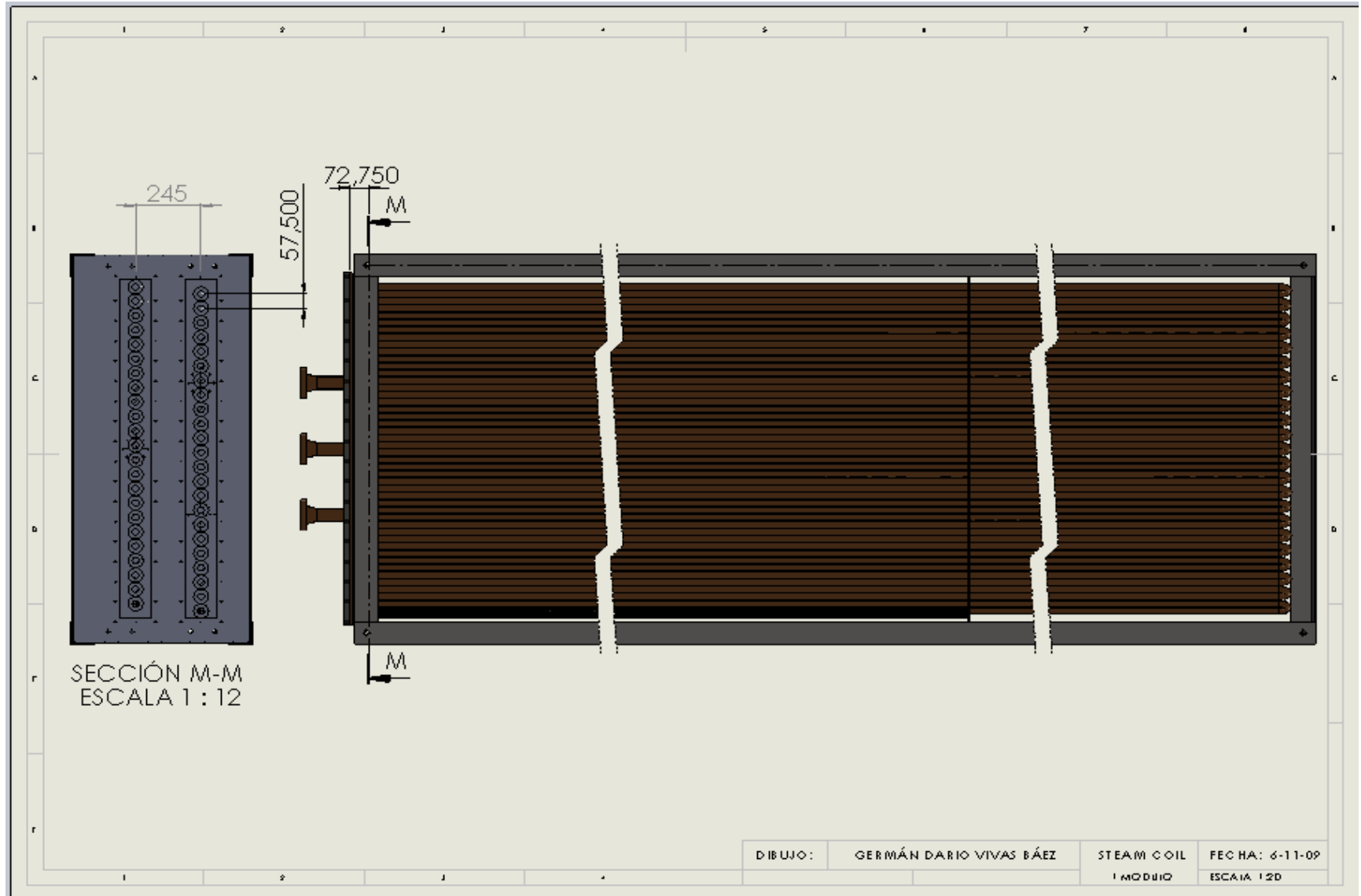
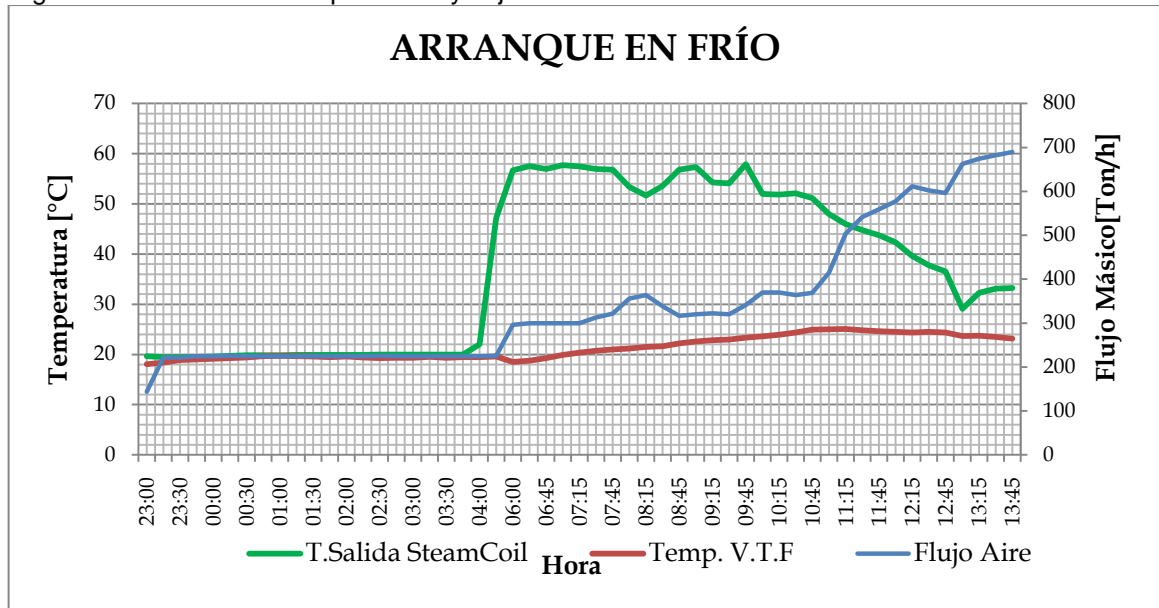


Figura 29. Precalentador de Aire por Vapor, Vista Superior



El incremento en la temperatura de los gases a la salida del calentador de aire regenerativo, es consecuencia de la entrada en servicio del total de quemadores y el correspondiente aumento del flujo de aire de combustión (700 T/h). Como se dijo anteriormente, cuando la temperatura de los gases tiende a 140°C el sistema de control actúa equilibrando el promedio de temperaturas y disminuyendo la entrada de vapor auxiliar, sacando parcialmente el calentador de aire por vapor de funcionamiento. Este comportamiento se refleja en el decaimiento de la temperatura del aire a la salida del calentador de aire por vapor en la Figura 31, a partir de las 5:00 de la mañana.

Figura 30. Histórico de temperaturas y flujo de aire de combustión.

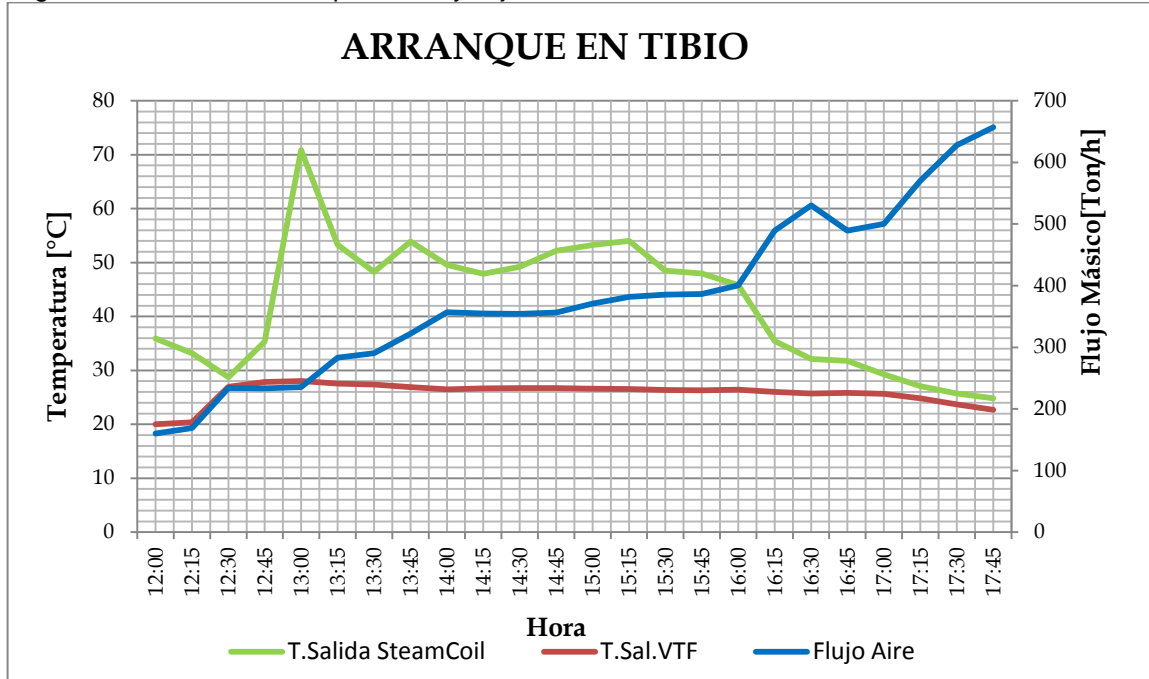


➤ **Disposición en el Arranque en Tibio.**

A pesar de que en este arranque la generación de vapor se da en un tiempo más corto, las condiciones de temperatura del calentador de aire por vapor no se logran mantener. Por esto la curva de la Figura 31, decae hasta el punto en que la

producción de vapor soporta la carga térmica demandada. Luego se observa un comportamiento similar pero en tiempos más cortos a los del arranque en frío.

Figura 31. Histórico de temperaturas y flujo de aire de combustión.



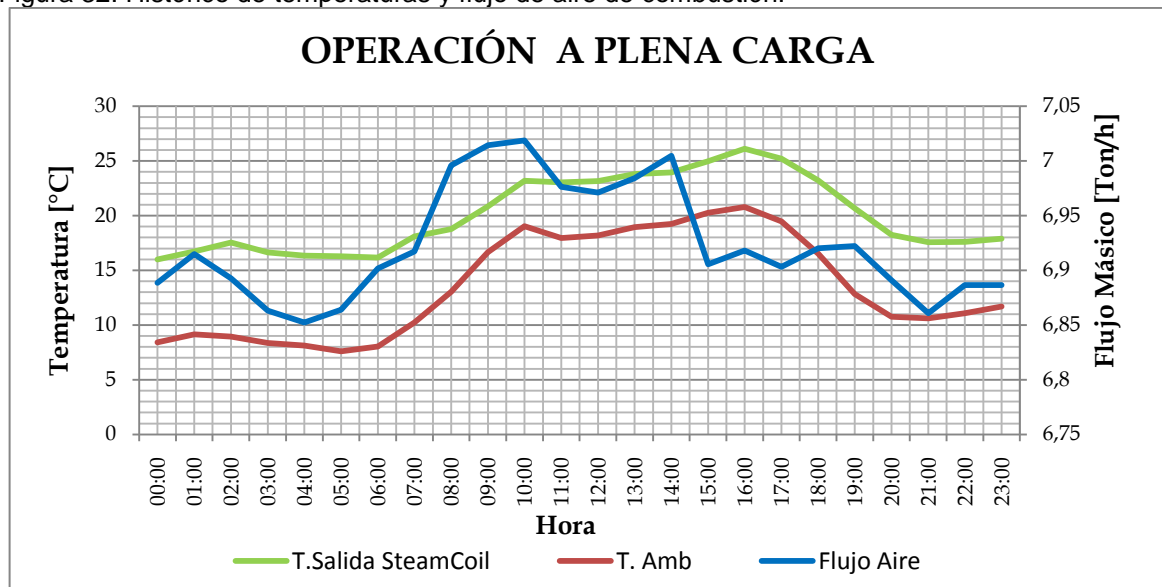
➤ **Disposición en Operación a Plena Carga.**

La participación del calentador de aire por vapor en las horas del día es relativamente pequeña, ya que los gases producidos en la combustión poseen la cantidad de energía adecuada para ser prácticamente autosuficientes. Esto aumenta la eficiencia del ciclo de generación de energía eléctrica, debido a que el flujo de vapor auxiliar que es conducido al precalentador es mínimo, permitiendo que el vapor generado se use en su mayoría para generar trabajo.

En las horas de la noche, cuando la temperatura ambiente baja, los gases de combustión pierden temperatura, requiriéndose el soporte del calentador de aire

por vapor. Al contrario de lo que sucede en los arranques, el flujo de aire es máximo y su requerimiento de temperatura no va más allá de unos cuantos grados centígrados como se muestra en la Figura 32.

Figura 32. Histórico de temperaturas y flujo de aire de combustión.

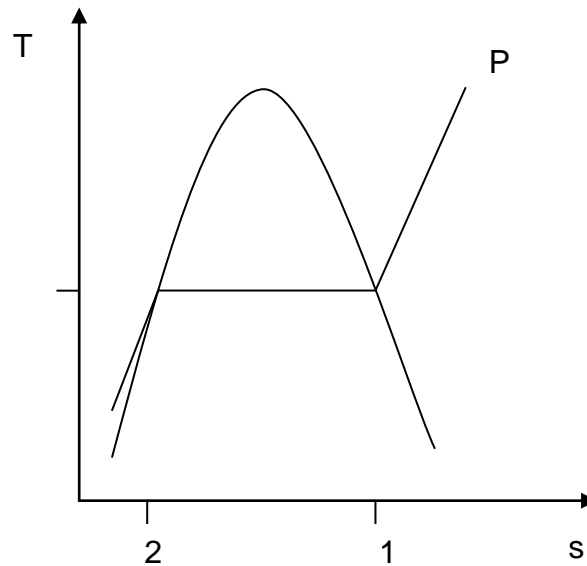


3.4.1.3.1 Programa Desarrollado para la Evaluación del Precalentador de Aire por Vapor

El comportamiento termodinámico ideal del calentador de aire por vapor se muestra en la Figura 33, el estado 1 representa la entrada de vapor saturado y el estado 2 representa la salida del condensado saturado.

El área de transferencia de calor se calcula con el fin de verificar el comportamiento del calentador de aire por vapor, debido a que cuando la demanda de calor es baja, la disminución del flujo de vapor no es suficiente para mantener el rango de operación en la zona de calor latente. Esto como consecuencia de un área demasiado grande.

Figura 33. Comportamiento Termodinámico.



Como se mostró en la sección anterior la carga térmica impuesta por el aire varía constantemente a lo largo de todo su período de operación, por esto para poder evaluar el área de transferencia de calor requerida en el calentador de aire por vapor, se desarrolló un programa de cálculo bajo la plataforma computacional Matlab. Este programa permite encontrar el flujo de vapor y el número de módulos que se requieren para mantener su funcionamiento dentro del rango anteriormente mencionado. Para esto, primero se explicará el programa y posteriormente se realizará el cálculo usando esta herramienta.

La Figura 34, muestra la interfaz del programa, la cual consta de cuatro secciones. La sección, "CONDICIONES DEL AIRE" permite al usuario registrar los parámetros ambientales del sitio y las condiciones del aire en las que se va a evaluar el calentador de aire por vapor, como lo son el flujo y las temperaturas de entrada y salida. La subsección "SERIE DE DATOS", permite encontrar los valores máximos de estas condiciones en un rango de datos ya sea de un arranque o de operación a plena carga, adquiridos mediante el botón "Importar Datos". Para esto se debe elegir entre cuatro tipos de datos, los cuales deben estar consignados en

un archivo con extensión .xls y estar ordenados como se muestra en la Tabla 3. El Tipo I, permite encontrar la máxima demanda de energía por parte del aire, realiza el cálculo del flujo de vapor y carbón requerido para satisfacer esa demanda y los registra en la sección “RESULTADO DE LA SERIE DE DATOS”, encuentra el flujo total de combustibles consumidos (A.C.P.M. y carbón) y el costo de estos en el rango datos. El Tipo II realiza lo mismo que el Tipo I, pero sin cálculo de costos de combustibles, y el Tipo III y IV, realiza un cálculo individual de costos de A.C.P.M. y Carbón respectivamente registrando el resultado en la sección “COSTO EN COMBUSTIBLES”.

El botón “CALCULAR” está ligado al cálculo del área de transferencia de calor del calentador de aire por vapor. Por esto para poder ejecutarlo se requiere primero establecer la geometría de este, en la interfaz que se muestra en la Figura 35, la cual se abre accionando el botón de la subsección “CALENTADOR DE AIRE POR VAPOR”. Esta sección y la sección “RESULTADOS” permite consignar y mostrar en cualquier línea de prueba, los valores calculados de flujo de calor demandado

Tabla 3. Tipos de Datos que Reconoce el Programa

PARÁMETRO	Hora	Temp. del Aire a la Salida del S.C.	Temperatura Ambiente	Flujo Aire	Temp. del Aire a la Entrada del S.C.	Flujo A.C.P.M	Flujo Carbón
UNIDAD	h:m:s	°C	°C	Ton/h	°C	Ton/h	Ton/h
TIPO I	1	2	3	4	5	6	7
TIPO II	1	2	3	4	5	-	-
TIPO III	1	-	-	-	-	2	
TIPO IV	1	-	-	-	-	-	2

Figura 34. Interfaz del Programa Desarrollado

The interface is titled "Condiciones del Aire" and is organized into several functional areas:

- CONDICIONES DEL AIRE (AMBIENTALES):** Includes input fields for "% Humedad" (60) and "Presion [bar]" (0.75), with a "Calcular" button.
- ESPECIFICADAS POR EL USUARIO O POR SERIE DE DATOS:** Includes input fields for "Flujo Masico [Kg/h]" (0), "Temperatura de Entrada [°C]" (0), and "Temperatura de Salida [°C]" (0).
- SERIE DE DATOS:** Includes a "CLASE DE DATOS" dropdown (TIPO I), an "Intervalo Toma Tiempo Datos [min]" field (0), and buttons for "Importar Datos", "REGISTRAR", and "Reset".
- RESULTADO DE LA SERIE DE DATOS:** Includes output fields for "Flujo de Vapor Max. [Kg/h]", "Flujo de Carbon [kg/h]", and buttons for "Flujo y Temperaturas" and "Suministro Combustibles".
- DEMANDA REQUERIDA POR EL AIRE:** Includes a "Prueba" dropdown (1), a "Vapor" input field (10 [bar]), and a table for "Carga Calentamiento Aire [KJ/h]", "Flujo Masico [Kg/h]", and "Flujo Masico Carbon [Kg/h]" for tests 1, 2, and 3.
- COSTO EN COMBUSTIBLES (Carbon):** Includes an "Analisis Ultimo" section with input fields for % C, % H2, % N2, % H2O, % S, % O2, Ceniza, % Exceso Aire, and "Efi. Caldera". It also includes fields for "Poder Calorifico [Kcal/h]", "Precio [USD\$/Gcal]", "CANTIDAD TOTAL [kg]", and "Costo [US\$]".
- STEAM COIL (GEOMETRIA):** Includes a "Capacidad T.C. Intercambiador [KJ/h]" and "Numero de Modulos Requeridos" input fields, with a "GEOMETRIA" button.
- A.C.P.M.:** Includes input fields for "Precio [USD\$/Gcal]", "Poder Calorifico [KJ/g]", "CANTIDAD TOTAL [kg]", and "Costo [US\$]".

At the bottom, there is a note: "Los datos de la serie deben estar consignados en un archivo de extension .xls En el siguiente orden:" followed by a "TIPO t:" dropdown menu.

por el aire, flujo de vapor saturado para calentar el aire, flujo de carbón para generar este vapor (mediante una caldera con una eficiencia registrada o calculada a partir del análisis último¹⁵), capacidad del intercambiador de calor y el número de módulos requeridos para suplir la demanda. Estos valores son calculados a partir de los datos que se registran en la subsección “ESPECIFICADO POR EL USUARIO O POR SERIE DE DATOS”.

Teniendo en cuenta lo anterior, el proceso de cálculo llevado a cabo por el programa para encontrar el área de transferencia se explicará a continuación, utilizando los datos de un arranque en frío típico, Tipo II.

¹⁵ Se calcula consignando los porcentajes de los elementos que contiene el carbón en la sección CARBÓN y asumiendo una temperatura de gases a la salida de la caldera.

Figura 35. Interfaz Geometría del Calentador de Aire por Vapor.

GEOMETRIA STEAM COIL			
Diametro Externo [mm]	25.4	Longitud Intercambiador [mm]	9100
Diametro Interno [mm]	20.58	Altura del Intercambiador [mm]	1557
Diametro Aleta [mm]	56.5	Numero de Tubos [mm]	23
Paso de Aletas [mm]	2.5	Distancia Transversal entre Tubos [mm]	67.68
Espesor de Aleta [mm]	0.25	Numero de Tubos Longitudinales [mm]	2
Numero de Aletas en la Unidad de Longitud.		Unidad de Longitud [mm]	25.4
Conductividad Tubos [W/m²K]	41	Conductividad Corrosion [W/m²k]	0.52
Scale[mm]	0.4	<input type="button" value="LISTO"/>	

Después de importar lo datos el programa encuentra el valor máximo de carga térmica exigido en este arranque, imprimiendo los valores de flujo y temperatura de aire que generan esta demanda. Para este caso estos valores se muestran a continuación:

- Flujo másico: $\dot{m}_a = 300 \left[\frac{T}{h} \right]$
- Temperatura de Entrada: $T_{ae} = 19 [^{\circ}C]$
- Temperatura de Salida: $T_{as} = 60 [^{\circ}C]$

Ya con estos datos registrados y luego de definir la geometría del calentador de aire por vapor y la eficiencia de caldera, se acciona el botón “CALCULAR”, ejecutando el código inmerso en él, siguiendo la base de cálculo que se muestra a continuación.

3.4.1.3.1.2 Determinación de la Capacidad de Transferencia de Calor del Precalentador de Aire por Vapor

La nomenclatura usada en este apartado se encuentra definida en el Anexo 11.

a. Propiedades del Aire.

- Temperatura promedio: $T_p = 39.5 \text{ [}^\circ\text{C]}$
- Presión Barométrica: $P_a = 750 \text{ [mbar]}$
- Viscosidad Dinámica: $\mu = 0.046 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft} \times \text{h}} \right]$
- Conductividad del Aire: $K_a = 0.0154 \frac{\text{[Btu]}}{\text{h} \times \text{ft} \times ^\circ\text{F}}$
- Calor específico: $C_p = 0.024 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h} \times \text{lb} \times ^\circ\text{F}} \right]$
- Número de Prandtl: $Pr = 0.725$
- Flujo de Calor: $Q_a = \dot{m}_a \times C_p \times (T_{as} - T_{ae})$
 $Q_a = 12386100 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{h}} \right]$

b. Propiedades del Vapor.

- ✓ Presión de entrada: $P_v = 10 \text{ [bar]}$
- ✓ Temperatura saturación: $T_s = 452.84 \text{ [°K]}$
- ✓ Entalpía de Vaporización: $H_{fg} = 2014 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$
- ✓ Carga Térmica: $Q_a = Q_v$
- ✓ Flujo másico: $\dot{m}_v = \frac{Q_v}{H_{fg}}$
 $\dot{m}_v = 6.3 \left[\frac{\text{T}}{\text{h}} \right]$

c. Cálculo de las Áreas del Calentador de Aire por Vapor.

Teniendo en cuenta la geometría dada en la Tabla 4, y la disposición en las Figuras 27, 28 y 29, se calculan las áreas de transferencia de calor para los dos fluidos.

- ✓ Área de la Base: Es el área superficial exterior del tubo libre de aletas que está en contacto con el fluido frío (Aire).

$$A_b = D_e \times \pi \times (L_u - t_f \times N_f)$$

siendo L_u Longitud Usada: 1 in

Tabla 4. Dimensiones del Calentador de Aire por Vapor.

ELEMENTO	[mm]	[in] ≈	ELEMENTO	[mm]	[in] ≈
Diámetro Externo Tubo	$D_e = 25.4$	1	Número de Módulos	$N_m = 2$	2
Diámetro Interno Tubo	$D_i = 20.58$	0.81	Pasos por los Tubos	$P_T = 2$	2
Diámetro de Aleta	$D_f = 56.5$	2.224	Longitud del Intercambiador	$L = 9190$	361.81
Paso entre Aletas	$s = 2.5$	0.098	Altura del Intercambiador	$H = 680$	26.77
Espesor Aleta	$t_f = 0.25$	0.0098	Profundidad del Intercambiador	$Z = 1557$	21.92
Número de Aletas en 1" de longitud	$N_f = 10.16$	10.16	Longitud de los Tubos 1 Paso:	$L_T = 9120$	359.05
Número de Tubos	$N_T = 23$	23	Altura de Aleta	$H_f = 15.55$	0.6122

Entonces el área en una pulgada es:

$$A_b = 2.82 \text{ [in}^2\text{]}$$

y el área en un ft de longitud será:

$$A_b = 33.92 \left[\frac{\text{in}^2}{\text{ft}} \right]$$

Área de Aleta: Es el área superficial de las aletas que hay en una pulgada de longitud.

$$A_f = 2 \times \frac{\pi \times (D_f^2 - D_e^2)}{4} \times N_f$$

$$A_f = 62.97 \text{ [in}^2\text{]}$$

El área por unidad de longitud [ft]:

$$A_f = 756.08 \left[\frac{\text{in}^2}{\text{ft}} \right]$$

- Área Interna: Es el área superficial que está en contacto con el fluido caliente (Vapor de Agua).

$$A_i = 2 \times \pi \times D_i \times L_u$$

$$A_i = 2.545 \text{ [in}^2] \approx 0.0177 \text{ [ft}^2]$$

El área por unidad de longitud [ft]:

$$A_i = 0.2121 \left[\frac{\text{ft}^2}{\text{ft}} \right]$$

- Área Externa Total: Es el área total de transferencia de calor del tubo aleteado que está en contacto con el fluido frío.

$$A_o = A_b + A_f$$

$$A_o = 790.01 \left[\frac{\text{in}^2}{\text{ft}} \right]$$

- Área de Flujo: Es el área transversal efectiva por donde el flujo de aire atraviesa el arreglo de tubos. En otras palabras es el área transversal del intercambiador, menos el área transversal proyectada de los tubos.

$$a_s = L \times Z - N_T \times L(D_e + 2 \times t_f \times H_f \times N_f \times)$$

$$a_s = 12712.32 \text{ [in}^2] \approx 88.28 \text{ [ft}^2]$$

d. Coeficiente de Convección Externo (h_f).

- Masa Velocidad:

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

Siendo W el flujo de aire que pasa por un módulo del intercambiador.

$$G_s = 3741 \left[\frac{\text{lb}}{\text{h} \times \text{ft}^2} \right]$$

- Perímetro Proyectado:

$$PP = 4 \times H_f \times N_f \times L_u + 2 \times L_u (1 - N_f \times t_f)$$

$$PP = 26.68 \text{ [in}^2\text{]}$$

Ahora por unidad de longitud [ft]:

$$PP = 320.16 \left[\frac{\text{in}^2}{\text{ft}} \right]$$

- Diámetro Equivalente:

$$d_e = \frac{2 \times (A_f + A_b)}{\pi \times PP}$$

$$d_e = 0.1309 \text{ [ft]}$$

- Número de Reynolds:

$$Re_s = \frac{d_e \times G_s}{\mu}$$

$$Re_s = 10583$$

- Factor de Transferencia de Calor para Tuberías y Tubos Aleteados:

De la Figura 36. Se obtiene J_f entrando con el número de Reynolds y cortando la curva 'a'.

$$J_f = \frac{h_f \times D_e}{K} \times \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

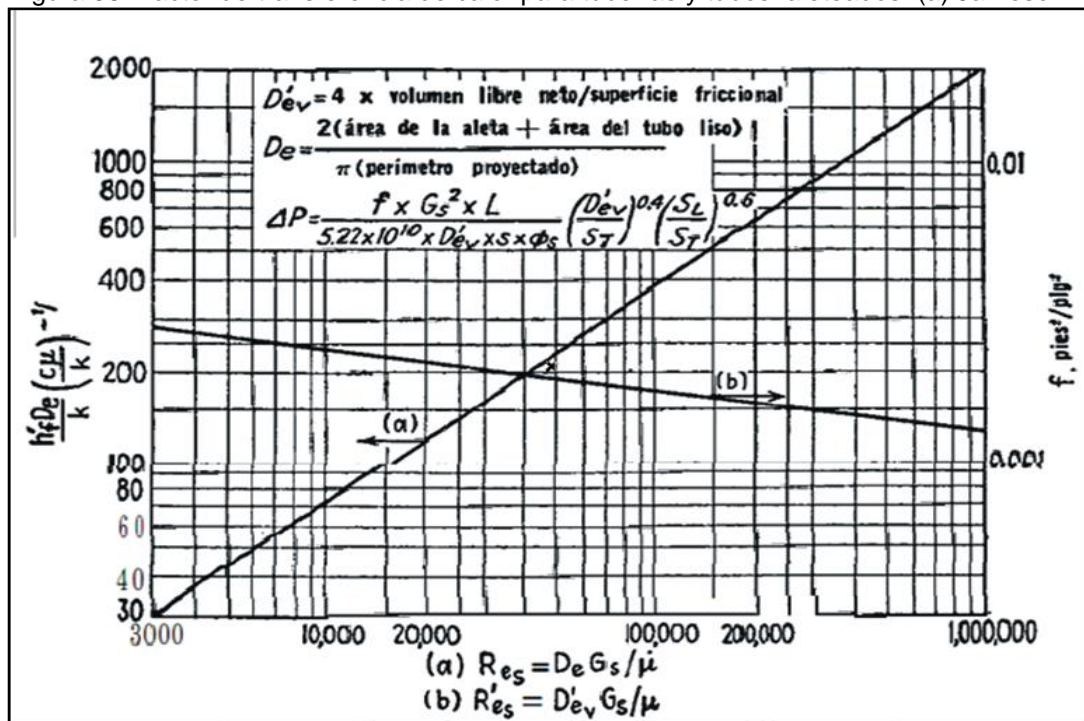
$$J_f = 76.42$$

Luego despejando h_f se tiene:

$$h_f = \frac{J_f \times K}{D_e} \times \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

$$h_f = 8.07 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \times \text{h} \times ^\circ\text{F}} \right]$$

Figura 36. Factor de transferencia de calor para tuberías y tubos aleteados. (a) Jameson.



Fuente: Procesos de Transferencia de Calor, Donald Q. Kern.

- Factor de obstrucción para aire industrial:

$$R_{do} = 0.002 \left[\frac{h \times ft^2 \times ^\circ F}{Btu} \right]$$

$$h_{do} = \frac{1}{R_{do}}$$

$$h_{do} = 500 \left[\frac{Btu}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right]$$

$$h'_f = \frac{h_{do} \times h_f}{h_f + h_{do}}$$

$$h'_f = 7.94 \left[\frac{Btu}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right]$$

- Eficiencia de Aleta:

En la Figura 37. Encontramos graficados los valores correspondientes a la eficiencia. Cortando la curva

$$(r_e/r_b) = 2.224$$

Con el valor del producto $(r_e - r_b) \sqrt{h'_f / K_a} \times y_b$

Siendo y_b la mitad del ancho de la aleta en pies

$$y_b = 8.2 \times 10^{-4} [ft]$$

Entonces

$$(0.0926 - 0.0416) \sqrt{7.94 / 23.68} \times 8.2 \times 10^{-4} = 1.031$$

Obtenemos el parámetro deseado:

$$\Omega = 0.62$$

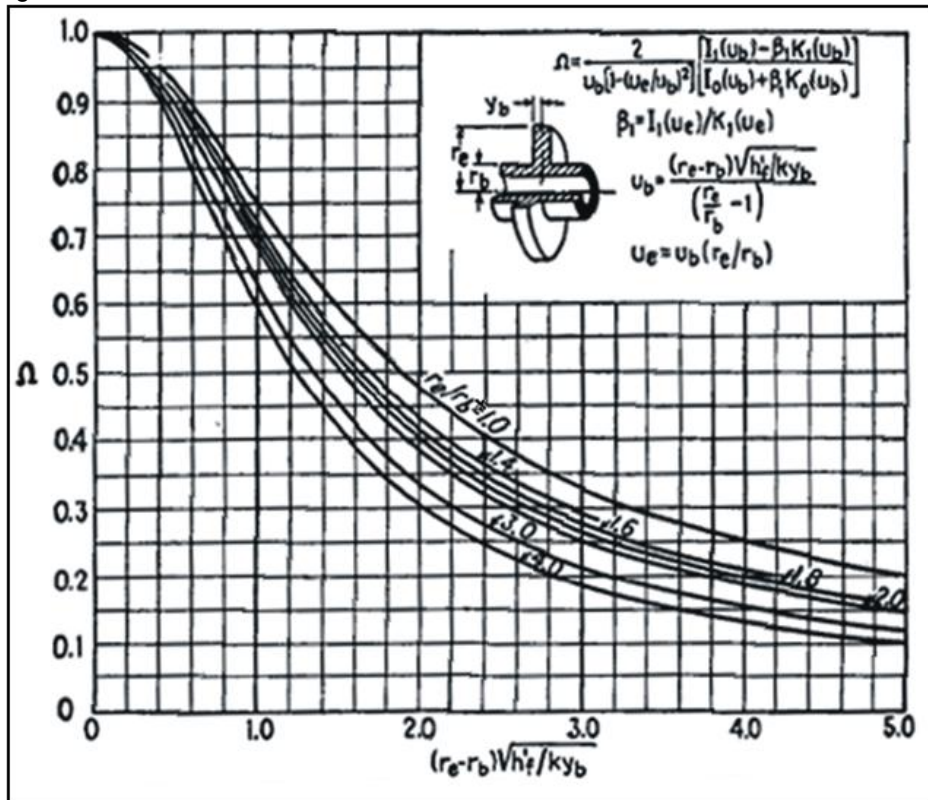
El coeficiente de convección se corrige de dos formas, la primera debido a la resistencia de la aleta y la segunda a la superficie interna del tubo.

$$h'_{fi} = (\Omega \times A_f + A_b) \times \frac{h'_f}{A_i}$$

$$h'_{fi} = \left(0.62 \times \frac{756.08}{144} + \frac{33.92}{144} \right) \times \frac{7.94}{0.2121}$$

$$h'_{fi} = 132.32 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h} \times \text{ft}^2 \times ^\circ\text{F}} \right]$$

Figura 37. Eficiencia de Aleta.



Fuente: Procesos de Transferencia de Calor, Donald Q. Kern.

e. Coeficiente de Convección Interno (h_i).

El vapor que entra a los tubos a medida que transfiere calor al aire se puede condensar en dos formas regidas por el número de Reynolds. Las dos correlaciones que satisfacen el fenómeno de condensación de película que se lleva a cabo dentro los tubos horizontales se muestra a continuación.

Si

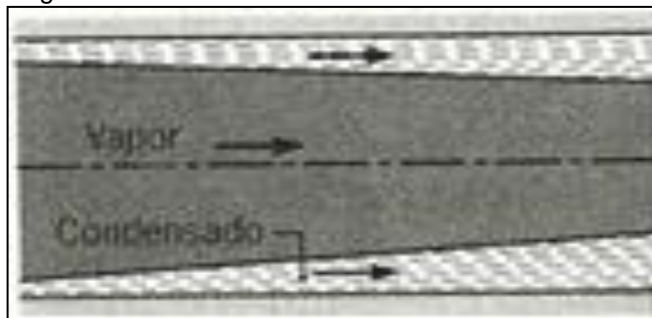
$$Re_v = \frac{D_i \times G_v}{\mu_v} > 20000 \quad \wedge \quad Re_l = \frac{D_i \times G_l}{\mu_l} > 5000$$

Entonces la condensación se lleva a cabo como se muestra en la Figura 26.

$$h_i = \frac{0.026 \times K_l \times Pr_l^{\frac{1}{3}}}{D_i} \left[\frac{D_i}{\mu_l} \left(G_v \times \frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{\frac{1}{2}} + G_l \right]^{0.8}$$

Las velocidades de masa para el líquido G_l y el vapor G_v se calculan como si cada una de ellas ocupara toda el área.

Figura 38. Condensación de Película a altos números de Reynolds.



Fuente: Film Condensation, Rohsenow.

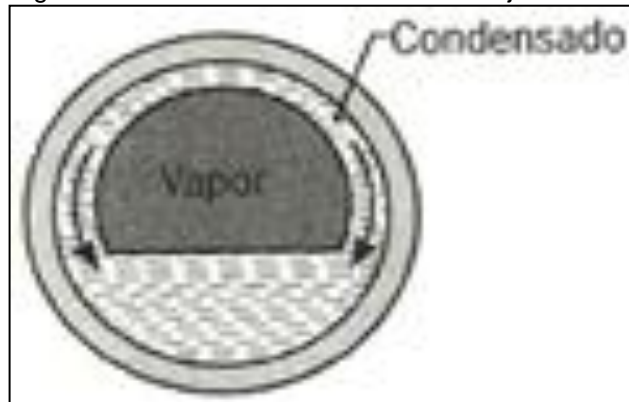
Ahora si

$$Re_v > 3500$$

Entonces la condensación se lleva a cabo como se muestra en la Figura 27.

$$h_i = 0.555 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) K_l^3 h'_{fg_i}}{\mu_l (T_{sat} - T_s) D_i} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Figura 39. Condensación de Película a bajos números de Reynolds.



Fuente: Fuente: Film Condensation, Rohsenow.

Para este caso entonces:

$$h_i = \frac{0.026 \times K_l \times Pr_l^{\frac{1}{3}}}{D_i} \left[\frac{D_i}{\mu_l} \left(G_v \times \frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{\frac{1}{2}} + G_l \right]^{0.8}$$

$$h_i = 400.54 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h} \times \text{ft}^2 \times ^\circ\text{F}} \right]$$

f. Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

- Resistencia Térmica Total.

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + R_{scale}$$

$$R_T = 0.0131 \left[\frac{\text{h} \times \text{ft}^2 \times ^\circ\text{F}}{\text{Btu}} \right]$$

$$U_i = \frac{1}{R_T}$$

$$U_i = 76.60$$

- Temperatura Media Logarítmica

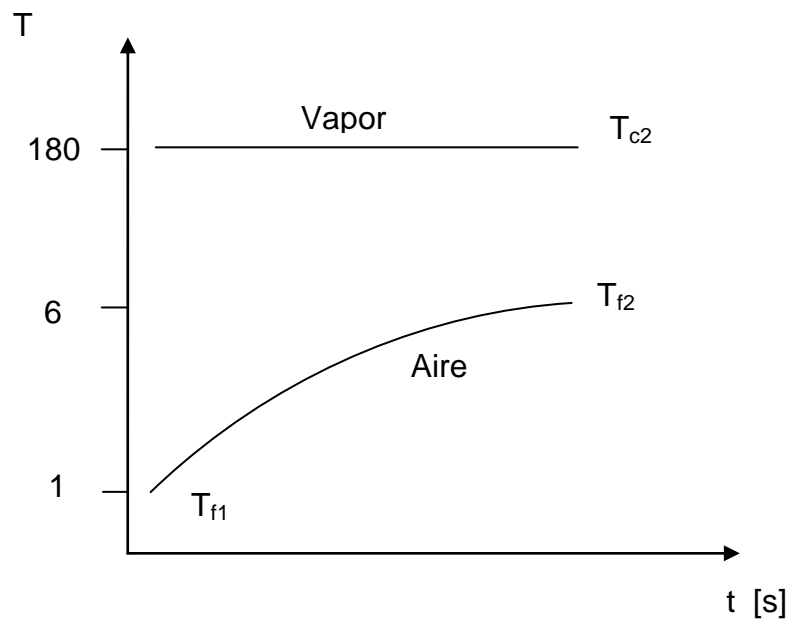
$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$$

$$\Delta T_1 = T_{c,1} - T_{f,1}$$

$$\Delta T_2 = T_{c,2} - T_{f,2}$$

$$LMTD = 250.86 [^\circ\text{F}]$$

Figura 40. Diferencia de Temperatura Media logarítmica.



Área de Transferencia Requerida para el proceso:

$$A_i = \frac{Q_v}{U_i \times LMTD}$$

$$A_i = 582.6323 [ft^2]$$

Entonces el número de módulos son:

$$A_{i,1mod} = 291.3161[ft^2]$$

$$N_m = \frac{A_i}{A_{i,1mod}}$$

$$N_m = 2.19$$

Cuando el programa realiza todo el cálculo imprime el resultado en la interfaz principal como se muestra en la Figura 41.

3.4.1.3.1.3 Ajuste de los Parámetros de Operación

Como se estableció en la sección anterior el calentador de aire por vapor fue diseñado para las condiciones máximas, sin embargo su funcionamiento presenta problemas cuando está trabajando por debajo de estas condiciones. Por esto el ajuste del área de transferencia de este equipo se logra si se aprovecha el hecho que el calentador de aire por vapor se conforma de dos módulos independientes, cada uno de los cuales puede ser aislado a la mitad. Esto con el fin de acercar su funcionamiento a la zona de saturación, en todo su período de operación.

Figura 41. Resultados Arrojados por el Programa.

Condiciones del Aire.

CONDICIONES DEL AIRE

AMBIENTALES

% Humedad: 60 Presion [bar]: 0.75 **Calcular**

ESPECIFICADAS POR EL USUARIO O POR SERIE DE DATOS

Flujo Masico [Kg/h]: 299570 Temperatura de Entrada [°C]: 18.51 Temperatura de Salida [°C]: 59.44

SERIE DE DATOS

CLASE DE DATOS: TIPO II **Importar Datos** Intervalo Toma Tiempo Datos [min]: 15

REGISTRAR **Reset**

RESULTADO DE LA SERIE DE DATOS

Flujo de Vapor Max. [Kg/h]: 6130.89 Flujo de Carbon [kg/h]: 4837.41 **Flujo y Temperaturas**

Suministro Combustibles

DEMANDA REQUERIDA POR EL AIRE

Prueba: 1 Vapor: 10 [bar]

Carga Calentamiento Aire [KJ/h]: 1.23472e+007 Flujo Masico [Kg/h]: 6130.89 Flujo Masico Carbon [Kg/h]: 608.842

1	1.23472e+007	6130.89	608.842
2			
3			

STEAM COIL

GEOMETRIA

Capacidad T.C. Intercambiador [KJ/h]: 1.124e+007 Numero de Modulos Requeridos: 2.19702

COSTO EN COMBUSTIBLES

Carbon

Analisis Ultimo	
% C	46.21
% H2	3.45
% N2	0.99
% H2O	1.7
% S	9.78
% O2	2.27
Ceniza	35.6
% Exceso Aire	15
Efi. Caldera	88.27

Poder Calorifico [Kcal/h]: 4847

Precio [USD\$/Gcal]:

CANTIDAD TOTAL [kg]:

Costo [US\$]:

A.C.P.M

Precio [USD\$/Gcal]: 0

Poder Calorifico [KJ/Kg]: 0

CANTIDAD TOTAL [kg]:

Costo [US\$]:

Hora (hh:mm:ss) Temperatura del aire a la salida del Steam Coil (°C) Temperatura ambiente (°C)

3.4.1.3.2 Caldera Piro tubular de Parrilla Viajera.

Se elige este tipo de caldera, primero, debido a que el sistema de parrilla viajera permite una alta eficiencia en la combustión de carbón no pulverizado. Por lo tanto el combustible de rechazo que se dispone (ver Tabla 5) no necesita someterse a un proceso adicional para ser quemado. Segundo, al ser piro tubular, satisface la demanda de vapor con las condiciones que requiere el calentador de aire por vapor (saturado a 10 [bar]). Además de esto, la disposición en el mercado nacional es alta y su costo es bajo en comparación con otro tipo de calderas.

Tabla 5. Características del Carbón de Rechazo.

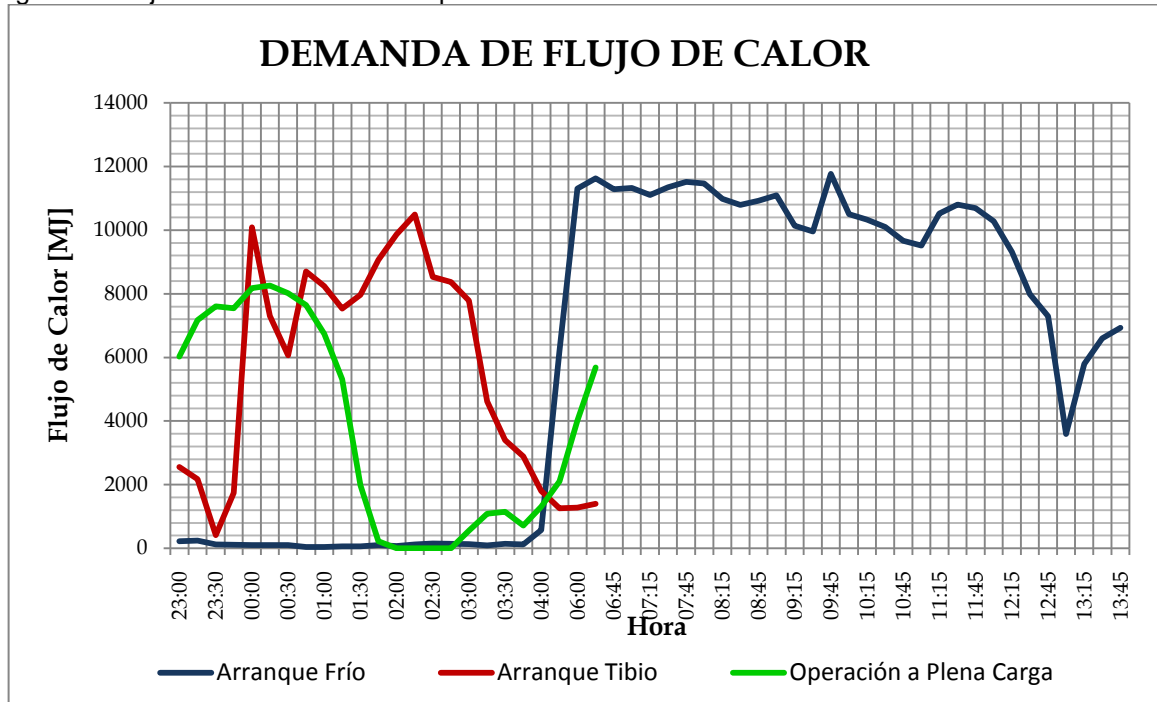
Tipo de Combustible	Características del Combustible	
Carbón	Poder Calorífico [Kcal/Kg]	4847
	Carbono	46.21
	Hidrógeno	3.45
	Nitrógeno	0.99
	Cenizas % en peso	35.6
	Volátil % en peso	35.76
	Humedad % en peso	1.7
	Azufre % en peso	9.78
	Oxígeno	2.27
	Granulometría	<30mm Ø

3.4.1.3.2.1 Determinación del Flujo de Vapor Requerido

Este sistema pretende generar el vapor para suplir la demanda de calor impuesta por el aire, evitando la extracción de vapor generado por el sistema principal. Por tal motivo las condiciones máximas de operación de este equipo se determinan según la mayor demanda térmica a lo largo de las tres disposiciones del calentador de aire por vapor. Esto debido a que se presentan zonas en las que la diferencia de temperatura es amplia pero el flujo de aire es bajo o viceversa.

De la Figura 42, se observa que la máxima carga se presenta en el arranque en frío, con un flujo de calor de 12386 [MJ]. Esta condición se presenta cuando el flujo y la diferencia de temperatura del aire entre la entrada y la salida del calentador de aire por vapor se encuentra en:

Figura 42. Flujo de Calor Demandado por el Aire.



- ✓ Temperatura Entrada: $T_e = 19 [^{\circ}\text{C}]$
- ✓ Temperatura Salida: $T_s = 60 [^{\circ}\text{C}]$
- ✓ Flujo másico de Aire: $\dot{m}_a = 300 \left[\frac{\text{Ton}}{\text{h}} \right]$

Por lo tanto la capacidad de la caldera para cumplir con este requerimiento será:

- ✓ Presión del vapor: $P_v = 10 [\text{bar}]$
- ✓ Temperatura Saturación: $T_s = 452.84 [^{\circ}\text{K}]$
- ✓ Entalpía de Vaporización: $H_{fg} = 2014 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$

✓ Carga Térmica: $Q_a = Q_v$

✓ Flujo másico: $\dot{m}_v = \frac{Q_v}{H_{fg}}$

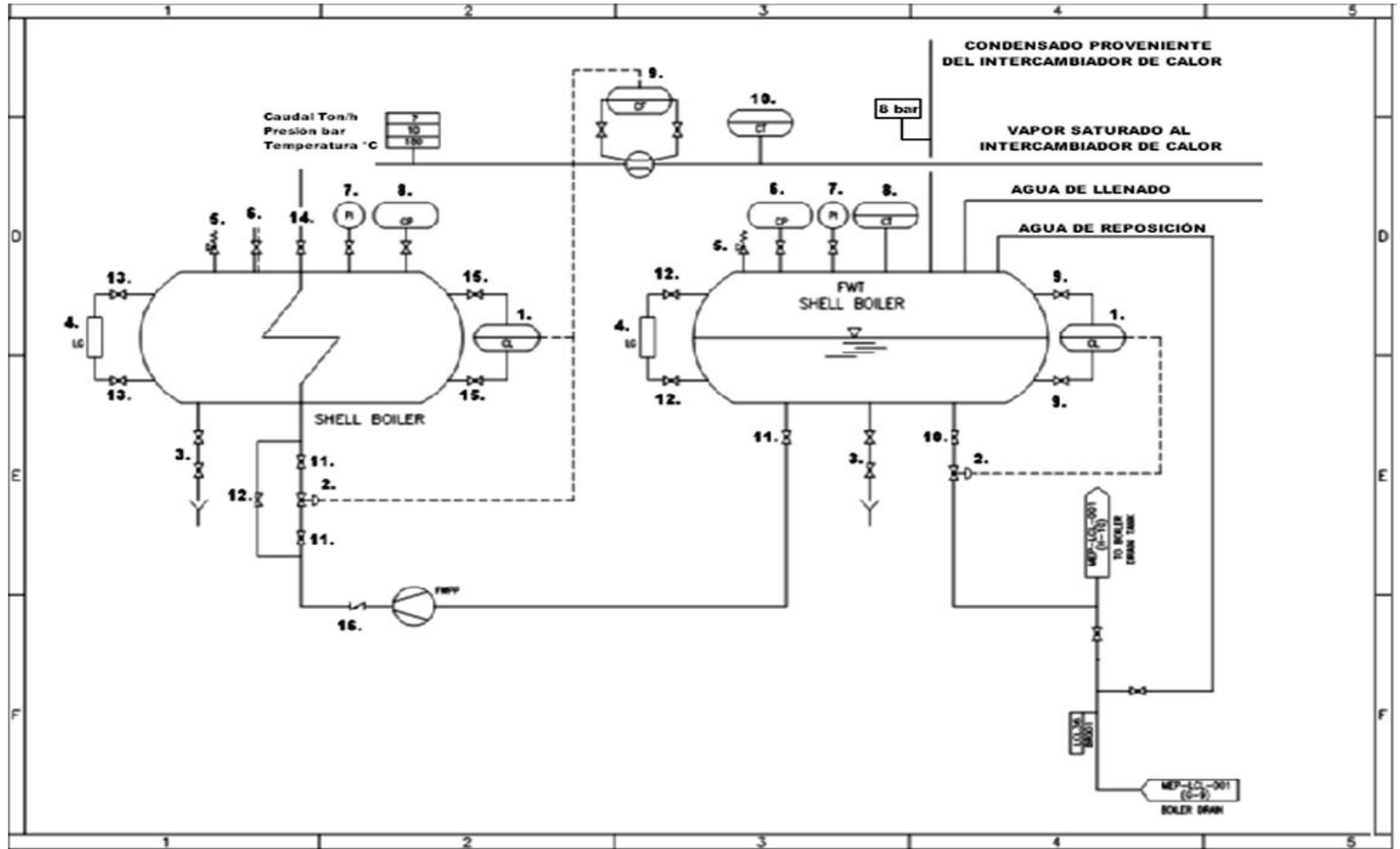
$$\dot{m}_v = 6.15 \left[\frac{\text{T}}{\text{h}} \right] \approx 402[\text{BHP}]$$

Los elementos mínimos con los que deberá contar este equipo para su control y supervisión se enumeran en la Tabla 6 y se muestran en la Figura 43.

Tabla 6. Elementos mínimos para el control y supervisión de la caldera.

No.	NOMBRE	CANTIDAD
1.	Control de Nivel	1
2.	Válvula para el Control de Nivel	1
3.	Válvula Drenaje y Purga	1
4.	Medidor de Nivel Visible	1
5.	Válvula de Seguridad	1
6.	Válvula de Venteo	1
7.	Indicador de Presión	1
8.	Control de Presión	1
9.	Control de Flujo	1
10.	Control de Temperatura	1
11.	Válvulas de Corte para (2.)	2
12.	Válvula de Corte By-Pass	1
13.	Válvulas de Corte para (4.)	2
14.	Válvula de Corte Vapor Saturado.	1
15.	Válvula de Corte para (1.)	2
16.	Válvula de Corte Agua Alimentación	1

Figura 43. Elementos Mínimos para el control y supervisión de la caldera y el tanque de agua de alimentación



3.4.1.3.3 Selección de los elementos Auxiliares del Sistema

3.4.1.3.3.1 Bomba para el Agua de Alimentación.

Debido a la presión y al fluido que maneja se elige una bomba de tipo centrífuga, la cual se encargará de mantener el nivel del agua dentro de la caldera auxiliar.

3.4.1.3.3.2 Tanque de Agua de Alimentación.

Este tanque será exclusivo para almacenar el agua del ciclo auxiliar, la cual estará en estado saturado a una presión alrededor de 8 [bar]. En la Tabla 7, se muestran las características del agua de llenado que provendrá del tanque de condensados de la planta. Así mismo en la Tabla 8, se muestran las características de los condensados de los sopladores y foggy de la caldera principal, los cuales se acoplarán al ciclo sirviendo como agua de reposición al sistema auxiliar.

Tabla 7. Características Químicas del Agua de Llenado.

		PROM	DESV	# DAT	MIN	MAX
pH	Unidad	9,4	0,0	4	9,3	9,4
Cond. Total	<i>uS/cm</i>	8	0	3	8	8
Silice	<i>ug/L SiO2</i>	4	1	146	2	7
Cloruros	<i>ug/L Cl-</i>	0,0	0,1	10	0,0	0,1
Hierro Total	<i>ug/L Fe</i>	2	1	35	1	6
Carbono Total	<i>mg/L C</i>	0,05	0,02	9	0,03	0,08
Carbono Inorgánico Total	<i>mg/L C</i>	0,02	0,02	9	0,00	0,06
Carbono Orgánico Total	<i>mg/L C</i>	0,02	0,01	9	0,01	0,03
Amoníaco	<i>mg/L NH4</i>					

Tabla 8. Características Químicas del Agua de Reposición.

		PROM	DESV	# DAT	MIN	MAX
pH	Unidad	8,2	0,5	68	7,0	8,9
Cond. Total	<i>uS/cm</i>	2,3	0	6	1,6	2,8
Sílice	<i>ug/L</i> <i>SiO2</i>	3	1	74	1	6
Hierro Total	<i>ug/L Fe</i>	1	1	32	1	3
Carbono Total	<i>mg/L C</i>	0,09	0,02	9	0,07	0,13
Carbono Inorgánico Total	<i>mg/L C</i>	0,06	0,01	9	0,05	0,07
Carbono Orgánico Total	<i>mg/L C</i>	0,3	0,1	11	0,2	0,6

Los elementos mínimos con los que deberá contar este equipo para su control y supervisión se enumeran en la Tabla 9 y se muestran en la Figura 43.

Tabla 9. Elementos mínimos para el control y supervisión del FWT.

No.	NOMBRE	CANTIDAD
1.	Control de Nivel	1
2.	Válvula para el Control de Nivel	1
3.	Válvula Drenaje y Purga	1
4.	Medidor de Nivel Visible	1
5.	Válvula de Seguridad	1
6.	Control de Presión	1
7.	Indicador de Presión	1
8.	Control de Temperatura	1
9.	Válvula de Corte para (1.)	2
10.	Válvula Corte para (2.)	1
11.	Válvula Corte Agua Alimentación	1
12.	Válvula de Corte para (4.)	2

3.4.1.3.4 Sistema de Transporte y Almacenamiento del Combustible.

Por las características del carbón de rechazo de los molinos se transportará mediante una pala mecánica hacia un elevador de cangilones, el cual lo almacenará en el silo para luego ser suministrado a la caldera pirotubular por medio de un alimentador.

La capacidad del silo se determinó, a partir del flujo de carbón requerido por la caldera pirotubular para trabajar a máxima carga (7 [Ton/h] de vapor) y asumiendo la eficiencia de caldera calculada anteriormente (80%). Como se muestra en la Tabla 10, el almacenamiento de carbón que se requiere para un arranque en frío y para operar a plena carga es igual. Sin embargo, si se toma en cuenta que la operación a plena carga se presenta por largos períodos de tiempo y la disponibilidad de las palas mecánicas se encuentra comprometida con la carga de carbón al sistema principal, se calcula la cantidad de carbón que se requiere almacenar para operar a plena carga durante 5 Días.

Tabla 10. Carbón Requerido Por el Sistema Auxiliar

TIPO DE OPERACIÓN	DURACIÓN [HORAS]	FLUJO DE VAPOR MÁXIMO [Kg/h]	FLUJO DE CARBÓN REQUERIDO [Kg/h]	TOTAL CARBÓN [Kg]
ARRANQUE FRÍO	12	7000	850	10200
ARRANQUE TIBIO	3	7000	850	2550
OPERACIÓN A PLENA CARGA	12	7000	850	10200

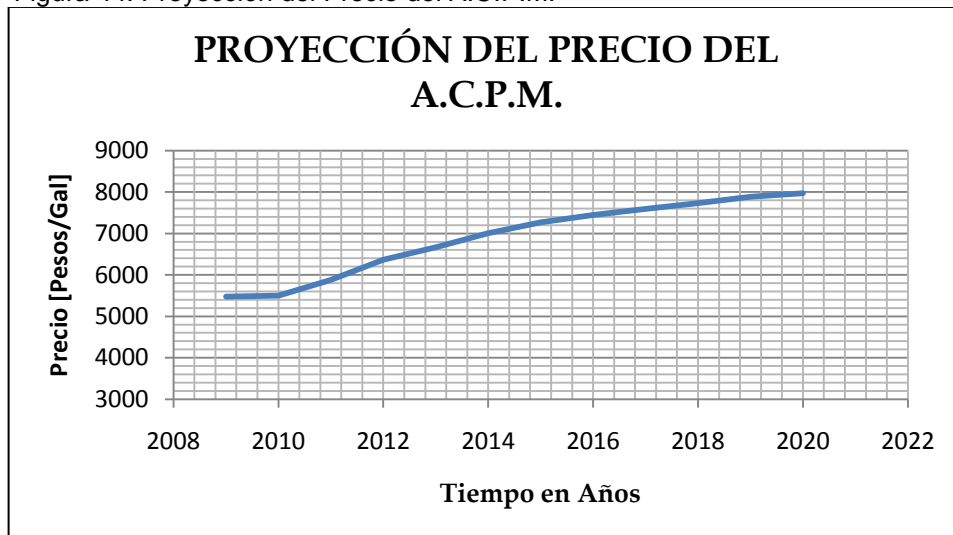
$$\text{Capacidad} = \text{Carbón}[\text{Kg}] * [\text{Días}] = 47600$$

$$\text{Capacidad} = 10200 * 5 = 51000\text{Kg} \approx 60 [\text{Ton}]$$

4. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Actualmente el costo de la generación de energía eléctrica se ve afectado por el alto precio del combustible de arranque y las pérdidas económicas que genera; el rechazo de carbón en los molinos y su recirculación, la extracción de vapor generado por la caldera principal para fines de calentamiento, y el mal funcionamiento del calentador de aire por vapor. Por tal motivo la viabilidad de este proyecto depende de cuánto se logre reducir estas pérdidas y el consumo de A.C.P.M. con la implementación del sistema auxiliar.

Figura 44. Proyección del Precio del A.C.P.M.



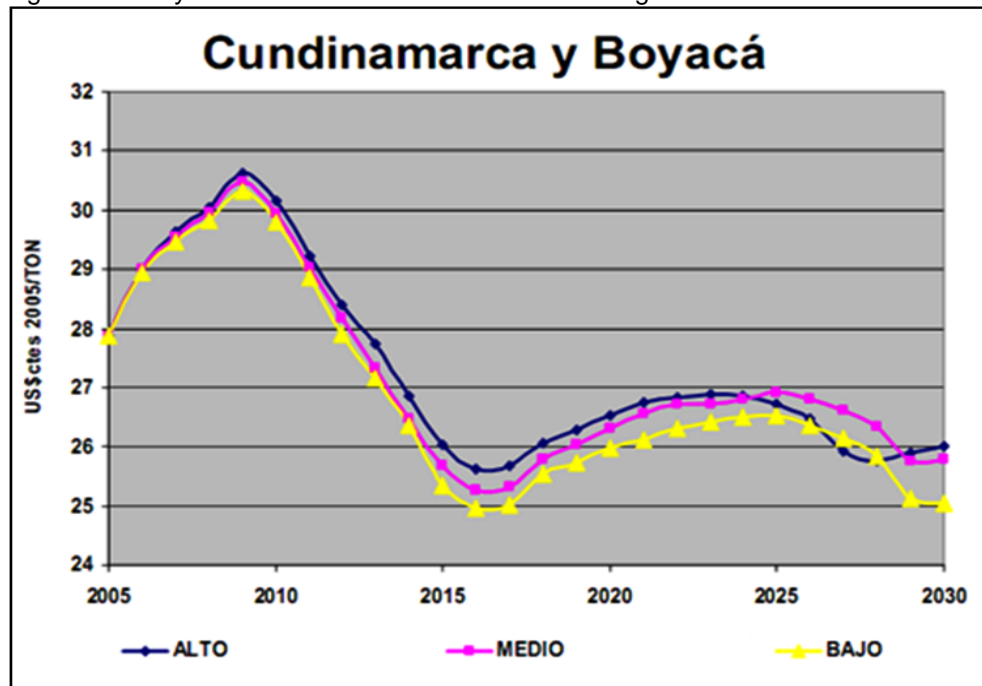
Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética.

En cuanto al costo de los combustibles, actualmente existe una diferencia de 67.6884 dólares por cada giga caloría entre el precio del A.C.P.M. y el precio del carbón. Según la proyección que se muestra en las Figuras 44 y 45, realizada por la unidad de planeación minero energética (UPME), esta diferencia se incrementará a través de los años. Ya que mientras el precio del A.C.P.M. presenta un comportamiento creciente, el carbón tiende a ser cada año más

económico. De tal manera, esta proyección hace pertinente la disminución del combustible de arranque.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se realizará la evaluación de costos de los sistemas y procesos que se verán afectados por este proyecto.

Figura 45. Proyección del Precio del Carbón en la Región.



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética.

4.1 ANÁLISIS DE COSTOS

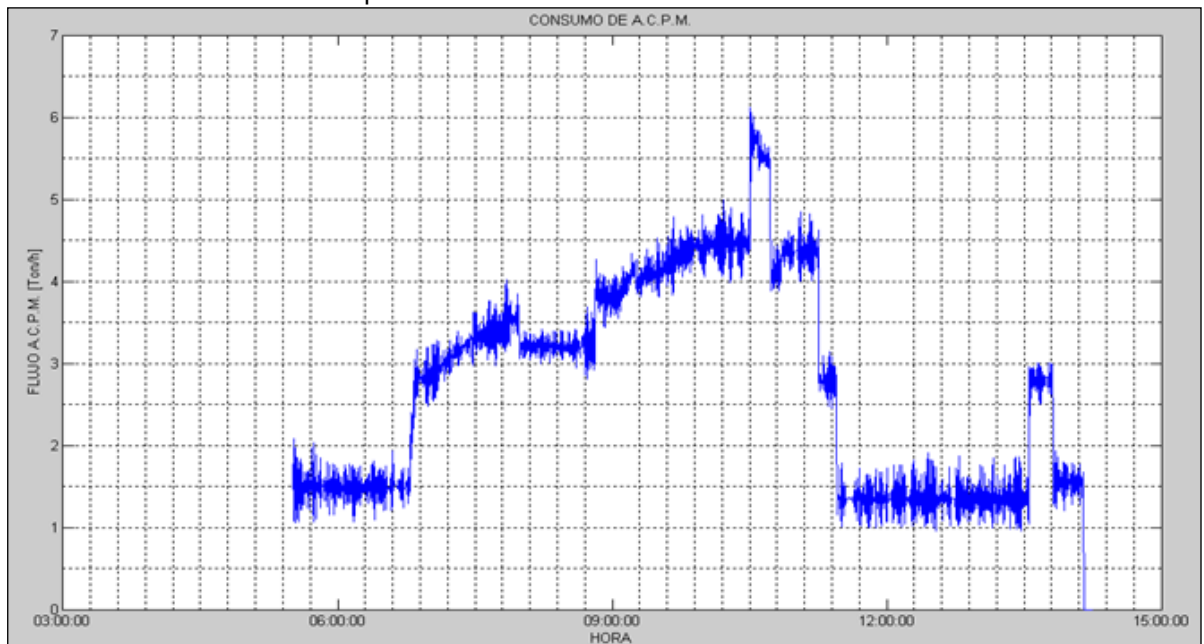
Se determinará el costo de cada tipo de arranque, en cuanto al consumo de combustibles se refiere. Para tal fin, se utilizará el programa explicado en el Capítulo 2, con los tipos de datos III y IV.

4.2 ARRANQUE EN FRÍO

➤ Consumo de A.C.P.M.

Se mostrará el análisis económico del A.C.P.M. con los datos de dos arranques realizados, uno el 9 de Julio del 2008 y el otro el 27 de Junio del 2009, los cuales fueron suministrados por el sistema de control de la planta. Estos datos junto con el precio y el poder calorífico de este combustible se registran en el programa para proceder con el cálculo.

Figura 46. Histórico del Consumo de A.C.P.M, en un Arranque realizado el 9 de Julio de 2008 Desde la Hora Cero del Arranque Hasta la Entrada en Servicio del Primer Molino.



El consumo de A.C.P.M. se determina con el cálculo del área bajo la curva que se muestra en la Figura 46, la cual es generada por el programa mediante el botón "Suministro de Combustibles". Los resultados para el primer arranque, se muestran en la Figura 47.

Figura 47. Resultados Arrojados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio

SERIE DE DATOS CLASE DE DATOS: TIPO III Intervalo Toma Tiempo Datos [min]: 0.25 Botones: Importar Datos, REGISTRAR, Reset		A.C.P.M. Precio [USD\$/Gcal]: 73.7337 Poder Calorífico [KJ/Kg]: 4000 CANTIDAD TOTAL [kg]: 23644.2 Costo [US\$]: 1665.59	
RESULTADO DE LA SERIE DE DATOS Flujo de Vapor Max. [Kg/h]: <input type="text"/> Flujo de Carbon [kg/h]: <input type="text"/> Botones: Flujo y Temperaturas, Suministro Combustibles			

Como se observa en la Figura 48, el consumo de A.C.P.M. en el segundo arranque se incremento con respecto al primero, debido a que los datos de este arranque van hasta que el sistema alcanza operación a plena carga, en cambio los datos del primer arranque llegan hasta la entrada en servicio del primer molino. El resultados se muestran en la Figura 49.

Figura 48. Histórico del Consumo de A.C.P.M, en un Arranque realizado el 27 de Junio de 2009 Desde la Hora Cero del Arranque Hasta la Entrada en Servicio del Primer Molino.

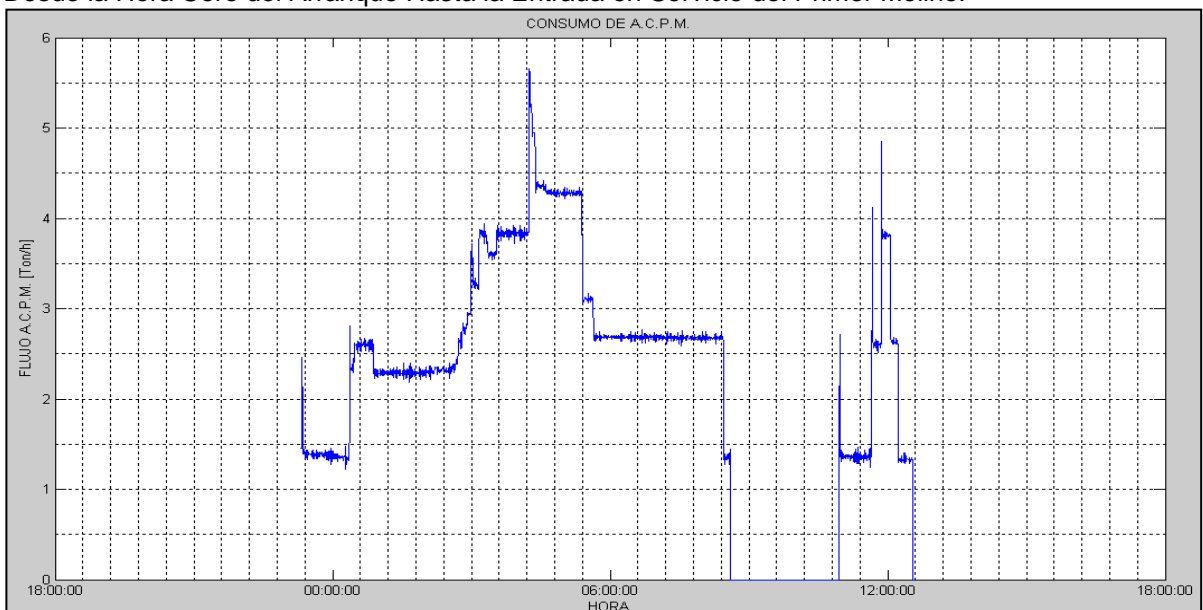


Figura 49. Resultados Arrojados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio

The screenshot shows two main panels. The left panel is titled 'SERIE DE DATOS' and contains a dropdown menu for 'CLASE DE DATOS' set to 'TIPO III', an 'Importar Datos' button, and an 'Intervalo Toma Tiempo Datos [min]' field set to '0.5'. Below these are 'REGISTRAR' and 'Reset' buttons. The right panel is titled 'A.C.P.M' and displays the following values: Precio [USD\$/Gcal] = 73.7337, Poder Calorifico [KJ/Kg] = 4000, CANTIDAD TOTAL [kg] = 29166.4, and Costo [US\$] = 2054.6. At the bottom of the left panel, there are fields for 'Flujo de Vapor Max. [Kg/h]' and 'Flujo de Carbon [kg/h]', along with buttons for 'Flujo y Temperaturas' and 'Suministro Combustibles'.

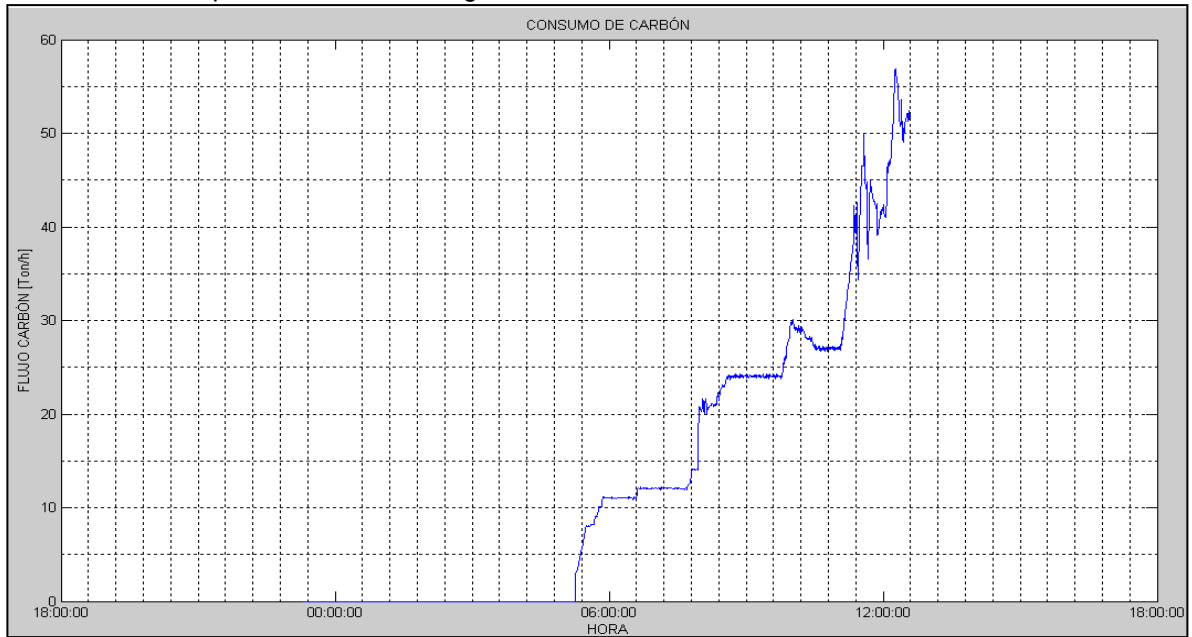
✓ Consumo de Carbón.

Para determinar este consumo se procedió de la misma manera que para el consumo de A.C.P.M., mostrándose los resultados del segundo arranque en la Figura 50 y la gráfica del suministro en la Figura 51. Los datos del primer arranque están dados para las primeras ocho horas, donde el suministro de carbón no tiene lugar.

Figura 50. Resultados Arrojados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio.

The screenshot shows two main panels. The left panel is titled 'SERIE DE DATOS' and contains a dropdown menu for 'CLASE DE DATOS' set to 'TIPO IV', an 'Importar Datos' button, and an 'Intervalo Toma Tiempo Datos [min]' field set to '0.5'. Below these are 'REGISTRAR' and 'Reset' buttons. The right panel is titled 'Carbon' and displays the following values: Poder Calorifico [Kcal/h] = 5769, Precio [USD\$/Gcal] = 6.0453, CANTIDAD TOTAL [kg] = 173831, and Costo [US\$] = 1447.98. At the bottom of the right panel, there is a button for 'Efi. Caldera' set to 80. The left panel also includes fields for 'Flujo de Vapor Max. [Kg/h]' and 'Flujo de Carbon [kg/h]', along with buttons for 'Flujo y Temperaturas' and 'Suministro Combustibles'.

Figura 51. Histórico del Consumo de Carbón Desde la Entrada en Servicio del Primer Molino, Hasta Alcanzar Operación a Plena Carga.



4.3 ARRANQUE EN TIBIO.

➤ Consumo de A.C.P.M.

Para este tipo de arranque se sigue la misma metodología descrita en el arranque en frío. La gráfica y los resultados se muestran en la Figura 52 y 53 respectivamente.

Figura 52. Histórico del Consumo de A.C.P.M, Desde la Hora Cero del Arranque hasta Operación a Plena Carga

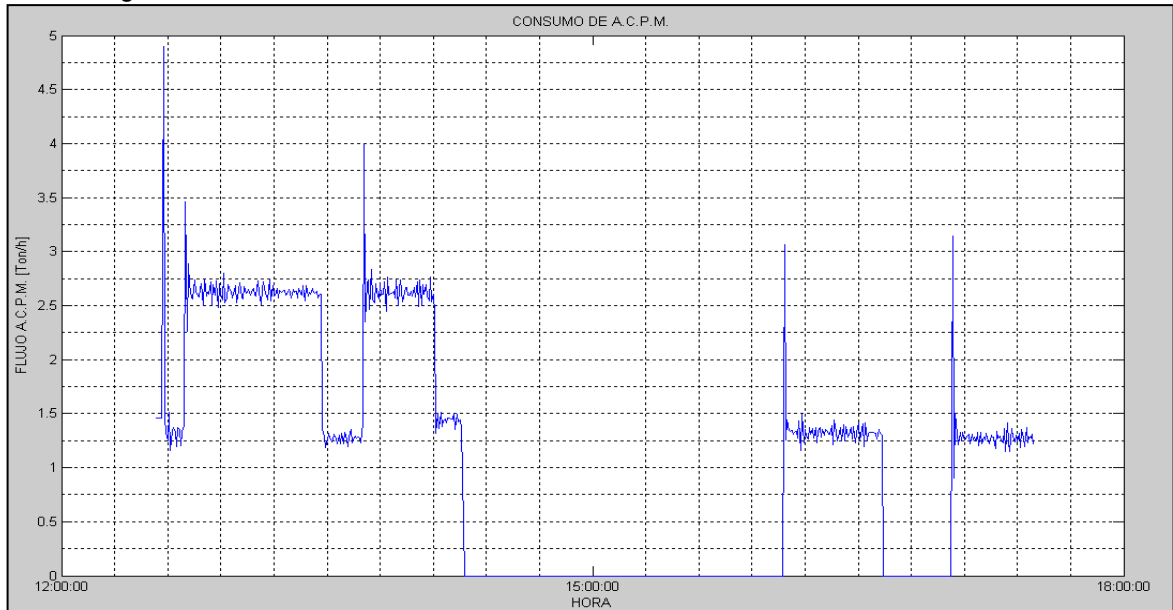


Figura 53. Resultados Arrojados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio

SERIE DE DATOS		A.C.P.M	
CLASE DE DATOS	Intervalo Toma	Precio [USD\$/Gcal]	73.7337
TIPO III	Tiempo Datos [min]	Poder Calorifico [KJ/Kg]	4000
<input type="button" value="Importar Datos"/>	0.5	CANTIDAD TOTAL [kg]	5258.61
<input type="button" value="REGISTRAR"/>	<input type="button" value="Reset"/>	Costo [US\$]	370.438
RESULTADO DE LA SERIE DE DATOS			
Flujo de Vapor Max. [Kg/h]	Flujo de Carbon [kg/h]	<input type="button" value="Flujo y Temperaturas"/>	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="button" value="Suministro Combustibles"/>	

➤ Consumo de Carbón.

Figura 54. Comportamiento del A.C.P.M Desde la Hora Cero del Arranque hasta Operación a Plena Carga

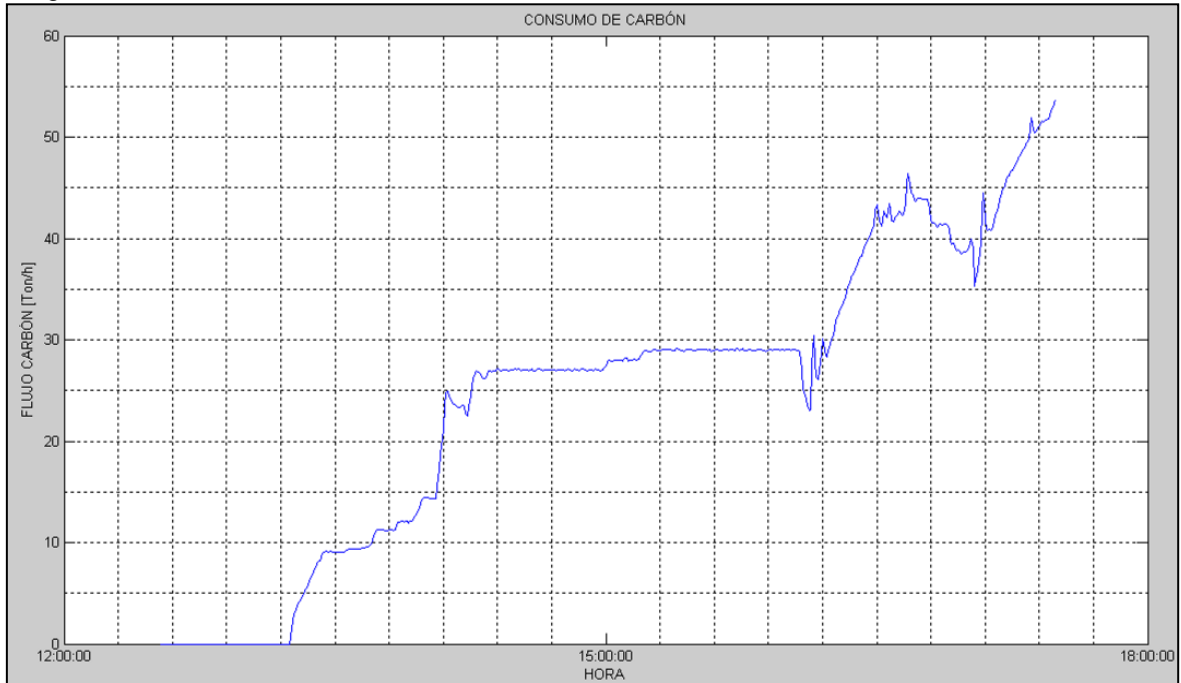
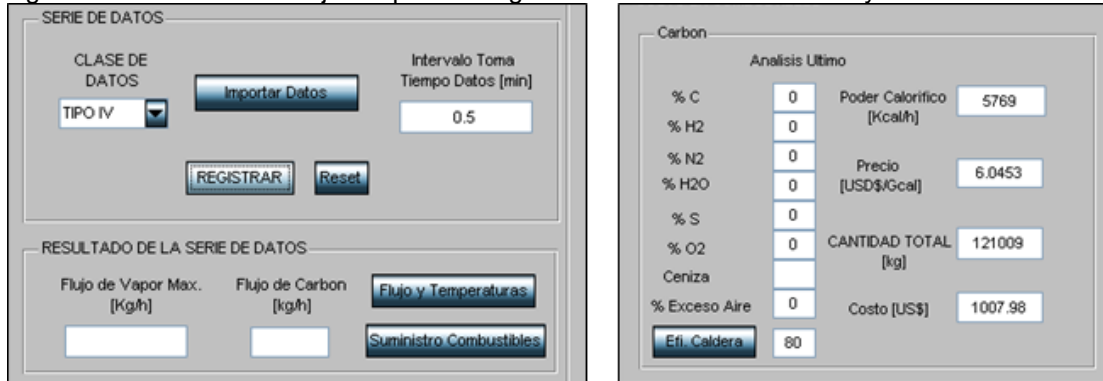


Figura 55. Resultados Arrojadados por el Programa. Cantidad de A.C.P.M. y Precio



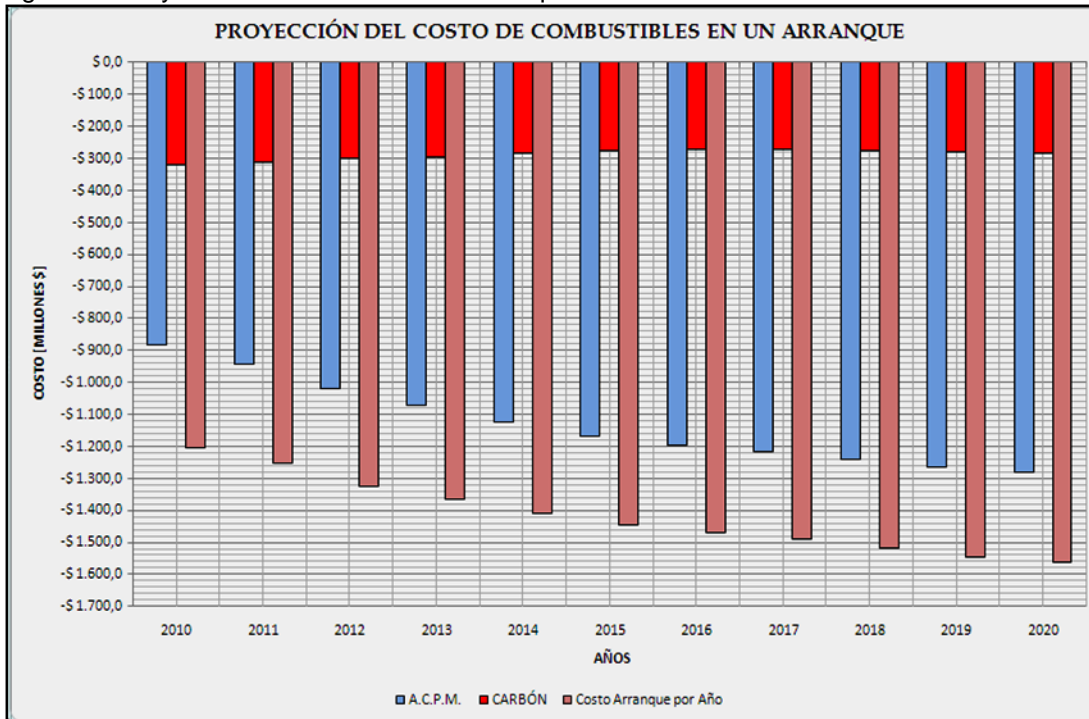
4.4 ARRANQUE EN CALIENTE.

En este tipo de arranque las condiciones térmicas de todos los sistemas que participan en el proceso de generación de energía eléctrica se encuentran cerca al estado de operación. Por esto el suministro de A.C.P.M es mínimo, participando únicamente como soporte para estabilizar la combustión del carbón. En consecuencia el estudio económico para este arranque carece de sentido para este proyecto, debido a que la energía térmica del vapor generado por el sistema auxiliar no es suficiente para producir una disminución en el consumo de este combustible.

4.5 PROYECCIÓN DEL COSTO DE LOS ARRANQUES.

Según el análisis realizado anteriormente y la proyección de precios de los combustibles dada por la unidad de planeación minero energética se realizó la proyección del costo de los arranques por año como se muestra en la Figura 56.

Figura 56. Proyección del Costo de Los Arranques en Cuanto a Combustibles



4.6 PROCESO EN OPERACIÓN CONTINUA.

El carbón de rechazo de los molinos y la extracción de vapor generado por la caldera principal son dos problemas que se acentúan en este proceso. Por lo tanto, se establecerá el daño económico que estos producen por cada megavatio hora generado.

Como se puede observar en la Tabla 3, la cantidad de carbón rechazado varía de manera aleatoria sin seguir ningún patrón, debido a esto, se hace uso de la estadística, para determinar un valor promedio más ajustado de la cantidad de carbón con pirita rechazada por día. La Tabla 11, muestra los resultados del cálculo de la varianza promedio diaria ($\sigma = \pm 525.28$), y los kilogramos de carbón de rechazo por día (1514) según los datos proporcionados por la empresa (Tabla 3).

Tabla 11. Carbón de Rechazo Máximo por Día

	PROMEDIO RECHAZO MENSUAL	VARIANZA MENSUAL
2005	20962.91667	9423.747676
2006	33478.33333	21868.03721
2007	49611.66667	20206.56232
2008	27893.33333	19870.46613
2009	16415	7423.200119
PROMEDIO ANUAL	29672.25	15758.40269
PROMEDIO DIARIO	989.075	525.2800897
RECHAZO MÁXIMO DIARIO	1514.35509	

Considerando el precio actual de carbón por tonelada (\$ 61,240) se encuentra que en un año de operación se pierden \$ 2'781,520 en materia prima para generar energía eléctrica por efecto de este rechazo.

$$Rechazo = 1.514 \left[\frac{Ton}{Día} \right] \times 61240 \left[\frac{\$}{Ton} \right] \times 30 \left[\frac{Días}{Mes} \right] = 2'781,520 \left[\frac{\$}{Mes} \right]$$

$$Rechazo Total = 2'781,520 \times 12 = 33'378,249 \left[\frac{\$}{Año} \right]$$

4.7 MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA TRABAJANDO CON Y SIN EXTRACCIÓN DE VAPOR

Por otro lado la industria energética utiliza una unidad denominada el Heat Rate, la cual, permite determinar la energía del combustible que se está utilizando para generar un megavatio hora. En otras palabras es un índice que permite medir la eficiencia del proceso de generación de energía eléctrica.

El vapor que se extrae de la turbina de alta, provoca que este índice varíe, de tal forma que aumenta cuando el proceso requiere del calentamiento de aire por vapor, es decir que se necesitaría quemar más combustible para generar la misma cantidad de energía (1 MWH). Esto se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12.Eficiencia con y sin Extracción de Vapor.

	Con Extracción	Sin Extracción
HEAT RATE [Kcal/MWH]	2300	2280.1
ENERGÍA REQUERIDA EN UN AÑO [Kcal]	2,300'000,000	2,280'000,000

Para determinar el Heat Rate sin extracción de vapor generado por la caldera principal, se determinó el requerimiento máximo de energía que demanda el aire de combustión, calculando la varianza de los datos de flujo, y temperaturas antes y después del calentador de aire por vapor operando a plena carga (150 [MW]). Según este análisis, los parámetros críticos se muestran en la Tabla 13, a partir de estos, se calcula el flujo de calor perdido en la etapa de precalentamiento del aire.

Los resultados se muestran en la Tabla 14. El Heat Rate se calcula con la potencia neta que genera la planta.

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a \times C_{pa} \times \Delta T$$

Tabla 13.Parámetros Máximos en Operación a Plena Carga (150[MW])

CONDICIONES DEL AIRE	
Flujo de Aire [Ton/h]	692
Temperatura a la Entrada del Calentador de Aire por Vapor [°C]	10
Temperatura a la Salida del Calentador de Aire por Vapor [°C]	28
Diferencia de Temperatura [ΔT]	18
Propiedades del Aire a Temperatura Promedio	19
Calor Específico [KJ/Kg*K]	1.005

Tabla 14. Resultados A Máxima Carga (150 [MW])

Flujo de Calor		Potencia generada (neta) [MW]	
[KJ/h]	[Kcal/h]	[MW]	[KW]
12,518,280	2,989,939.85	150	150000

Se realiza el cálculo para una hora, por lo tanto:

$$NHR \left[\frac{Kcal}{KW} \right] = \frac{\dot{Q}_{Total}}{Potencia\ Generada\ (Neta)}$$

$$NHR \left[\frac{Kcal}{KW} \right] = 19.9$$

Este valor representa la diferencia entre el Heat Rate con extracción de vapor y sin extracción de vapor.

A partir de este valor se determina la cantidad de energía que se ahorra en un año energético (277 Días) teniendo en cuenta que el sistema utiliza la extracción de vapor 12 horas al día y que la empresa debe generar 1'000,000,000 de [MWh] al culminar este período.

$$Energía = NHR\ Prom \times \frac{horas}{Día} \times Dias\ Año \times Potencia\ Neta\ [KW]$$

$$Energía = 19.9 \times 12 \times 277 \times 150000 = 9,938[Gcal]$$

Con este valor se calcula el ahorro anual teniendo en cuenta que el costo por giga caloría de combustible es \$10,493.

$$Ahorro = 10,493 \left[\frac{\$}{Gcal} \right] \times 9,938[Gcal] = \$104.29 \text{ Millones}$$

4.8 COSTO DE LA INVERSIÓN EN EQUIPOS Y MONTAJE DEL SISTEMA AUXILIAR

En este punto las decisiones y requerimientos de tipo técnico se convierten a valores monetarios, asumiendo cotizaciones a precios existentes para el periodo en el cual se realiza este estudio.

La inversión está constituida por el conjunto de erogaciones o aportaciones que la empresa realizará para adquirir todos los bienes y servicios para la implementación del proyecto. Esta se agrupa en activos tangibles y activos intangibles. En el Anexo 10, se encuentra la cotización realizada por la empresa “Calderas JCT”.

- **Activos Tangibles:** Están constituidos por los bienes físicos propiedad de la empresa o el proyecto. La Tabla 15, muestra el costo de los equipos y elementos que conforman el sistema auxiliar, a partir de la selección de equipos realizada en el Capítulo 2.

Tabla 15. Costo del Sistema Auxiliar.

EQUIPO	COSTO
Caldera Pirotubular.	-
Sistema de Alimentación de Agua	-
Parrilla Viajera para alimentación de Carbón	-
Sistema de Medición de Flujo de Vapor	-
SUBTOTAL EQUIPOS	716'750,000
Manejo de Carbón + Montaje	117'970,000
Transporte de Equipos	25'725,000
TOTAL	860'445,000

- **Activos Intangibles:** Están constituidos por los bienes no físicos y derechos de la empresa necesarios para su funcionamiento tales como: licencias, mano de obra, imprevistos y otros (ver Tabla 16).

Tabla 16. Activos Intangibles.

EQUIPO	COSTO
Ensamble y puesta en marcha de la Caldera	73'500,000
TOTAL	73'500,000

Tabla 17. Costo Total del Sistema Auxiliar.

TOTAL ACTIVOS TANGIBLES	860'445,000
TOTAL ACTIVOS INTANGIBLES	73'500,000
TOTAL INVERSIONES	933'945,000

4.9 FLUJO FINANCIERO

El estudio económico de este proyecto termina con la determinación de las pérdidas o ganancias que arroje la implementación del sistema auxiliar. Para esto se realizó un balance entre el costo del sistema auxiliar, y el ahorro estimado producto de la reducción del consumo de A.C.P.M. y el mejoramiento de la eficiencia del ciclo.

La reducción en el tiempo de suministro de A.C.P.M., se calcula a partir de un análisis energético al inicio del arranque. Esto debido a que en este punto la temperatura del sistema principal se encuentra en equilibrio con la temperatura ambiente, y por lo tanto, el sistema auxiliar puede intervenir en el calentamiento de la caldera principal. Como se observa en el Anexo 2, en el transcurso de una hora del arranque en frío, el sistema logra salir del equilibrio alcanzando condiciones térmicas favorables para que el vapor sobrecalentado consiga elevar su temperatura. Actualmente en este período se consumen 1400 [Kg] de A.C.P.M.,

los cuales representan 63,000[MJ] teniendo en cuenta el poder calorífico de este combustible (45000 [KJ/Kg]).

Como se dijo anteriormente parte de esta energía puede ser suministrada por el sistema auxiliar a través del calentamiento del aire, disminuyendo así, el consumo de A.C.P.M. y el tiempo para la entrada en servicio del primer molino. Para determinar esto, el cálculo se realiza con la máxima energía que puede entregar el sistema auxiliar a través del calentador de aire por vapor, trabajando a plena carga. (7 [Ton/h] vapor saturado).

$$\dot{Q}_{Sist.Auxiliar} = \dot{m}_v \times h_{fg}$$

$$\dot{Q}_{Sist.Auxiliar} = 7000 \left[\frac{Kg}{h} \right] \times 2014 \left[\frac{KJ}{Kg} \right] = 14,098 \left[\frac{MJ}{h} \right]$$

Este resultado indica que por cada hora que opere el sistema auxiliar la caldera principal ganará 14,098 [MJ] de energía. Esta energía corresponde a un tiempo de 13.4 [min] de la primera hora del arranque como se muestra a continuación.

$$\frac{63,000 [MJ]}{1 [hora]} = \frac{14,098 [MJ]}{t}$$

$$t = 0,223 [horas] = 13.4 [min]$$

En consecuencia, si el sistema auxiliar entra en servicio dos horas antes de que empiece el arranque en frío, logrará disminuir el tiempo que se gasta para que el sistema salga del equilibrio térmico con el ambiente y logre elevar la temperatura del vapor en la caldera principal a 33,2 [min.] aproximadamente. De igual manera la energía requerida en este período se reducirá de 63,000 [MJ] a 34,804 [MJ]. Esta energía puede ser suministrada por la combustión del A.C.P.M. y el aporte del sistema auxiliar en cantidades de 27004 [MJ] y 7,800[MJ] respectivamente. Esto según la capacidad del sistema (14,098[MJ/h]).

$$\text{Energía Requerida} = 34,804 \text{ [MJ]}$$

$$\text{Aporte Sistema Aux} = \text{Capacida Sistema Aux} \times \text{Tiempo} \times \text{Fac. Conversión}$$

$$\text{Aporte Sistema Aux} = 14,098 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{h}} \right] \times 33.2 \text{ [min]} \times \frac{1 \text{ [hora]}}{60 \text{ [min]}}$$

$$\text{Aporte Sistema Aux} = 7,800 \text{ [MJ]}$$

Entonces la energía aportada por el A.C.P.M. es

$$\text{Aporte A.C.P.M.} = 34,804 \text{ [MJ]} - 7,800 \text{ [MJ]} = 27,004 \text{ [MJ]}$$

Para suplir esta energía se requieren

$$\text{A.C.P.M.} = \frac{27'004,000 \text{ [KJ]}}{45,000 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]} = 600 \text{ [Kg]}$$

Ahora, si se requerían 1,400[Kg] de A.C.P.M para suplir la demanda de energía en la primera hora del arranque, con la utilización del sistema auxiliar este consumo se reduce a 800[Kg] por arranque.

$$\text{A.C.P.M.}_{\text{Ahorrado}} = 1,400 \text{ [Kg]} - 600 \text{ [Kg]} = 800 \text{ [Kg]}$$

Teniendo en cuenta que el precio de A.C.P.M. por tonelada es \$2'196,692, se calcula el ahorro obtenido por arranque;

$$\text{A.C.P.M.}_{\text{Ahorrado}} = \$2'196,692 \left[\frac{\$}{\text{Ton}} \right] \times 0.8 \text{ [Ton]} = \$ 1'757,353$$

Considerando que el número de arranques en un año es nueve, se tiene:

$$A.C.P.M._{AhorradoA\ \tilde{n}o} = 1'757,353 \times 9 \left[\frac{Arranques}{A\tilde{n}o} \right] = \$15'816,177$$

Sin embargo la caldera auxiliar estará en funcionamiento a plena carga por un tiempo total de 2.553 [horas] en cada arranque frío, este sistema presenta un consumo de carbón de (850[Kg/h]), entonces:

$$Carb\acute{o}n_{sistema\ Aux.} = 0.850 \left[\frac{Ton}{h} \right] \times 2.553[h] = 2.17[Ton]$$

Teniendo en cuenta que el precio del carbón por tonelada es \$60,320, se calcula el costo obtenido por arranque;

$$Costo\ Carb\acute{o}n_{Sistema\ Aux} = 2.17[Ton] \times 60,320 \left[\frac{\$}{Ton} \right] = \$153,816$$

Considerando que el número de arranques en un año son 9, se tiene:

$$Costo\ Carb\acute{o}n_{Sistema\ AuxA\ \tilde{n}o} = \$153,816 \times 9 \left[\frac{Arranques}{A\tilde{n}o} \right] = \$1'384,344$$

El comportamiento en el arranque en tibio se muestra en el Anexo 3, el tiempo para el despegue de la curva de vapor sobrecalentado es menor en cerca de 10 [min.] al arranque en frío. El consumo de A.C.P.M. en este período es de 2500 [Kg], representando 112,500 [MJ] de energía que se consume en 50[min]. Para este tiempo la energía aportada por el sistema auxiliar trabajando a máxima carga es;

$$14,098 \left[\frac{MJ}{h} \right] \times 50 [min] \times \frac{1[h]}{60 [min]} = 11,748 [MJ]$$

Esta energía corresponde a un tiempo de 5.22 [min.], tiempo que se ahorraría para el despegue del sistema principal en el arranque tibio.

$$\frac{112,500 [MJ]}{50 [min]} = \frac{11,748 [MJ]}{t}$$

$$t = 5.22 [min]$$

De tal manera que si el sistema auxiliar opera de la misma manera que en el arranque en frío, el tiempo se disminuirá de 50 [min.] a 39.56 [min.] y la energía se reducirá de 112,500 [MJ] a 84,304 [MJ]. La cantidad de esta energía que suministra el A.C.P.M. es;

$$\text{Energía Requerida} = 84,304 [MJ]$$

$$\text{Aporte Sistema Aux} = \text{Capacida Sistema Aux} \times \text{Tiempo} \times \text{Fac. Conversión}$$

$$\text{Aporte Sistema Aux} = 14,098 [MJ] \times 39.56 [min] \times \frac{1 [hora]}{60 [min]}$$

$$\text{Aporte Sistema Aux} = 9,295 [MJ]$$

Entonces la energía aportada por el A.C.P.M. es

$$\text{Aporte A. C. P. M.} = 84,304 [MJ] - 9,295 [MJ] = 75009 [MJ]$$

Para suplir esta energía se requieren

$$\text{A. C. P. M.} = \frac{75'009,000 [KJ]}{45,000 \left[\frac{KJ}{Kg} \right]} = 1666.8 [Kg]$$

Ahora, si se requerían 2,500[Kg] de A.C.P.M para suplir la demanda de energía en los primeros 50 minutos del arranque tibio, con la utilización del sistema auxiliar este consumo se reduce a 833.1 [Kg] por arranque.

$$A.C.P.M_{Ahorrado} = 2,500[Kg] - 1666.8 [Kg] = 833.1[Kg]$$

Teniendo en cuenta que el precio de A.C.P.M. por tonelada es \$2'196,692, se calcula el ahorro obtenido por arranque;

$$A.C.P.M_{Ahorrado} = \$2'196,692 \left[\frac{\$}{Ton} \right] \times 0.833[Ton] = \$1'829,844$$

Considerando que el número de arranques en un año son 31, se tiene:

$$A.C.P.M_{AhorradoAño} = \$1'829,844 \times 31 \left[\frac{Arranques}{Año} \right] = \$56'725,164$$

Sin embargo la caldera auxiliar estará en funcionamiento a plena carga por un tiempo total de 2.659 [horas] en cada arranque tibio, este sistema presenta un consumo de carbón de (850[Kg/h]), entonces:

$$Carbón_{sistema Aux.} = 0.850 \left[\frac{Ton}{h} \right] \times 2.659[h] = 2.26[Ton]$$

Teniendo en cuenta que el precio del carbón por tonelada es \$60,320, se calcula el costo obtenido por arranque;

$$Costo Carbón_{Sistema Aux} = 2.26[Ton] \times 60,320 \left[\frac{\$}{Ton} \right] = \$136,323$$

Considerando que el número de arranques en un año son 31, se tiene:

$$\text{Costo Carbón}_{\text{Sistema Aux Año}} = \$136,323 \times 31 \left[\frac{\text{Arranques}}{\text{Año}} \right] = \$4'226,013$$

En la Tabla 18, se observa el tiempo de suministro del combustible de arranque que se espera obtener hasta la entrada en servicio del primer molino con la implementación del sistema auxiliar. A partir de este punto el carbón reemplazará la rata de calentamiento que proveía el A.C.P.M.

Tabla 18. Comparación del Tiempo de Suministro de A.C.P.M.

TIPO DE ARRANQUE	TIEMPO DE SUMINISTRO ACTUAL	TIEMPO DE SUMINISTRO ESPERADO
FRÍO	8 horas	7 horas y 33.2 minutos
TIBIO	4 horas	3 horas y 39.56 minutos

En la Tabla 19, se observa la cantidad de A.C.P.M. ahorrado en cada arranque y su correspondiente valor calculado con el siguiente balance energético:

$$\dot{m}_{\text{A.C.P.M}} \times \text{HHV}_{\text{A.C.P.M}} = \dot{m}_{\text{Carbón}} \times \text{HHV}_{\text{Carbón}}$$

$$\dot{m}_{\text{Carbón}} = \frac{5500 \times 40000}{30000} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]$$

Tabla 19. Costo Total de los Combustibles en los Arranques.

Tipo de Arranque	NÚMERO DE ARRANQUES POR AÑO	A.C.P.M AHORRADO	CARBÓN DE REPLAZO
		Cantidad [Ton]	Cantidad [Ton]
Frío	9	1.5	2.7946
Tibio	31	0.5	0.9315
TOTAL	40	2	3.7261

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la Figura 57, agrupa todos los costos y ganancias que se generan por la implementación del sistema auxiliar. El Anexo 9 contiene los cálculos que dan lugar a las siguientes figuras.

Figura 57. Análisis Económico de la Implementación del Sistema Auxiliar.

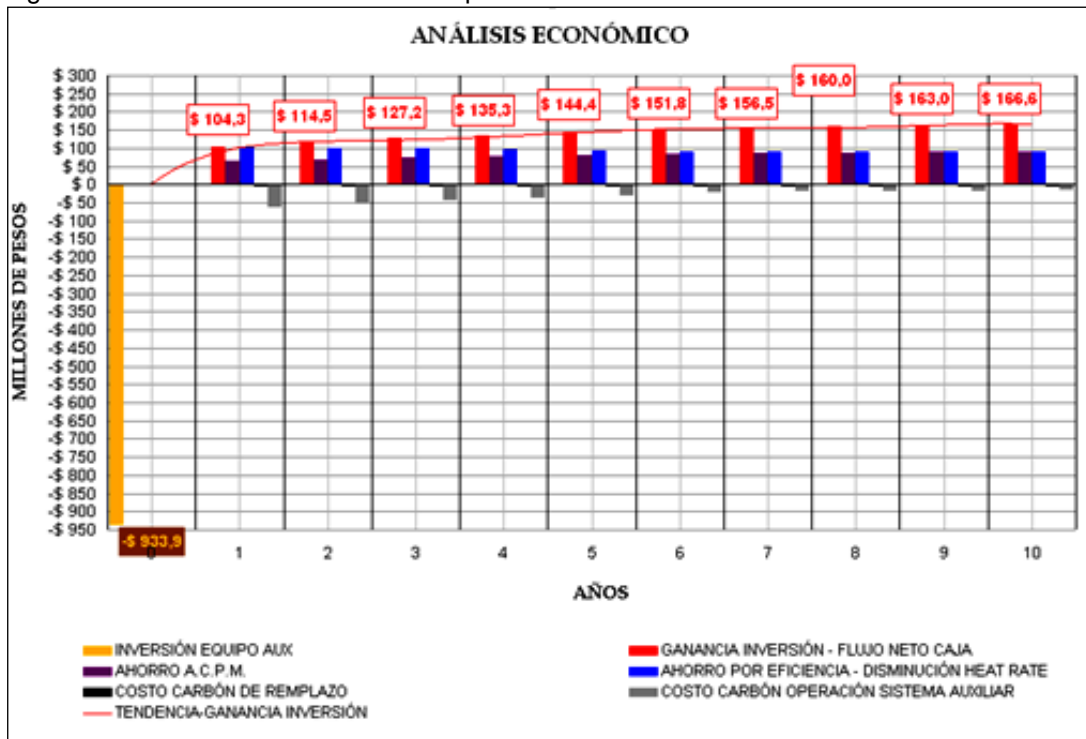


Tabla 20. Índice de Precios al Consumidor.

Año	IPC
2001	7.97
2002	6.35
2003	7.14
2004	5.91
2005	5.05
2006	4.30
2007	5.54
2008	6.99
2009	4.23
PROMEDIO (2001-2009)	5.8

Fuente: DANE

La Figura 58, muestra el costo de la inversión en equipos del sistema auxiliar, la ganancia neta que se obtiene en cada año de servicio y el valor presente de esta ganancia (\$92,21 millones).

A partir de la ganancia neta basada en la proyección de precios de los combustibles dada por la U.P.M.E., se generan las curvas que establecen la recuperación de la inversión, observándose que se requieren 6 años para cubrir el egreso realizado el primer año sin tener en cuenta la variación del peso a través de los años (curva roja) y de 9 años asumiendo un porcentaje de inflación de 5.8% (curva azul) según el promedio del IPC mostrado en la Tabla 20.

Figura 58. Periodo de Recuperación de la Inversión.

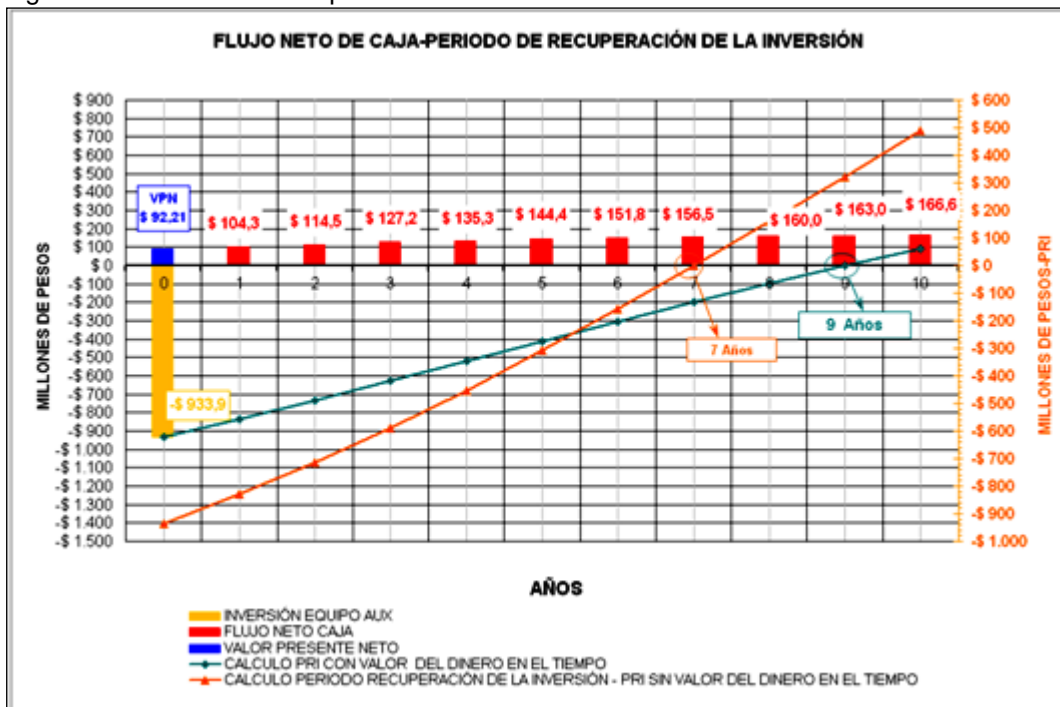
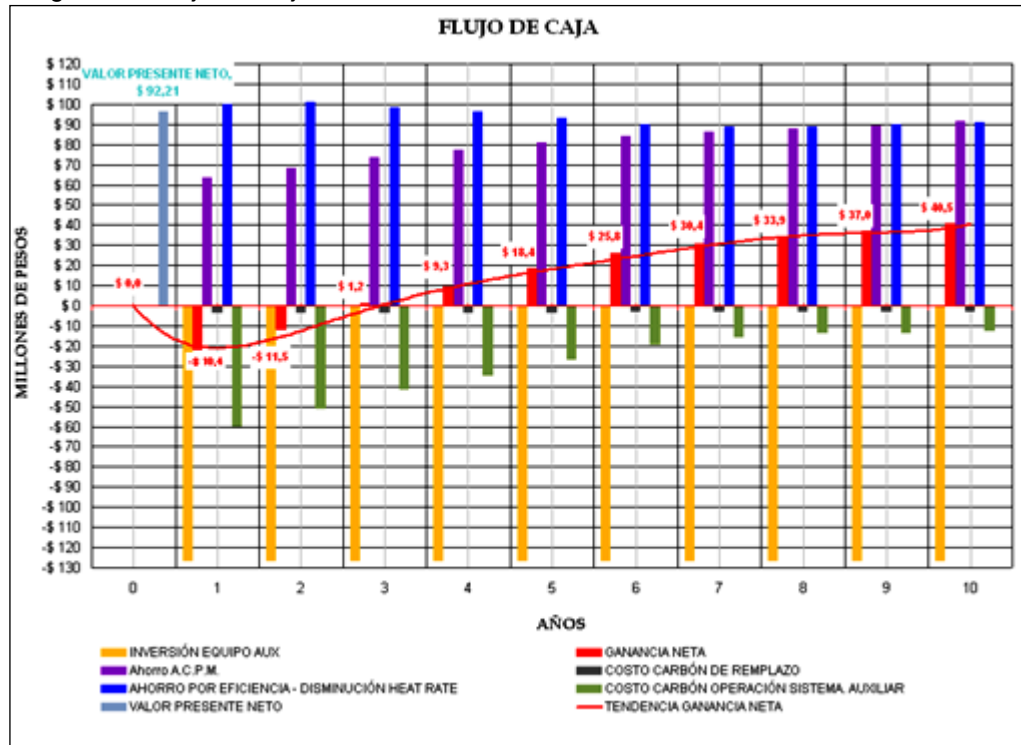


Figura 59. Flujo de Caja Inversión en Anualidades.



Ahora, si el costo de los equipos del sistema auxiliar se divide en pagos anuales en el transcurso de 10 años con un interés promedio de 5.8% anual, se tendría que realizar 10 pagos iguales de \$126'500,000. Siguiendo este análisis el flujo de caja se muestra en la Figura 59. Este diagrama permite concluir que a partir del segundo año se obtienen ganancias libres, con un valor presente neto igual al anterior análisis.

5. CONCLUSIONES

- ✓ Se analizó la factibilidad económica y energética de modificar el sistema de calentamiento de aire de combustión de la compañía eléctrica de Sochagota (Termopaipa IV) para lo cual:
 1. Se determinó que el flujo másico de vapor saturado requerido por el sistema auxiliar es de 7 [Ton/h] a una presión de 12 [bar].
 2. Se seleccionó una caldera pirotubular de parrilla viajera, con una capacidad de 500 [BHP] a una presión de 12 [bar], con su respectivo elevador de cangilones y un silo de 60 [Ton] para el almacenamiento del carbón necesario para el funcionamiento del sistema auxiliar por 5 días.
 3. Se determinó que la superficie de transferencia de calor del steam coil resulta demasiado grande cuando la demanda de calor por parte del aire de combustión no es máxima, siendo insuficiente el control que se hace al flujo de vapor para mantener la operación del fluido caliente dentro de la zona de diseño (zona de saturación).
- ✓ El tipo de caldera seleccionada no solo satisface los requerimientos de flujo y estado termodinámico del vapor (saturado a 12 [bar]) que exige el steam coil para el calentamiento del aire de combustión, sino también resulta ideal para quemar carbón no pulverizado con granulometrías del orden de 50[mm], lo que permite la utilización de las piritas como combustible en este equipo.
- ✓ La implementación del sistema auxiliar resulta atractiva, ya que logra una reducción en el consumo de A.C.P.M. de 33 [Ton/año] y una disminución del

Net Heat Rate de 19.9 [Kcal/KWh]. Lo que representa un ahorro anual de \$72'541,341, y \$104.29 millones respectivamente.

- ✓ El problema de almacenamiento del carbón de rechazo se elimina completamente, gracias a que la demanda diaria de carbón por el sistema auxiliar, supera la cantidad promedio diaria rechazada por los molinos. Así mismo el desgaste de los rodillos de los molinos generado por la alta abrasividad de las piritas se reducirá considerablemente al evitar la recirculación de este material, conllevando a alargar el período de mantenimiento y la vida útil de este equipo.

- ✓ El análisis económico realizado con el indicador del período de recuperación de la inversión, evidencia que en un tiempo de nueve años se cubrirá el costo de los equipos, lo cual revela la viabilidad de la implementación del sistema auxiliar, ya que la inversión se recupera en un tiempo menor al de la evaluación del proyecto (10 años). Por otro lado el indicador valor presente neto, ratifica la viabilidad del proyecto, debido a que permite una capitalización por un valor de \$92'021.000 millones, descontado al año cero del proyecto; es decir a pesos de hoy.

BIBLIOGRAFÍA

- The Babcock and Willcox Company. Steam its generation and use. J.B. Kitto and S.C. Stultz.2005.

- INCROPERA, Frank P. y DeWitt, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. Mèxico: Pearson Prentice Hall. Cuarta Edición.

- ASME. Power Test Codes for Fired Steam Generators, actualización de la norma ASME PTC-4.1.1964.

- CARD, Shield. Calderas. Primera edición en español, Editorial Continental S.A. 1978

- GAFFERT,G.A. Centrales de Vapor. Primera edición. Editorial Reverte S.A. 1981.

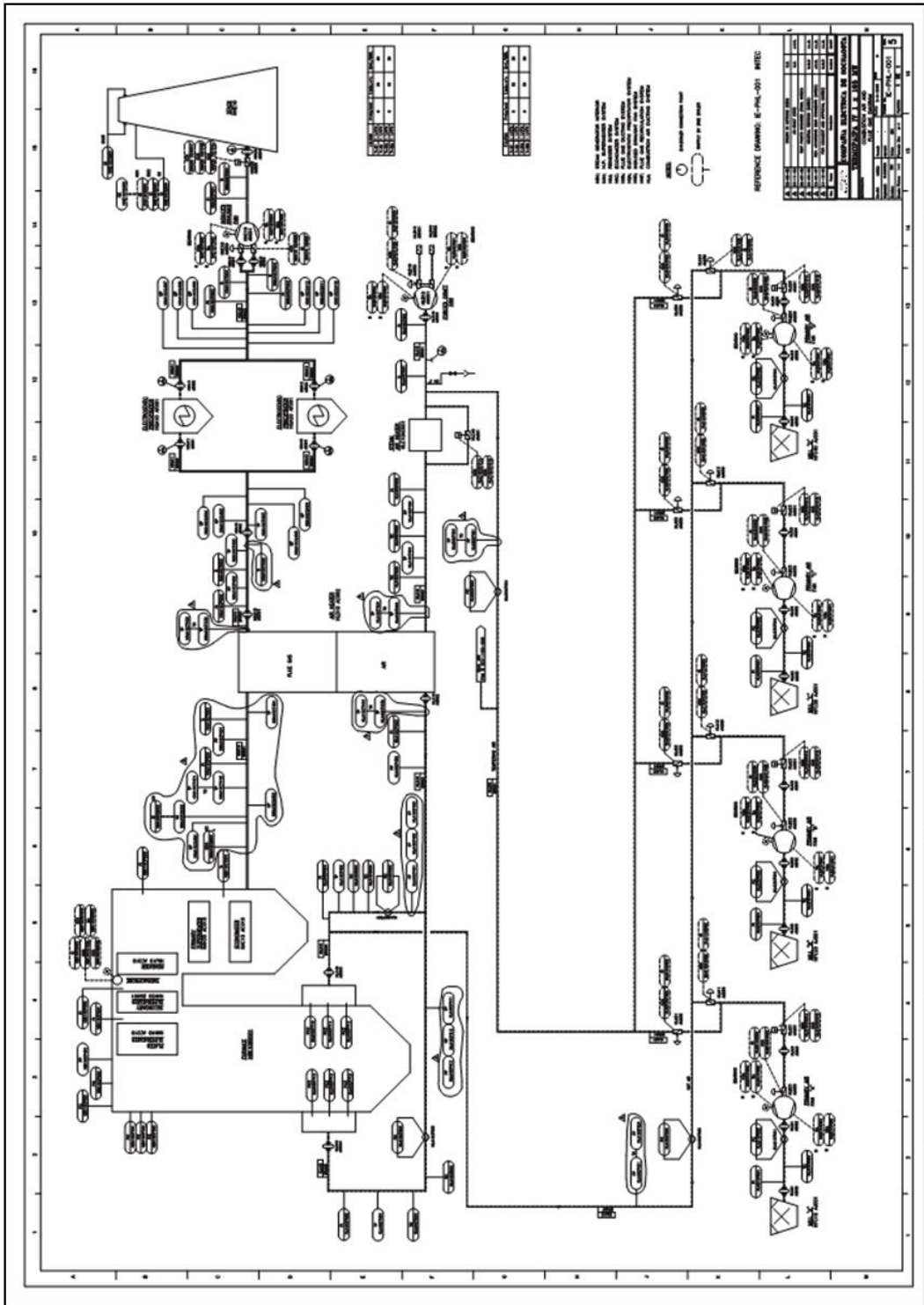
- KOHAN, Anthony L. Manual de Calderas. 4 edición, España: Mc Graw Hill. 2000. V

- WEB: http: // www.ecopetrol.com.co

- WEB:http: // www.upme.gov.co

6. ANEXOS

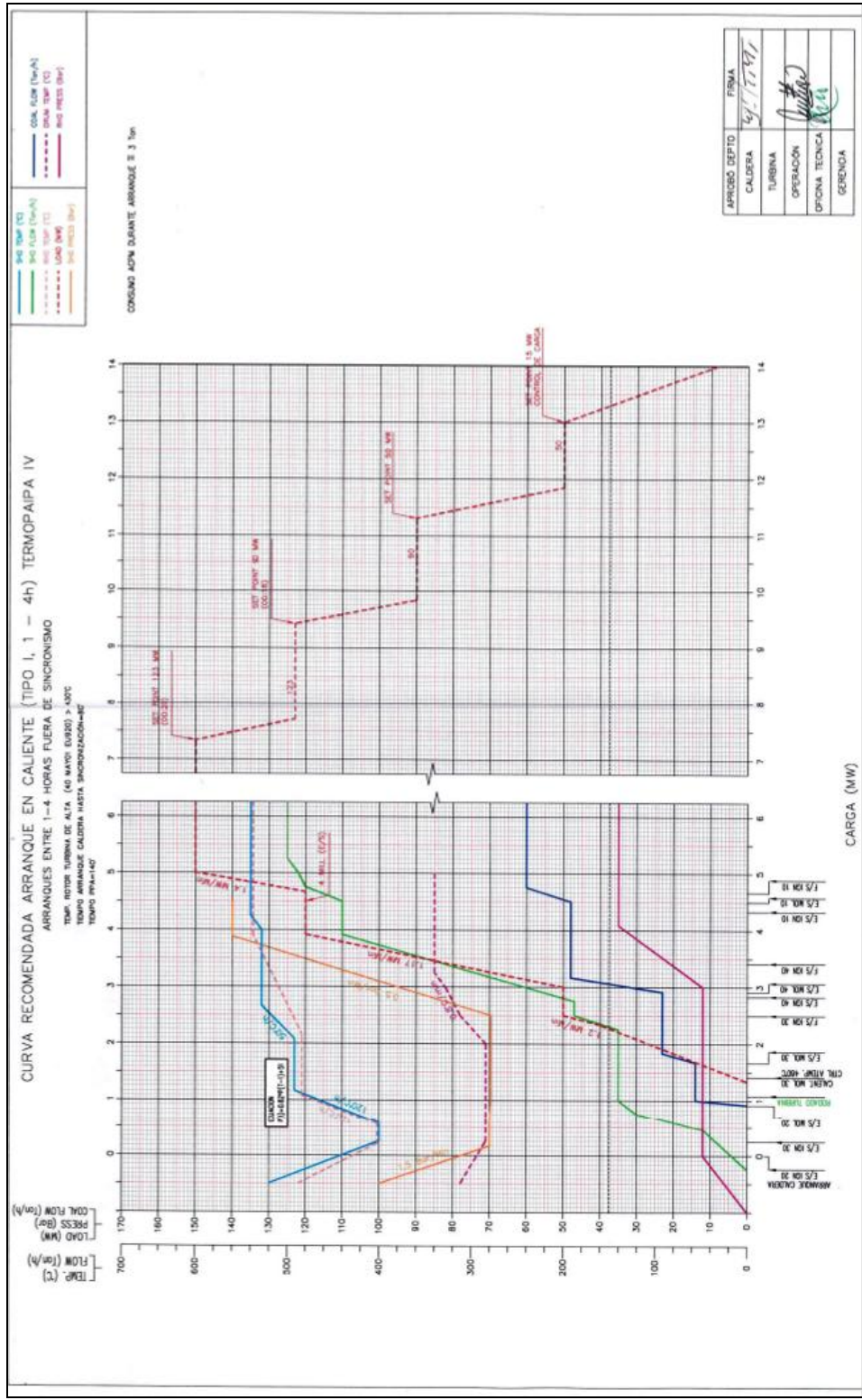
ANEXO A1. SISTEMA AIRE GASES.



ANEXO A2. CURVA DE ARRANQUE FRIO.

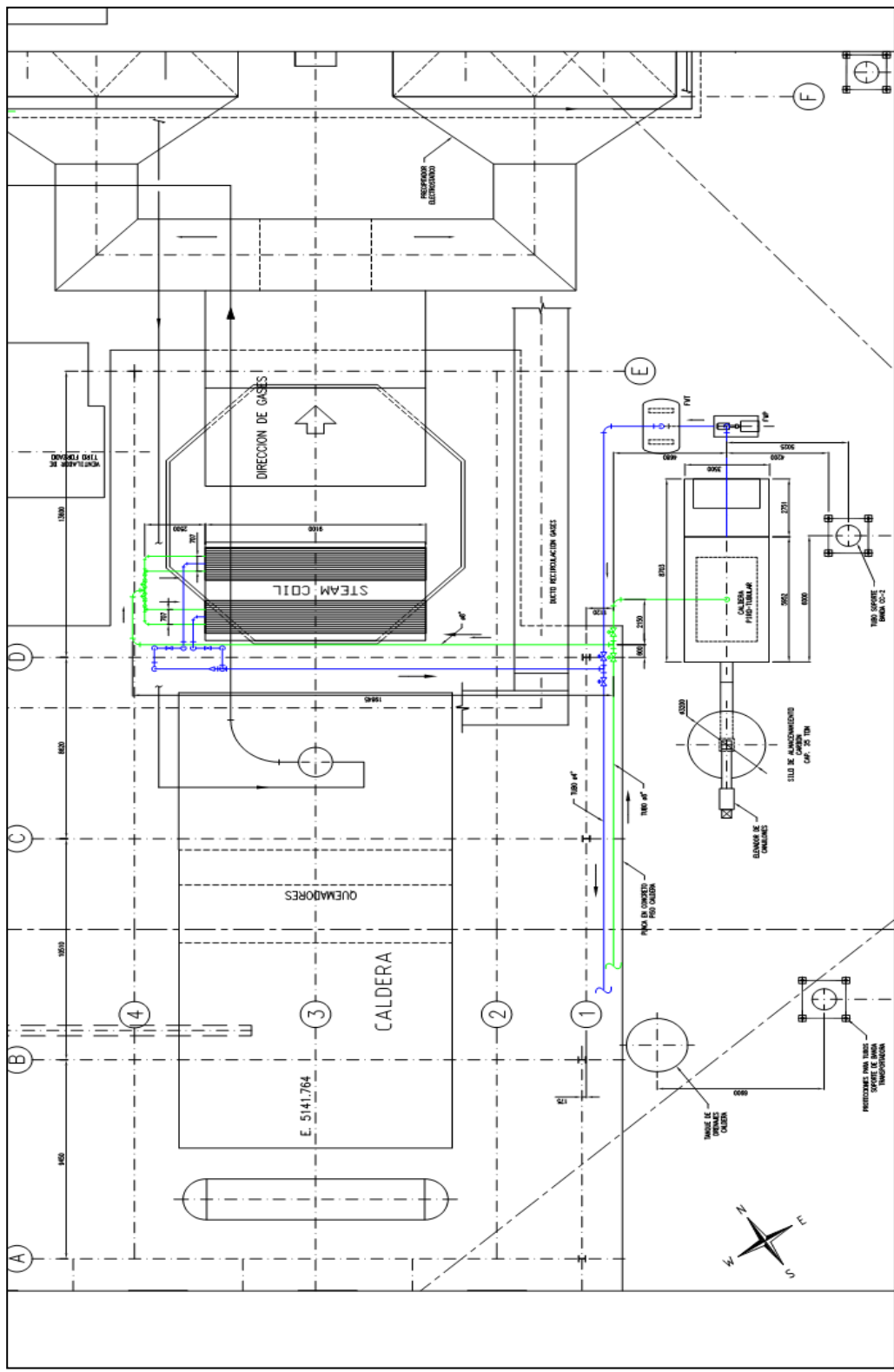
ANEXO A3. CURVA DE ARRANQUE TIBIO.

ANEXO A4. CURVA DE ARRANQUE CALIENTE.

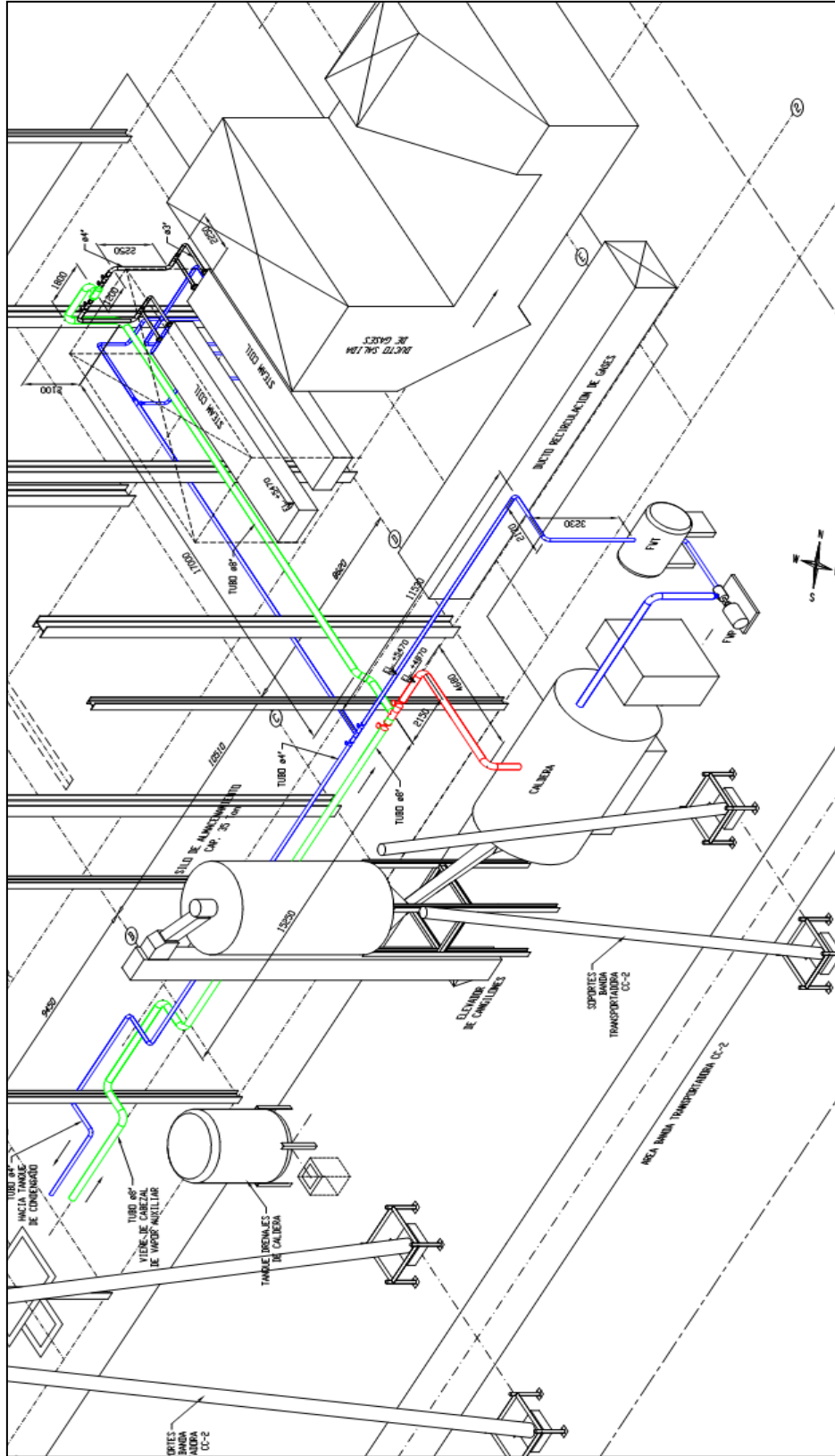


**ANEXO A5. DIAGRAMA AGUA VAPOR CALDERA PIROTUBULAR DE
PARRILLA VIAJERA.**

ANEXO A6. LAYOUT CALDERA PIROTUBULAR DE PARRILLA VIAJERA.



**ANEXO A7. ISOMETRICO UBICACIÓN EN PLANTA DE CALDERA
PIROTUBULAR DE PARRILLA VIAJERA.**



ANEXO A8. CÓDIGO DEL PROGRAMA EN MATLAB.

- El botón 1 hace referencia al botón CALCULAR de la interfaz principal. Los cálculos que ejecuta al accionar este botón son los siguientes.

```
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

global De Di Df s tf L Nt NL Kt Kc ts Hi UL Fob Hf EFcal

Geometria=[De Di;tf Nt];
isempty (Geometria)
if ans==1
    ERROR3
    stop3
end
```

- Cálculo individual para determinar el flujo másico de vapor que se requiere para calentar el aire.

```
load TablaAguaInc
load TablaAir
ma=str2double(get(handles.edit4,'string'));
Tas=str2double(get(handles.edit5,'string'));
Tae=str2double(get(handles.edit1,'string'));
Pv=str2double(get(handles.edit7,'string'));
Pa=str2double(get(handles.edit3,'string'));
Hr=str2double(get(handles.edit2,'string'));
H=str2double(get(handles.edit8,'string'))*4.184;
Tv=interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,1),Pv);
Tap=(Tae+Tas)/2;
if Tap<=1
    Cpa=1.006;
else
    Cpa=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,1),Tap);
end
Qa=ma*Cpa*(Tas-Tae);
Qv=Qa;
hfg=interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,6),Pv);
mvt=Qv/hfg;
mc=Qa*100/(H*EFcal);
```

- Cálculo del área del calentador de aire por vapor.

```

load FacC2
W=ma*2.205;
Hf=(Df-De)/2;
Dc=Di-2*ts;
Nf=(UL/s);
PP=4*Hf*Nf*12+2*(UL*12-Nf*tf*12);
Ai=(pi*Di*UL)*12/144;
Ab=De*pi*12*(UL-tf*Nf);
Af=(pi*((Df^2)-(De^2))/2)*Nf*12;
Aot=Ab+Af;
de=((2*(Af+Ab))/(pi*PP))/12;
as=((L*Hi)-(Nt*De*L)-Nt*(2*tf*Hf*Nf*L))/144;
Rog=1/(interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,4),Pv));
Rof=(1/(interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,3),Pv)))*1000;
Miug=(interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,11),Pv))/1000000;
Miuf=(interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,10),Pv))/1000000;
Kf=(interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,12),Pv))/1000;
Prf=interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,14),Pv);
mv=mvt/(2*Nt)/3600;
Aic=pi*((Di*0.0254)^2)/4;
Vg=(mv/(Rog*Aic));
Vf=(mv/(Rof*Aic));
Reg=Rog*Vg*Di*0.0254/Miug;
Ref=Rof*Vf*Di*0.0254/Miuf;
Gf=Vf*Rof;
Gv=Vg*Rog;
Rem=((Di*0.0254)*((Gv*Rof/Rog)^0.5))/Miuf+Gf;
hi=((0.026*(Prf^0.33)*(Rem^0.8)*Kf)/(Di*0.0254)*176.1/1000);
Gs=W/(as^2);
Roa=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,6),Tap);
Mia=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,5),Tap)*2419;
Ka=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,7),Tap)*578.8/1000;
Pr=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,8),Tap);
Cpa=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,1),Tap)/4.1868;
Res=de*Gs/Mia;

if (Res>=3000) && (Res<6000)
    Jf=(29.084*log(Res))-202.95;
elseif (Res>=6000) && (Res<9000)
    Jf= 2e-09*Res^3-3e-05*Res^2+0.252*Res-580;
elseif (Res>=9000) && (Res<20000)
    Jf=0.0053*Res+20.331;
elseif (Res>=20000) && (Res<60000)
    Jf=1e-12*Res^3-7e-08*Res^2+0.0026*Res+92;
elseif (Res>=60000) && (Res<90000)
    Jf=8e-12*Res^3+2e-06*Res^2-0.1365*Res+3449;
elseif (Res>=90000) && (Res<150000)
    Jf=0.0024*Res+135.16;
elseif (Res>=150000) && (Res<400000)
    Jf=4e-14*Res^3-4e-08*Res^2+0.0126*Res-650;
elseif (Res>=400000) && (Res<1000000)
    Jf=4e-15*Res^3-9e-09*Res^2+0.0075*Res-1025;
end

```

```

hf=Jf*(Ka/de)*(Cpa*MiuA/Ka)^0.33;
Lc=( (Df-De)/2)/12;
Ap=Lc*(tf/12);
F=(Lc^1.5)*((hf/(Kt*Ap))^0.5);
r2c=( (Df+tf)/2)/12;
r1=(Df/2)/12;
R=(r2c/r1);
if (R)<=2) && (R)>=1)
    Eff1=(99.5042+41.8226*F)/(1+0.4061*F+0.7875*F^2);
    Eff2=1/(0.010067+0.00736*F^1.80991);
    Ef=[1 Eff1;2 Eff2];
    Effic=interp1(Ef(:,1),Ef(:,2),R)/100;
elseif (R)>2) && (R)<=3)
    Eff2=1/(0.010067+0.00736*F^1.80991);
    Eff3=(99.8301+10.069*F)/(1+0.28553*F+0.8972*F^2);
    Ef=[2 Eff2;3 Eff3];
    Effic=interp1(Ef(:,1),Ef(:,2),R)/100;
elseif (R)>3) && (R)<=5)
    Eff3=(99.8301+10.069*F)/(1+0.28553*F+0.8972*F^2);
    Eff5=1/(0.0100028+0.00296*F+0.00896*F^2);
    Ef=[3 Eff3;5 Eff5];
    Effic=interp1(Ef(:,1),Ef(:,2),R)/100;
end
hdo=1/Fob;
hfi=hdo*hf/(hf+hdo);
hpfi=(Effic*(Af/144)+(Ab/144))*hfi/Ai;
Rt=(1/hi)+(1/hpfi)+0.003;
Ui=1/Rt;
LMTD=(((Tv-273)*1.8+32)-(1.8*Tae+32))-(((Tv-273)*1.8+32)-
(1.8*Tas+32))/(log(((Tv-273)*1.8+32)-(1.8*Tae+32))/(((Tv-273)*1.8+32)-
(1.8*Tas+32)));
Q1=(Ui*Ai*(L/12)*2*LMTD*Nt)*2);
Aii=Qv/(LMTD*Ui);
Almod=pi*Di^2*L*23/144;
Nmod=Aii/Almod;

valor1=get(handles.popupmenu1,'value');
if valor1==1
    set(handles.edit6,'string',mvt);
    set(handles.edit11,'string',mc);
    set(handles.edit14,'string',Qv);
    set(handles.edit17,'string',Q1);
    set(handles.edit92,'string',Nmod);
elseif valor1==2
    set(handles.edit9,'string',mvt);
    set(handles.edit12,'string',mc);
    set(handles.edit15,'string',Qv);
    set(handles.edit18,'string',Q1);
    set(handles.edit115,'string',Nmod);
elseif valor1==3
    set(handles.edit10,'string',mvt);
    set(handles.edit13,'string',mc);
    set(handles.edit16,'string',Qv);
    set(handles.edit19,'string',Q1);

```

```

    set(handles.edit116, 'string', Nmod);
end

```

- Análisis según tipo de datos. (Botón Adquirir Datos).

Executes on button press in pushbutton3.

```

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

set(handles.pushbutton4, 'visible', 'off');
global U
U=0;
Hojal=0;
uiimport -file
pause(15)
while U==0
    pause(5)
    U=Hojal;
end
set(handles.pushbutton4, 'visible', 'on');

```

- (Botón Registrar).

% --- Executes on button press in pushbutton4.

```

function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

global U z MDT EFcal valor2

```

```

valor2=get(handles.popupmenu3, 'value');
if valor2==1
    EFcal=str2double(get(handles.edit91, 'string'));
    if EFcal==0
        ERROR1
        stop
    else
    end
    load TablaAguaInc
    load TablaAir
    Pv=str2double(get(handles.edit7, 'string'));
    t=str2double(get(handles.edit20, 'string'))/60;
    precioACPM=str2double(get(handles.edit57, 'string'))/4186800;

```

```

    PCacpm=str2double(get(handles.edit59,'string'));
    precioCARBON=str2double(get(handles.edit22,'string'))/4186800;
    PCcarbon=str2double(get(handles.edit8,'string'))*4.184;
    CARBONtotal=0;
    ACPMtotal=0;
    cont=0;
    j=size(U);
    z=j(1,1);
    vaportotal=0;
    MDT=[];
    for n=1:1:z
        cont=cont+1;
        Tas1=U(n,2);
        Tael=U(n,5);
        Tap1=(Tael+Tas1)/2;
    ma1=U(n,4)*1000;
    if Tap1<=1
        Cpa1=1.006;
        else
        Cpa1=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,1),Tap1);
        end
        Qa1=ma1*Cpa1*(Tas1-Tael);
    Qv1=Qa1;
        hfg1=interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,6),Pv);
        mvt1=Qv1/hfg1;
        dT=Tas1-Tael;
        mdT=dT*ma1;
        MDT(n,:)=[mdT Tap1 Tael Tas1 ma1];
        vapor=mvt1*t;
        vaportotal=vaportotal+vapor;
        CARBON=U(n,7)*t;
        CARBONtotal=CARBONtotal+CARBON;
        EnerCARBON=CARBONtotal*PCcarbon*1000;
    costoCARBON=EnerCARBON*precioCARBON;
    ACPM=U(n,6)*t;
        ACPMtotal=ACPMtotal+ACPM;
    EnerACPM=ACPMtotal*PCacpm*1000;
    costoACPM=EnerACPM*precioACPM;
    end

    MaxMDT=max(MDT(:,1));
    for b=1:1:z
        B=MDT(b,1);
        if MaxMDT==B
            Tap1max=MDT(b,2);
            break
        else
            end
    end
    Taemax1=MDT(b,3);
    Tasmx1=MDT(b,4);
    mamax1=MDT(b,5);
    Cpalmax=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,1),Tap1max);
    set(handles.edit1,'string',Taemax1);

```

```

set(handles.edit5, 'string', Tasmxl);
set(handles.edit4, 'string', mamaxl);
Qvlmax=MaxMDT*Cpalmax;
mvtlmax=Qvlmax/hfg1;
mc2=mvtlmax*hfg1/((EFcal/100)*PCcarbon);
mc2tot=mc2*12;
Qvlmax=MaxMDT*Cpalmax;
mvtlmax=Qvlmax/hfg1;
valor1=get(handles.popupmenu1, 'value');
if valor1==1
    set(handles.edit62, 'string', mvtlmax);
    set(handles.edit21, 'string', mc2);
    set(handles.edit60, 'string', ACPMtotal*1000);
    set(handles.edit61, 'string', costoACPM);
    set(handles.edit117, 'string', CARBONtotal*1000);
    set(handles.edit23, 'string', costoCARBON);
    clear
elseif valor1==2
    set(handles.edit62, 'string', mvtlmax);
    set(handles.edit21, 'string', mc2);
    set(handles.edit60, 'string', ACPMtotal*1000);
    set(handles.edit61, 'string', costoACPM);
    set(handles.edit117, 'string', CARBONtotal*1000);
    set(handles.edit23, 'string', costoCARBON);
    clear
elseif valor1==3
    set(handles.edit62, 'string', mvtlmax);
    set(handles.edit21, 'string', mc2);
    set(handles.edit60, 'string', ACPMtotal*1000);
    set(handles.edit61, 'string', costoACPM);
    set(handles.edit117, 'string', CARBONtotal*1000);
set(handles.edit23, 'string', costoCARBON);
    clear
end
clear
elseif valor2==2
    EFcal=str2double(get(handles.edit91, 'string'));
    if EFcal==0
        ERROR1
        stop
    else
    end
load TablaAguaInc
load TablaAir
Pv=str2double(get(handles.edit7, 'string'));
H=str2double(get(handles.edit8, 'string'))*4.184;
t=str2double(get(handles.edit20, 'string'))/60;
precio=str2double(get(handles.edit22, 'string'))/4186800;
cont=0;
carbontotal=0;
j=size(U);
z=j(1,1);
vaportotal=0;
MDT=[];

```

```

    for n=1:1:z
        cont=cont+1;
        Tas1=U(n,2);
Tae1=U(n,5);
        Tap1=(Tae1+Tas1)/2;
        ma1=U(n,4)*1000;
        if Tap1<=1
            Cpa1=1.006;
        else
            Cpa1=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,1),Tap1);
        end
        Qa1=ma1*Cpa1*(Tas1-Tae1);
Qv1=Qa1;
        hfg1=interp1(TablaAguaIncr(:,2),TablaAguaIncr(:,6),Pv);
        mvt1=Qv1/hfg1;
        dT=Tas1-Tae1;
        mdT=dT*ma1;
        MDT(n,:)=[mdT Tap1 Tae1 Tas1 ma1];
        mc1=Qa1/H;
        carbon=mc1*t;
        MC1(cont)=carbon;
        vapor=mvt1*t;
        vaportotal=vaportotal+vapor;
carbontotal=carbontotal+carbon;
        end

        MaxMDT=max(MDT(:,1));
b=1:1:z
        B=MDT(b,1);
        if MaxMDT==B
            Tap1max=MDT(b,2);
            break
        else
            end
        end
Taemax1=MDT(b,3);
Tasmax1=MDT(b,4);
mamax1=MDT(b,5);
Cpalmax=interp1(TablaAire(:,2),TablaAire(:,1),Tap1max);
set(handles.edit1,'string',Taemax1);
set(handles.edit5,'string',Tasmax1);
set(handles.edit4,'string',mamax1);
Qv1max=MaxMDT*Cpalmax;
mvt1max=Qv1max/hfg1;
Ener=carbontotal*H;
costo=Ener*precio;
mc2=mvt1max*hfg1/((EFcal/100)*H);
mc2tot=mc2*12;
Qv1max=MaxMDT*Cpalmax;
mvt1max=Qv1max/hfg1;
Ener=carbontotal*H;
costo=Ener*precio;
mc2=mvt1max*hfg1/((EFcal/100)*H);
mc2tot=mc2*12;
for

```

```

valor1=get(handles.popupmenu1,'value');
if valor1==1
    set(handles.edit62,'string',mvtlmax);
    set(handles.edit21,'string',carbontotal);
    set(handles.edit23,'string',costo);
    clear
elseif valor1==2
    set(handles.edit66,'string',mvtlmax);
    set(handles.edit67,'string',mvtlmin);
    set(handles.edit38,'string',carbontotal);
    set(handles.edit39,'string',costo);
    clear
elseif valor1==3
    set(handles.edit66,'string',mvtlmax);
    set(handles.edit67,'string',mvtlmin);
    set(handles.edit38,'string',carbontotal);
    set(handles.edit39,'string',costo);
    clear
end

elseif valor2==3
    H=str2double(get(handles.edit8,'string'))*4.184;
    t=str2double(get(handles.edit20,'string'))/60;
    precio=str2double(get(handles.edit22,'string'))/4186800;
    precioACPM=str2double(get(handles.edit57,'string'))/4186800;
    PCacpm=str2double(get(handles.edit59,'string'));
    ACPMtotal=0;
    cont=0;
    j=size(U);
    z=j(1,1);
    for n=1:1:z
        ACPM=U(n,2)*t;
        ACPMtotal=ACPMtotal+ACPM;
        EnerACPM=ACPMtotal*PCacpm*1000;
        costoACPM=EnerACPM*precioACPM;
    end
    valor1=get(handles.popupmenu1,'value');
    if valor1==1
        set(handles.edit60,'string',ACPMtotal*1000);
        set(handles.edit61,'string',costoACPM);
        clear
    elseif valor1==2
        set(handles.edit60,'string',ACPMtotal*1000);
        set(handles.edit61,'string',costoACPM);
        clear
    elseif valor1==3
        set(handles.edit60,'string',ACPMtotal*1000);
        set(handles.edit61,'string',costoACPM);
        clear
    end
clear
elseif valor2==4
    H=str2double(get(handles.edit8,'string'))*4.184;
    t=str2double(get(handles.edit20,'string'))/60;

```

```

        precioCARBON=str2double(get(handles.edit22,'string'))/4186800;
PCcarbon=str2double(get(handles.edit8,'string'));
    CARBONtotal=0;
    j=size(U);
    z=j(1,1);
    for n=1:1:z
        CARBON=U(n,2)*t;
        CARBONtotal=CARBONtotal+CARBON;
        EnerCARBON=CARBONtotal*PCcarbon*1000;
costoCARBON=EnerCARBON*precioCARBON;
    end
    valor1=get(handles.popupmenu1,'value');
    if valor1==1
        set(handles.edit117,'string',CARBONtotal*1000);
set(handles.edit23,'string',costoCARBON);
        clear
    elseif valor1==2
        set(handles.edit117,'string',CARBONtotal*1000);
set(handles.edit23,'string',costoCARBON);
        clear
    elseif valor1==3
        set(handles.edit117,'string',CARBONtotal*1000);
set(handles.edit23,'string',costoCARBON);
        clear
    end
clear
end

```

- Este botón (Flujo y Temperaturas) hace referencia a la función Gráficas.

```

% --- Executes on button press in pushbutton10.
function pushbutton10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

Graficas

- Función Graficas.

```

function Graficas
global U z MDT
cuent=0;
b=0;
for e=1:1:z
    if b==1,break, end
    cuent=cuent+1;
    u=U(e,1);

```

```

    if u==0
        cuent=cuent-1;
        for p=e:1:z
            cuent=cuent+1;
            u=U(p,1);
            u=u+1;
            U(cuent,1)=u;
        end
        b=1;
    else
        end
end
figure
subplot(2,2,1);plot(U(:,1),U(:,2),'LineWidth',3,'Color','b');
hold on
plot(U(:,1),U(:,5),'LineWidth',3,'Color','r'); grid minor
title('TEMPERATURAS ENTRADA Y SALIDA DEL STEAM COIL')
xlabel('HORA');
ylabel('TEMPERATURA [°C]');
datetick('x',13)
subplot(2,2,2);plot(U(:,1),U(:,4),'LineWidth',3,'Color','r'); grid minor
title('FLUJO AIRE');
xlabel('HORA');
ylabel('FLUJO AIRE [Ton/h]');
datetick('x',13)
subplot(2,2,3);plot(U(:,1),MDT(:,1),'LineWidth',3,'Color','r'); grid
minor
title('POTENCIA');
xlabel('HORA');
ylabel('POTENCIA [MW]');
datetick('x',13)

```

- Este botón (Suministro Combustibles) hace referencia a la función Gráficas1.

```

    % --- Executes on button press in pushbutton14.
function pushbutton14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

Graficas1

- Función Graficas1.

```

function Graficas1
global U z valor2

```

```

if valor2==1

```

```

    cuent=0;
    b=0;
for e=1:1:z
    if b==1,break, end
    cuent=cuent+1;
    a=U(e,1);
    if a==0
        cuent=cuent-1;
        for p=e:1:z
            cuent=cuent+1;
            a=U(p,1);
            a=a+1;
            U(cuent,1)=a;
        end
        b=1;
    else
    end
end
figure
subplot(2,1,1);plot(U(:,1),U(:,6),'b'); grid minor
title('CONSUMO DE A.C.P.M.')
xlabel('HORA');
ylabel('FLUJO A.C.P.M. [Ton/h]')
subplot(2,1,2);plot(U(:,1),U(:,7),'g'); grid minor
title('CONSUMO DE CARBÓN')
xlabel('HORA');
ylabel('FLUJO DE CARBÓN [Ton/h]')
datetick('x',13)
elseif valor2==2
    ERROR2
    stop
elseif valor2==3
    cuent=0;
    b=0;
    for e=1:1:z
        if b==1,break, end
        cuent=cuent+1;
        a=U(e,1);
        if a==0
            cuent=cuent-1;
            for p=e:1:z
                cuent=cuent+1;
                a=U(p,1);
                a=a+1;
                U(cuent,1)=a;
            end
            b=1;
        else
        end
    end
    figure
    plot(U(:,1),U(:,2),'b'); grid minor
    title('CONSUMO DE A.C.P.M.')
    xlabel('HORA');

```

```

        ylabel('FLUJO A.C.P.M. [Ton/h]')
        datetick('x',13)
elseif valor2==4
    cuent=0;
    b=0;
    for e=1:1:z
        if b==1,break, end
        cuent=cuent+1;
        a=U(e,1);
        if a==0
            cuent=cuent-1;
            for p=e:1:z
                cuent=cuent+1;
                a=U(p,1);
                a=a+1;
                U(cuent,1)=a;
            end
            b=1;
        else
            end
        end
    figure
    plot(U(:,1),U(:,2),'b'); grid minor
    title('CONSUMO DE CARBÓN')
    xlabel('HORA');
    ylabel('FLUJO CARBÓN [Ton/h]')
    datetick('x',13)
end

```

- Cálculo de la Eficiencia de la caldera piro tubular (Botón Efi.Caldera).

```

% --- Executes on button press in pushbutton13.
function pushbutton13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

global EFcal

C=str2double(get(handles.edit83,'string'));
H2=str2double(get(handles.edit90,'string'));
N2=str2double(get(handles.edit86,'string'));
S=str2double(get(handles.edit84,'string'));
O2=str2double(get(handles.edit85,'string'));
H2O=str2double(get(handles.edit87,'string'));
excA=str2double(get(handles.edit88,'string'))/100;
MC=12.011;MH2=2.016;MN2=28.013;MS=32;MO2=32.066;MH2O=18.015;
MCO2=44.01;MSO2=64.065;MO2p=31.999;MN2p=28.158;
nC=C/MC
nH2=H2/MH2;
nN2=N2/MN2;

```

```

nS=S/MS;
nO2=O2/MO2;
nH2O=H2O/MH2O
nO2T=nC+ (nH2/2) +nS-nO2;
nO2exc=nO2T*excA;
nO2R=nO2T*(excA+1);
nAireR=3.77*nO2R+nO2R;
nCO2=nC;
nSO2=nS;
nH2Op=nH2+nH2O;
nO2p=nO2exc;
nN2p=nN2+3.77*nO2R;
Tnp=nCO2+nSO2+nO2p+nN2p;

VCO2=nCO2*100/Tnp;
VSO2=nSO2*100/Tnp;
VO2=nO2p*100/Tnp;
VN2=nN2p*100/Tnp;

SO2=nSO2*MSO2;
CO2=nCO2*MCO2;
O2p=nO2p*MO2p;
N2p=nN2p*MN2p;
Totalgas=CO2+SO2+O2p+N2p;
Tgas=572;
CpCO2=(16.2-(6.53e3/Tgas)+(1.4e6/Tgas^2))/44.01;
CpN2=(9.47-(3.47e3/Tgas)+(1.16e6/(Tgas^2)))/28.02;
CpO2=(11.515-(172/Tgas^0.5)+(1530/Tgas))/32;
Mgas=44.01*VCO2+32*VO2+28.02*VN2;
Cpdg=(44.01*VCO2*CpCO2+32*VO2*CpO2+28.02*VN2*CpN2)/Mgas;
HL=Totalgas*Cpdg*(Tgas-50);
Efgas=HL*100/865815;
EFcal=100-Efgas;
set(handles.edit91,'string',EFcal);

```

ANEXO A9. CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS FINANCIERO.

La Tabla 21, muestra el número de arranques por año y la cantidad de A.C.P.M. y carbón que se consume actualmente en estos períodos. Con estos valores y la proyección de precios dada por la UPME, se calcula el costo por combustibles en los arranques a través de los 10 años de evaluación del proyecto. Para el A.C.P.M. los resultados se muestran en la Tabla 22, para el carbón en la Tabla 23 y el costo total por año en la Tabla 24.

Tabla 21. Consumo Actual de A.C.P.M. y Carbón en los Arranques

Tipo de Arranque	NÚMERO DE ARRANQUES POR AÑO	A.C.P.M	CARBÓN
		Cantidad [Ton]	Cantidad [Ton]
Frío	9	24	174
Tibio	31	6	121
TOTAL	40	30	295

Tabla 22 Costo A.C.P.M.

ANÁLISIS COSTO A.C.P.M	AÑO	Precio Minorista [\$/GAL]	Precio Mayorista [\$/GAL]	Precio Mayorista [\$/Ton]	COSTO ARRANQUE FRÍO PROMEDIO [\$]	COSTO ARRANQUE TIBIO PROMEDIO [\$]	COSTO TOTAL ARRANQUE FRÍO 1 AÑO [\$]	COSTO TOTAL ARRANQUE TIBIO 1 AÑO [\$]	TOTAL MILLONES [\$]
0	2010	\$ 5,500.4	\$ 7,150.5	\$ 2,196,692.9	\$ 52,720,629.2	\$ 13,180,157.3	\$ 474,485,662.5	\$ 408,584,876.0	-\$ 883.1
1	2011	\$ 5,876.4	\$ 7,639.3	\$ 2,346,885.2	\$ 56,325,244.7	\$ 14,081,311.2	\$ 506,927,202.2	\$ 436,520,646.4	-\$ 943.4
2	2012	\$ 6,361.3	\$ 8,269.6	\$ 2,540,513.3	\$ 60,972,320.4	\$ 15,243,080.1	\$ 548,750,883.2	\$ 472,535,482.8	-\$ 1,021.3
3	2013	\$ 6,668.8	\$ 8,669.4	\$ 2,663,324.6	\$ 63,919,791.1	\$ 15,979,947.8	\$ 575,278,119.9	\$ 495,378,381.0	-\$ 1,070.7
4	2014	\$ 7,003.1	\$ 9,104.0	\$ 2,796,831.1	\$ 67,123,947.0	\$ 16,780,986.8	\$ 604,115,523.3	\$ 520,210,589.5	-\$ 1,124.3
5	2015	\$ 7,271.8	\$ 9,453.3	\$ 2,904,146.7	\$ 69,699,521.4	\$ 17,424,880.3	\$ 627,295,692.3	\$ 540,171,290.6	-\$ 1,167.5
6	2016	\$ 7,444.2	\$ 9,677.4	\$ 2,973,002.7	\$ 71,352,064.1	\$ 17,838,016.0	\$ 642,168,577.3	\$ 552,978,497.1	-\$ 1,195.1
7	2017	\$ 7,589.0	\$ 9,865.8	\$ 3,030,859.9	\$ 72,740,637.2	\$ 18,185,159.3	\$ 654,665,734.4	\$ 563,739,937.9	-\$ 1,218.4
8	2018	\$ 7,728.7	\$ 10,047.3	\$ 3,086,624.4	\$ 74,078,985.0	\$ 18,519,746.2	\$ 666,710,864.8	\$ 574,112,133.6	-\$ 1,240.8
9	2019	\$ 7,883.9	\$ 10,249.1	\$ 3,148,619.1	\$ 75,566,858.2	\$ 18,891,714.5	\$ 680,101,723.4	\$ 585,643,150.7	-\$ 1,265.7
10	2020	\$ 7,973.0	\$ 10,364.9	\$ 3,184,203.3	\$ 76,420,878.0	\$ 19,105,219.5	\$ 687,787,902.1	\$ 592,261,804.6	-\$ 1,280.0

Tabla 23 Costo Carbón.

ANÁLISIS COSTO CARBÓN	AÑO	Precio Carbón [US/Ton]	Precio Carbón [\$/Ton]	COSTO ARRANQUE FRÍO PROMEDIO [\$]	COSTO ARRANQUE TIBIO PROMEDIO [\$]	COSTO TOTAL ARRANQUE FRÍO 1 AÑO [\$]	COSTO TOTAL ARRANQUE TIBIO 1 AÑO [\$]	TOTAL MILLONES [\$]
0	2010	USD 30.16 /Ton	\$ 60,320.0 /Ton	\$ 10,495,680.0	\$ 7,298,720.0	\$ 94,461,120.0	\$ 226,260,320.0	-320.72144
1	2011	USD 29.21 /Ton	\$ 58,420.0 /Ton	\$ 10,165,080.0	\$ 7,068,820.0	\$ 91,485,720.0	\$ 219,133,420.0	-310.61914
2	2012	USD 28.39 /Ton	\$ 56,780.0 /Ton	\$ 9,879,720.0	\$ 6,870,380.0	\$ 88,917,480.0	\$ 212,981,780.0	-301.89926
3	2013	USD 27.75 /Ton	\$ 55,500.0 /Ton	\$ 9,657,000.0	\$ 6,715,500.0	\$ 86,913,000.0	\$ 208,180,500.0	-295.0935
4	2014	USD 26.87 /Ton	\$ 53,740.0 /Ton	\$ 9,350,760.0	\$ 6,502,540.0	\$ 84,156,840.0	\$ 201,578,740.0	-285.73558
5	2015	USD 26.03 /Ton	\$ 52,060.0 /Ton	\$ 9,058,440.0	\$ 6,299,260.0	\$ 81,525,960.0	\$ 195,277,060.0	-276.80302
6	2016	USD 25.63 /Ton	\$ 51,260.0 /Ton	\$ 8,919,240.0	\$ 6,202,460.0	\$ 80,273,160.0	\$ 192,276,260.0	-272.54942
7	2017	USD 25.67 /Ton	\$ 51,340.0 /Ton	\$ 8,933,160.0	\$ 6,212,140.0	\$ 80,398,440.0	\$ 192,576,340.0	-272.97478
8	2018	USD 26.05 /Ton	\$ 52,100.0 /Ton	\$ 9,065,400.0	\$ 6,304,100.0	\$ 81,588,600.0	\$ 195,427,100.0	-277.0157
9	2019	USD 26.29 /Ton	\$ 52,580.0 /Ton	\$ 9,148,920.0	\$ 6,362,180.0	\$ 82,340,280.0	\$ 197,227,580.0	-279.56786
10	2020	USD 26.54 /Ton	\$ 53,080.0 /Ton	\$ 9,235,920.0	\$ 6,422,680.0	\$ 83,123,280.0	\$ 199,103,080.0	-282.22636

Tabla 24. Costo Total Anual.

AÑO	COSTO TOTAL DE COMBUSTIBLES EN ARRANQUES POR AÑO
2010	-\$ 1,203.8
2011	-\$ 1,254.1
2012	-\$ 1,323.2
2013	-\$ 1,365.8
2014	-\$ 1,410.1
2015	-\$ 1,444.3
2016	-\$ 1,467.7
2017	-\$ 1,491.4
2018	-\$ 1,517.8
2019	-\$ 1,545.3
2020	-\$ 1,562.3

Considerando el aporte de energía que logra el sistema auxiliar a la caldera principal, se obtiene una reducción en el tiempo de suministro de A.C.P.M. de 13.4 minutos para el arranque en frío y 5.22 minutos para el arranque tibio, por cada hora que se utilice este sistema antes del arranque actual. La energía que aportaba el A.C.P.M. en este tiempo será remplazada por la energía del carbón.

En la Tabla 25, se muestra la cantidad ahorrada de combustible secundario y la cantidad de carbón para el remplazo de energía si este sistema se encendiera dos horas antes de los arranques mencionados.

La Tabla 26, muestra la equivalencia del ahorro de A.C.P.M. en pesos. Este valor es calculado con el precio de este combustible esperado para cada año.

Así mismo en la Tabla 27, se observa el costo del carbón de remplazo que se tendría que suministrar.

Tabla 25. A.C.P.M. Ahorrado y Carbón de Reemplazo.

Tipo de Arranque	NÚMERO DE ARRANQUES POR AÑO	A.C.P.M AHORRADO	CARBÓN DE REMPLAZO
		Cantidad [Ton]	Cantidad [Ton]
Frío	9	1.5	2.794608775
Tibio	31	0.5	0.931536258
TOTAL	40	2	3.726145033

Tabla 26. Ahorro Total de A.C.P.M por Año en Pesos.

ANÁLISIS COSTO A.C.P.M	AÑO	AHORRO POR ACPM EN ARRANQUE FRÍO PROMEDIO [S]	AHORRO POR ACPM EN ARRANQUE TIBIO PROMEDIO [S]	AHORRO TOTAL POR ACPM EN ARRANQUE FRÍO ACUMULADO A 1 AÑO [S]	AHORRO TOTAL ARRANQUE TIBIO ACUMULADO A 1 AÑO [S]	TOTAL AHORRO ACUMULADO AL AÑO DE A.C.P.M EN MILLONES [S]
0	2010	\$ 3,295,039.3	\$ 1,098,346.4	\$ 29,655,353.9	\$ 34,048,739.7	\$ 0.0
1	2011	\$ 3,520,327.8	\$ 1,173,442.6	\$ 31,682,950.1	\$ 36,376,720.5	\$ 63.7
2	2012	\$ 3,810,770.0	\$ 1,270,256.7	\$ 34,296,930.2	\$ 39,377,956.9	\$ 68.1
3	2013	\$ 3,994,986.9	\$ 1,331,662.3	\$ 35,954,882.5	\$ 41,281,531.8	\$ 73.7
4	2014	\$ 4,195,246.7	\$ 1,398,415.6	\$ 37,757,220.2	\$ 43,350,882.5	\$ 77.2
5	2015	\$ 4,356,220.1	\$ 1,452,073.4	\$ 39,205,980.8	\$ 45,014,274.2	\$ 81.1
6	2016	\$ 4,459,504.0	\$ 1,486,501.3	\$ 40,135,536.1	\$ 46,081,541.4	\$ 84.2
7	2017	\$ 4,546,289.8	\$ 1,515,429.9	\$ 40,916,608.4	\$ 46,978,328.2	\$ 86.2
8	2018	\$ 4,629,936.6	\$ 1,543,312.2	\$ 41,669,429.0	\$ 47,842,677.8	\$ 87.9
9	2019	\$ 4,722,928.6	\$ 1,574,309.5	\$ 42,506,357.7	\$ 48,803,595.9	\$ 89.5
10	2020	\$ 4,776,304.9	\$ 1,592,101.6	\$ 42,986,743.9	\$ 49,355,150.4	\$ 91.3

En la Tabla 28, se muestra la ganancia que se obtiene al disminuir el Heat Rate en 19.9 [Kcal/KWh], debido a la implementación del sistema auxiliar.

Para el funcionamiento de la caldera pirotubular se requiere un suministro de carbón, según el estado de operación de la caldera, como se muestra en la Tabla 29. En operación la caldera pirotubular trabaja 12 horas al día al 80% de su capacidad máxima (7574 Kg./h de vapor). El costo por causa de este suministro se observa en la Tabla 30.

Tabla 27. Costo Anual del Carbón de Reemplazo.

ANÁLISIS COSTO CARBÓN	AÑO	COSTO SUSTITUCIÓN ARRANQUE FRÍO PROMEDIO [S]	COSTO SUSTITUCIÓN ARRANQUE TIBIO PROMEDIO [S]	COSTO TOTAL SUSTITUCIÓN ARRANQUE FRÍO ACUMULADO A 1 AÑO [S]	COSTO TOTAL SUSTITUCIÓN ARRANQUE TIBIO ACUMULADO A 1 AÑO [S]	TOTAL SUSTITUCIÓN MILLONES [S]
0	2010	\$ 168,570.8	\$ 56,190.3	\$ 1,517,137.2	\$ 1,741,898.3	0
1	2011	\$ 163,261.0	\$ 54,420.3	\$ 1,469,349.4	\$ 1,687,030.8	-\$ 3.26
2	2012	\$ 158,677.9	\$ 52,892.6	\$ 1,428,101.0	\$ 1,639,671.5	-\$ 3.16
3	2013	\$ 155,100.8	\$ 51,700.3	\$ 1,395,907.1	\$ 1,602,708.1	-\$ 3.07
4	2014	\$ 150,182.3	\$ 50,060.8	\$ 1,351,640.5	\$ 1,551,883.5	-\$ 3.00
5	2015	\$ 145,487.3	\$ 48,495.8	\$ 1,309,386.0	\$ 1,503,369.1	-\$ 2.90
6	2016	\$ 143,251.6	\$ 47,750.5	\$ 1,289,264.8	\$ 1,480,267.0	-\$ 2.81
7	2017	\$ 143,475.2	\$ 47,825.1	\$ 1,291,276.9	\$ 1,482,577.2	-\$ 2.77
8	2018	\$ 145,599.1	\$ 48,533.0	\$ 1,310,392.1	\$ 1,504,524.2	-\$ 2.77
9	2019	\$ 146,940.5	\$ 48,980.2	\$ 1,322,464.8	\$ 1,518,385.5	-\$ 2.81
10	2020	\$ 148,337.8	\$ 49,445.9	\$ 1,335,040.5	\$ 1,532,824.3	-\$ 2.84

Tabla 28. Ganancia Disminución del Heat Rate.

ANÁLISIS COSTO POR EFICIENCIA-DISMINUCIÓN DEL HEAT RATE	AÑO	Precio [\$/Kcal]	GANANCIA POR AUMENTO EN LA EFICIENCIA MILLONES [S]
0	2010	\$ 0.010493	0
1	2011	\$ 0.010163	\$ 104,29
2	2012	\$ 0.009877	\$ 101,00
3	2013	\$ 0.009655	\$ 98,17
4	2014	\$ 0.009348	\$ 95,95
5	2015	\$ 0.009056	\$ 92,91
6	2016	\$ 0.008917	\$ 90,01
7	2017	\$ 0.008931	\$ 88,62
8	2018	\$ 0.009063	\$ 88,76
9	2019	\$ 0.009147	\$ 90,07
10	2020	\$ 0.009234	\$ 90,90

Tabla 29. Consumo de Carbón Para el Funcionamiento del Sistema Auxiliar.

Costo del Carbón Para precalentar la caldera principal antes del arranque	Carbón Requerido [Ton/h]	Horas de Funcionamiento	Carbón Requerido en un arranque [Ton/h]	Carbón Requerido en un año [Ton/h]
Frio	0,755150297	2,5533	1,928125253	17,35312728
Tibio	0,755150297	2,5833	1,950779762	60,47417263

Tabla 30. Costo de Carbón Para el Funcionamiento del Sistema Auxiliar.

ANÁLISIS COSTO CARBÓN NUEVO PARA LA PIRO	AÑO	COSTO CARBÓN POR DÍA PARA OPERACIÓN EN LAS NOCHES DEL STEAM COIL CON VAPOR DE LA CALDERA PIROTUBULAR [€]	COSTO ANUAL DEL CARBÓN PARA LA CALDERA PIROTUBULAR DURANTE ARRANQUES FRIOS [€]	COSTO ANUAL DEL CARBÓN PARA LA CALDERA PIROTUBULAR DURANTE ARRANQUES TIBIOS [€]	Ahorro adicional anual de acpm. Por calentar con aire al inicio de los arranques (Frio y Tibios) [€]	COSTO AL AÑO MILLONES [€]
0	2010	\$ 455.284	\$ 1.178.215	\$ 4.105.980	\$ 70.975.147	0
1	2011	\$ 440.943	\$ 1.141.103	\$ 3.976.647	\$ 75.827.861	-\$ 60,42
2	2012	\$ 428.564	\$ 1.109.089	\$ 3.865.012	\$ 82.083.986	-\$ 51,43
3	2013	\$ 418.903	\$ 1.084.067	\$ 3.777.883	\$ 86.052.019	-\$ 41,60
4	2014	\$ 405.619	\$ 1.049.690	\$ 3.658.079	\$ 90.366.614	-\$ 34,85
5	2015	\$ 392.939	\$ 1.016.875	\$ 3.543.722	\$ 93.832.981	-\$ 26,70
6	2016	\$ 386.900	\$ 1.001.249	\$ 3.489.266	\$ 96.057.716	-\$ 19,57
7	2017	\$ 387.504	\$ 1.002.811	\$ 3.494.711	\$ 97.927.083	-\$ 15,60
8	2018	\$ 393.241	\$ 1.017.656	\$ 3.546.445	\$ 99.728.834	-\$ 13,91
9	2019	\$ 396.864	\$ 1.027.032	\$ 3.579.118	\$ 101.731.883	-\$ 13,76
10	2020	\$ 400.637	\$ 1.036.798	\$ 3.613.153	\$ 102.881.607	-\$ 12,81

La viabilidad del proyecto se determinó calculando tres índices económicos, el primero se muestra en la Tabla 31 “Período de recuperación de la inversión”, el cual no toma en cuenta la variación del peso a través de los años. El segundo “Período de recuperación de la inversión” el cual toma en cuenta la variación del peso (Tabla 32) y por último el valor presente neto mostrado en la Tabla 31.

Tabla 31. Recuperación de la Inversión y Valor Presente Neto.

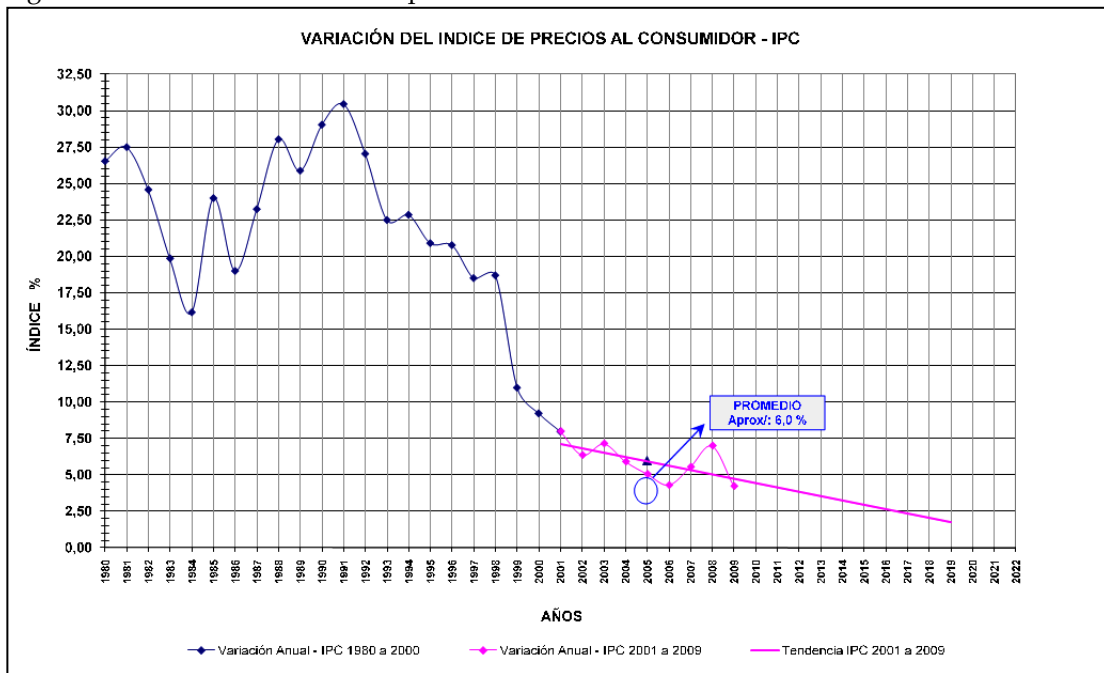
PERIODO	GANANCIA TOTAL POR AHORRO DE COMBUSTIBLES MILLONES [€]	Ganancia Total	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	VALOR PRESENTE NETO
0	\$ 0,0	\$ 0,0	-\$ 933,9	(\$ 933,95)
1	\$ 60,4	\$ 104,3	-\$ 829,6	\$ 98,46
2	\$ 64,9	\$ 114,5	-\$ 715,2	\$ 101,99
3	\$ 70,6	\$ 127,2	-\$ 588,0	\$ 106,95
4	\$ 74,2	\$ 135,3	-\$ 452,6	\$ 107,44
5	\$ 78,2	\$ 144,4	-\$ 308,2	\$ 108,21
6	\$ 81,4	\$ 151,8	-\$ 156,4	\$ 107,39
7	\$ 83,4	\$ 156,5	\$ 0,1	\$ 104,45
8	\$ 85,1	\$ 160,0	\$ 160,0	\$ 100,80
9	\$ 86,7	\$ 163,0	\$ 323,1	\$ 96,96
10	\$ 88,5	\$ 166,6	\$ 489,6	\$ 93,52
				\$ 92,21

Tabla 32. Flujo Neto de Caja e Índice de Recuperación de la Inversión.

PERIODO	Flujo Neto Caja	Saldo Inversión	Flujo Descontado	SALDO EN MILLONES
0	0,0	(\$ 933,95)	\$ 0,00	(\$ 933,95)
1	104,3	(\$ 829,64)	\$ 98,46	(\$ 835,49)
2	114,5	(\$ 715,16)	\$ 101,99	(\$ 733,50)
3	127,2	(\$ 587,99)	\$ 106,95	(\$ 626,55)
4	135,3	(\$ 452,65)	\$ 107,44	(\$ 519,11)
5	144,4	(\$ 308,23)	\$ 108,21	(\$ 410,90)
6	151,8	(\$ 156,39)	\$ 107,39	(\$ 303,51)
7	156,5	\$ 0,07	\$ 104,45	(\$ 199,06)
8	160,0	\$ 160,05	\$ 100,80	(\$ 98,26)
9	163,0	\$ 323,05	\$ 96,96	(\$ 1,30)
10	166,6	\$ 489,62	\$ 93,52	\$ 92,21

Para determinar el valor presente neto se asumió un promedio del IPC de 5.8%, basado en los datos de este índice dados por el DANE (ver Figura 48).

Figura 59. Variación del Índice de precios Al Consumidor.



Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas

ANEXO A10 COTIZACIÓN.



COTIZACION No. 21621

Propuesta preparada para:

**ING. ALEXANDER RUIZ
COMPAÑÍA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA S.A.**

**Email: alexander.ruiz@ces.com.co
Celular: 317 647 42 72
Teléfono: (8) 785 20 00 ext. 330
Tunja**

CALDERA DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No.	CLIENTE	PREPARADA PARA	FECHA	PAG
21621	COMPAÑÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	ALEXANDER RUIZ	03/02/2010	- 2 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

Estamos enviando a usted cotización correspondiente a una caldera de 7 Ton vapor/h Piro-tubular para quemar carbón AUTOMATICA, y equipos complementarios con las siguientes especificaciones:

1. CALDERA HORIZONTAL 7 TON VAPOR/H PARA CONSUMO DE CARBON

MARCA:	JCT
CAPACIDAD:	7 TON VAPOR/H
TIPO:	Horizontal AUTOMATICA
PRESION DE DISEÑO:	13 Bar
PRESION DE TRABAJO:	12 Bar
PRODUCCION DE VAPOR S/DISEÑO:	7.574 ton vapor/h, agua a 100°C y Vapor a 0 Bar.
PRODUCCION DE VAPOR S/TRABAJO:	7.000 ton vapor/h, agua a 100°C y Vapor a 12 Bar.
SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO:	2500 pies ² Factor 5 Pies/BHP
CONSUMO DE CARBÓN:	1281 Kg/h @ PCS: 8255 BTU/lbs
TIPO DE ALIMENTACION DE CARBON:	100% AUTOMATICA
EFICIENCIA TERMICA:	78% ± 2% Según Calidad de carbón y el porcentaje de carga de la caldera.
CALIDAD DE VAPOR:	97% ± 2%, según la calidad del agua y el porcentaje de carga de la caldera.

Nota: el consumo de carbón está calculado con base al valor registrado en los resultados del análisis de carbón realizado por la Universidad Nacional.

Cuerpo:

El cuerpo, espejos y hogar de la caldera son construidos en lamina SA-516*70 certificada. Los tubos de fuego son en tubería SA-192 sin costura.

1.1. Conjunto control de nivel (principal y auxiliar):

- 1 Control de nivel MC DONNELL & MILLER ITT 157 x 150 Psig
- 1 Nivel visible de ½" CONBRACO x 150 Psig
- 1 Válvula de drenaje de 1" x 150 Psig SPIRAX SARCO
- 1 Control auxiliar CHARLES WARRICK , bajo nivel de agua caldera
- 2 Electrodo para control de nivel auxiliar WARRICK
- 1 Sirena de bajo nivel de agua 110V.

La caldera cuenta con 3 modos de control para el control de nivel de agua de la caldera:

- 1. Manual (ON-OFF)
- 2. Proporcional (Modulado)
- 3. Mc Donnell (ON-OFF)

La modulación se realiza por medio de un variador de frecuencia instalado en la bomba de agua.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No. 21621	CLIENTE COMPANÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	PREPARADA PARA ALEXANDER RUIZ	FECHA 03/02/2010	PAG - 3 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

Control de nivel ON-OFF (Mc Donnell): con contactos para manejo de bomba, corte por bajo nivel y alarma por bajo nivel.

1.2. Conjunto control de presión:

- 1 Manómetro de 0-300 PSI X 6" ROYAL GAUGE
- 1 Sifón 3/4" ø SCH40
- 2 Válvula de seguridad de 2" COMBRACO
- 1 Válvula de seguridad de 2.1/2" COMBRACO
- 2 Válvulas bola de purga de 1" x 150 Psig en acero SPIRAX SARCO
- 1 Transmisor de presión diferencial ROSEMOUNT salida 4 – 20 ma, presión hogar, rango de -50 a +50 mm H₂O .
- 1 Transmisor de presión manométrica ROSEMOUNT salida 4 – 20 ma, presión vapor rango 0- 300 Psig.

1.3. Sistema de purga Caldera (Purgas de fondo (2) y purga continua de superficie)

- 2 Válvula bola acero de 2" x 150 SPIRAX SARCO de apertura lenta
- 2 Válvula SPIRAX SARCO de 2" x 150 PSIG apertura rápida
- 1 Flauta de purga continua de 1" con válvula para operación de 1/2"

1.4. Instrumentación Sistema de alimentación de agua a la entrada de la caldera.

- 1 Válvula bola entrada de agua a bombas de 2" ø x 150 Psig
- 1 Cheques disco ac. Inox. De 2" x 250 Psig

1.5. Sistema de alimentación de agua, bomba principal.

- 1 Motor 10 HP A 1800 R.P.M. US MOTORS
- 1 Bomba SIHI HALBERG Modelo HEGA 3210
- 1 Acople rex omega
- 1 Bases para motor y bomba.
- 1 Válvula bola entrada de agua a bomba de 2 1/2" ø x 150 Psig
- 1 Cheques disco De 2" x 150 Psig
- 1 Filtro de agua en Y de 2 1/2" ø x 150 Psig
- 1 Válvula bola descarga de agua de la bomba de 2" ø x 150 Psig

1.6. Conjunto de tablero, control:

- | | | |
|--------------------------------|---------------------|-------|
| 1 Caja metálica para controles | En acero INOXIDABLE | |
| 1 Variador de frecuencia | Tiro forzado | 10 HP |
| 1 Variador de frecuencia | Parrilla | 1 HP |
| 1 Variador de frecuencia | Tiro inducido | 30 HP |
| 1 Variador de frecuencia | Sopladores traseros | 1 HP |

PROPUESTA No.	CLIENTE	PREPARADA PARA	FECHA	PAG
21621	COMPAÑIA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	ALEXANDER RUIZ	03/02/2010	- 4 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

1 Variador de frecuencia	Bomba de agua	10 HP
1 Arranque directo	Válvula rotatoria Multiciclón	1 HP
1 Arranque directo	Sirena bajo nivel agua	1 HP
1 Breacker 1 x 6 amp	Alimentación	110V control/ 440 V potencia
3 Llave selectora 1-0-2 doble		
1 Totalizador	440 V trifásico.	

POTENCIA INSTALADA 54 HP = 40.27 KW

Elementos para monitoreo y control:

1 Termocupla tipo J salida 4-20 mA $\frac{1}{2}$ " x 6" largo – Salida de gases caldera.

Nota: La distancia máxima entre el tablero de control y la caldera es de 10 metros.

CONDICIONES ELECTRICAS DE LA PLANTA EN LA INSTALACION DE LOS TABLEROS

Si el sistema eléctrico presenta cambios intempestivos de variaciones de voltaje (niveles bajos de tensión y niveles altos de tensión).

- Para los niveles bajos de tensión se debe instalar una UPS que mantenga el sistema de control ya que este es gobernado por un PLC que con niveles bajos de tensión puede poner el programa en modo stop.
- Para los niveles altos se debe instalar un sistema de regulación de voltaje para el control.
- Se debe garantizar una buena malla a tierra para el sistema de control y potencia del tablero.
- Todo lo anterior será ejecutado por el cliente.

1.7. PLC con terminal de dialogo

Control y supervisión de la caldera

Un PLC con toda la proyección que se ofrece y se tiene en las últimas calderas, con el cual se logra:

- ✓ Acceso remoto desde un PC para evaluar el desempeño del equipo, lo que permite aún desde nuestras instalaciones hacer diagnósticos preliminares de la operación.
- ✓ Registros históricos de todas las variables de proceso: Flujo de vapor, presión de vapor, temperatura agua de alimentación, temperatura gases de chimenea, eficiencia, alarmas, cambios de parámetros de operación, etc.
- ✓ Lazos de control más precisos: Control del combustible con la demanda de vapor, del agua de alimentación con el nivel en la caldera, del ventilador de tiro inducido con la presión en el hogar.

Ingeniería de programación y puesta en marcha

Consiste en la adecuación del algoritmo del sistema de control para la operación de la caldera en tres modos de funcionamiento (Automático, manual y mantenimiento).

- ✓ Plataforma (software) de supervisión de la caldera.
- ✓ Visualización de las variables requeridas en la terminal de diálogo.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No.	CLIENTE	PREPARADA PARA	FECHA	PAG
21621	COMPAÑIA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	ALEXANDER RUIZ	03/02/2010	- 5 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

- ✓ Configuración de los algoritmos de control típicos de la caldera.
- ✓ Terminal de dialogo TOUCH SCREEN.

Dado que el sistema de supervisión es solamente de monitoreo y registro de las señales de control en tiempo real, solo por petición y autorización por parte del cliente se puede operar la caldera vía remota y realizar seguimiento de las variables de control desde calderas JCT.

Notas aclaratorias:

- ✓ Nuestra oferta no incluye elementos diferentes a los aquí incluidos.
- ✓ No se incluye el computador donde se realiza el control y la supervisión.
- ✓ No se incluye el cable de comunicación entre el computador de mesa ubicado en el cuarto de control y cualquier otro computador.
- ✓ No se incluye cableado de comunicación entre el PLC y el PC si este último se ubica en un lugar diferente al cuarto de control.
- ✓ Si el sistema eléctrico presenta cambios imprevistos de variaciones de voltaje (niveles bajos y altos de tensión) se debe instalar una UPS para controlar los niveles bajos de tensión ya que puede detener el programa del PLC a costo del cliente. Para los niveles altos se debe instalar un sistema de regulación de voltaje.
- ✓ Se debe garantizar una buena malla a tierra para el sistema de control y potencia del tablero.
- ✓ El cliente podrá conectar por Internet la caldera si desea que se haga el monitoreo desde JCT.

1.8. Aislamiento:

Lana mineral de 2" espesor y acabado exterior en lámina GALVANIZADA Cal 22.

1.9. Parrilla para alimentación de carbón automática

La caldera incluye una (1) parrilla viajera para quemado del carbón de forma automática en el hogar. Se incluye un ventilador de tiro forzado.

Marca:	JCT
Tipo:	Parrilla Viajera
Modelo:	PV600
Área efectiva parrilla:	5 m ²
Largo nominal parrilla:	3750 mm
Ancho:	1290 mm
Consumo de combustible:	1281 Kg/h @ PCS: 8255 BTU/lbs

Materiales de fabricación:	
Estructura:	SA-36
Eslabones:	ASTM A319"B clase 3 tipo B 40000 PSI de resistencia a la tracción.
Ejes de Parrilla:	
LAMINA CHRHONIT	SAE/AISI 4140 Acero Antidesgaste. Acero con 0.25% de C, 1.6% de Mn, 0.4% de Cr, 0.55% de Si, bajos por de P y S (impurezas). Bonificado

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No.	CLIENTE	PREPARADA PARA	FECHA	PAG
21621	COMPANÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	ALEXANDER RUIZ	03/02/2010	- 6 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

(Templado y Revenido) Dureza 40 HRC. Equivale a: FORA 400 o DILIDUR 400.

Potencia del motor de parrilla: 1 HP.
 Marca del reductor de parrilla: SEW EURODRIVE + JCT
 Carros para recolección de Escorias: 1

Limitador de torque:

MECANICO: Pin fusible instalado en la caja reductora.

ELECTRICO: Limitador de corriente y sobrecarga eléctrica en el variador de velocidad.

1.10. Plataforma de Acceso superior a la caldera:

Plataforma en lamina alfajor 1/8" y tubería negra 1" para tener acceso a los controles superiores de la caldera.

1.11. Sopladores de hollín con accionamiento manual para el 2do y 3er Paso:

1 Sistema de soplado con accionamiento manual para el 2do. Paso en la camisa húmeda (Cantidad: 2) y en la tubería del 3er paso (Cantidad: 2)

1.12. Ciclón para caldera carbón Horizontal de 7 Ton vapor/hora

Sistema de remoción mecánica de partículas en suspensión, fabricado en acero tipo SA-36 espesores 1/8" y 3/8", constituido por un (1) multiciclón de diez (9) elementos. Incluye válvula rotatoria de descarga de cenizas. Manteniendo un sello hermético respecto al sistema evitando la entrada de aires falsos. El ensamble de los multiciclones es 100% por juntas soldadas.

Eficiencia: 80% ± 5% según la granulometría del carbón.

Caída de presión: 3 in H2O.

Material del cuerpo (especificación ASTM): SA-36 3/16" esp.

Acabado: Pintura aluminio 904 alta temperatura.

Cantidad: 1 und.

1.13. Ventiladores para Caldera 7 Ton vapor/hora:

1 Ventilador de tiro inducido LR2029, con motor de 30 HP x 1800 RPM, US MOTORS.

1 Ventilador de tiro forzado BCS270, con motor de 10 HP x 1800 RPM, US MOTORS.

OPERACIÓN EFICIENTE

Nuestros ventiladores de tiro inducido y forzado son operados por variadores de velocidad en lugar de compuertas motorizadas, lo que reduce los riesgos de descalibración del sistema y el consumo eléctrico, al no estar operando el equipo a una velocidad fija.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
 Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No. 21621	CLIENTE COMPAÑÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	PREPARADA PARA ALEXANDER RUIZ	FECHA 03/02/2010	PAG - 7 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

1.14. Sistema de Medición de Flujo de Vapor

Basado en el concepto de la placa orificio, permite conocer el flujo de vapor y la eficiencia de la caldera al compararlo con el carbón que se consume, lo cual se hace con el PLC a instalar. La lectura de flujo es corregida por presión y temperatura. Está compuesto de:

- 1 Placa orificio 6" con sus accesorios para una caída de presión 100 Pul H₂O.
- 1 **Transmisor de presión diferencial ROSEMOUNT 0-200 Pul H₂O, con raíz cuadrada – Presión máxima 300 Psig**, conectado al PLC, salida 4 – 20 mA.
- 1 Kit de montaje de tuberías de placa orificio de 6" a transmisor de presión.

2. TANQUE AGUA DE ALIMENTACIÓN (FWT):

Cantidad:	1
Capacidad:	500 gl
Tipo de tanque:	Horizontal
Cuerpo:	Lámina SA 36 de 3/16"
Material tapas:	Lámina SA 36 de 3/16"
Tipo de tapas:	Toriesférica
Presión de trabajo:	Atmosférica.

2.1. Elementos para Control y Supervisión del Tanque FWT

- 1 Nivel visible de ½" CONBRACO x 150 Psig.
- 1 Válvula de drenaje de 1" x 150 Psig.
- 1 Control CHARLES WARRICK , bajo nivel de agua.
- 2 Electrodo para control de nivel WARRICK
- 1 Indicador de Temperatura.
- 1 Válvula de corte para agua de reposición.
- 1 Válvula bola para drenaje del tanque.

3. DUCTOS ENTRE CALDERA, CICLON Y VENTILADOR:

- Juego de ductos en acero al carbón en lámina SA-36 Cal. 1/8 para conectar: Caldera - ciclón, ciclón - ventilador.

4. MANEJO DE CARBÓN

Cant	Descripción
SECCION RECIBO Y ALMACENAMIENTO DE CARBON	
1	TOLVA DE RECIBO DE CARBON, 3.5 x 1.5 m, lámina A36 calibre 3/16", Incluye rejilla de recibo no apta para el paso de camiones.
1	ELEVADOR DE CANGILONES ELCG-2075, 18 m, 4.0 HP, 10 ton/h (Cargue de Silo de almacenamiento)
1	TOLVA DE DEPÓSITO, Capacidad de 60 ton de carbón

PROPUESTA No. 21621	CLIENTE COMPAÑIA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	PREPARADA PARA ALEXANDER RUIZ	FECHA 03/02/2010	PAG - 8 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

1	COMPUERTA MANUAL CM50-0500 (Descarga silo 60 toneladas)
1	TOLVAS DE TRABAJO CAPACIDAD DE 2 TON
1	CONJUNTO DE DUCTOS Y ACCESORIOS
1	MONTAJE DE EQUIPOS

5. TRANSPORTE, ENSAMBLE Y PUESTA EN MARCHA

5.1. Transporte caldera

Transporte caldera y equipos Medellín – Paipa.
Póliza de Transporte y seguro todo riesgo.

No se incluyen las grúas para el descargue y ubicación de los equipos, esta deberá ser suministrada por el cliente.

6.2. Ensamble y puesta en marcha

Personal Requerido:

# DIAS	CANT	PERSONAL
30	2	Soldadores
30	2	Ayudantes
30	1	Electricista
30	1	Supervisor

Incluye:

Transporte del personal al lugar de la obra.
Costos de alimentación y alojamiento del personal durante la ejecución del montaje.
Transporte de herramienta.

Materiales varios y/o Consumibles:

CANT	UNID	DESCRIPCION
30	K	Soldadura 6011 1/8" WA
26	M3	Oxigeno gaseoso industrial
200	L	Gas propano
12	M	Angulo de 2" x 1/4
12	M	Platina 2" x 3/8
3	U	Discos para pulir 1/4"
3	U	Discos para pulir 1/8"
5	K	Estopa
2	U	Gratas para pulir
3	U	Guantes largos
3	U	Guantes cortos
5	U	Hojas de sierra 1/2" x 12"
1	G	Pintura aluminio 904

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No. 21621	CLIENTE COMPAÑIA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	PREPARADA PARA ALEXANDER RUIZ	FECHA 03/02/2010	PAG - 9 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

1	G	Pintura negra alquidica 901
1	G	Gasolina
1	G	Aceite para roscadora
3	U	Lápiz blanco
3	U	Tiza industrial americana
1	G	Pintura anticorrosiva roja
2	U	Brocha de 2"
100	U	Cinta teflón
30	U	Pernos expansión 3/8" x 3"

6. DATOS DE OPERACIÓN

6.1. Lugar de Operación:

Ubicación: Kilometro 5 via Paipa a Tunja.
Altitud: 2507 m.s.n.m.
Presión Barométrica: 750 mbar
Temperatura ambiente: Min. (0°C), Max. (25°C)
Humedad relativa: Min. (40%), Max. (60%)

6.2. Características del Carbón a Quemar:

Carbón denominado "Piritas"

	VALOR
Humedad Residual	1.2%
Cenizas	36.9%
Materia Volátil	27.9%
Carbono Fijo	34.0%
Azufre Total	14.5%
Poder Calorífico	4586 cal/g
Indice De Hinchamiento	1

6.3. Características Químicas del Agua de Llenado:

		PROM	DESV	# DAT	MIN	MAX
PH	Unidad	9,4	0,0	4	9,3	9,4
Cond. Total	uS/cm	8	0	3	8	8
Silice	ug/L SiO2	4	1	146	2	7
Cloruros	ug/L Cl-	0,0	0,1	10	0,0	0,1
Hierro Total	ug/L Fe	2	1	35	1	6
Carbono Total	mg/L C	0,05	0,02	9	0,03	0,08
Carbono Inorgánico Total	mg/L C	0,02	0,02	9	0,00	0,06
Carbono Orgánico Total	mg/L C	0,02	0,01	9	0,01	0,03

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
 Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No. 21621	CLIENTE COMPAÑÍA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA	PREPARADA PARA ALEXANDER RUIZ	FECHA 03/02/2010	PAG - 11 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBÓN PARRILLA VIAJERA				

que sea más difícil que las partículas se desprendan, para evitar que esto suceda el filtro es dividido en varias cámaras, con el fin de hacer la limpieza en cada una por separado, esto se hace interrumpiendo el flujo de gases a través de la cámara por medio de una válvula con accionamiento programado en el momento de la limpieza.

El sistema de limpieza de las mangas está compuesto por un tanque pulmón, válvulas de alto flujo, tubos de pulsión, pasamuros y una programador secuencial, este último es donde se programan las secuencias y tiempos de soplado para cada módulo. Los tubos de pulsión son fabricados teniendo en cuenta que los agujeros por donde sale el aire comprimido debe estar alineado exactamente con el centro de las mangas.

Con este equipo se garantiza el cumplimiento del material particulado estipulado en la resolución 909 del 5 de junio de 2008 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Fácil recambio de las talegas

De fácil instalación y mantenimiento. El cambio de las talegas es simple; el diseño especial de vénturi y canastilla las cuales no requieren tornillos, reducen este tiempo de reemplazo en un 40%. No requiere herramientas especiales.

Componentes del filtro:

Sistema de limpieza del filtro tipo off-line:

El sistema de limpieza "off-line" es altamente efectivo y está diseñado para reducir los valores de pérdida de carga y el consumo de aire comprimido al tiempo que prolonga la vida útil de las mangas y reduce las necesidades de mantenimiento del filtro, está compuesto por:

- ✓ **Programador secuencial:** Se realiza a través del PLC de la caldera.
- ✓ **Tanque para aire comprimido:** En este tanque se instalan las válvulas de alto flujo, cada tanque pulmón viene con un sistema de purga y una válvula de seguridad.
- ✓ **Válvulas de alto flujo:** Son las encargadas de permitir el paso del aire comprimido a los tubos distribuidores.
- ✓ **Tubos distribuidores:** Su configuración permite que el aire comprimido llegue directamente al centro de las mangas.
- ✓ **Unidad de aire comprimido:** Incluye filtro de aire con purga automática, válvula de seguridad, manómetro, llave de paso, válvula solenoide de posición normalmente cerrada y una toma rápida.
- ✓ **Canastillas:** Proporciona la estructura para que la manga permanezca con su forma, son fabricadas en acero al carbono, para el acabado se realiza sandblasting y un proceso especial en pintura inorgánica de Zinc, esto las hace resistentes a altas temperaturas y ataques químicos.
- ✓ **Manga tipo Snap Band:** Están diseñadas para ser instaladas por la cámara de aire limpio, haciendo un sello perfecto que evita escapes de aire contaminado. El material filtrante es de fibra de vidrio con recubrimiento de teflón. El resorte de la boca de fijación será en acero inoxidable y la banda de refuerzo del fondo en fieltro, para evitar la rotura por fricción.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No. 21621	CLIENTE COMPAÑÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	PREPARADA PARA ALEXANDER RUIZ	FECHA 03/02/2010	PAG - 12 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

- ✓ **Lamina portamangas:** En esta lámina es donde se instalan todas las mangas, está diseñada estructuralmente para soportar el peso del conjunto canastilla – mangas sin sufrir deformaciones.
- ✓ **Descarga de cenizas:** La descarga de cenizas se realiza por válvulas rotatorias ubicadas en cada tolva del filtro, cada una de estas descarga a un Big Bag, que se llena sobre una estiba de madera.

Para satisfacer las condiciones de operación solicitadas, se ha seleccionado un filtro de mangas tipo pulsa-jet off-line con las características técnicas que se detallan a continuación:

CARACTERISTICAS	UNIDAD
Tipo de filtro	Pulse Jet OFF-LINE
Flujo de gases (acfm)	16.200
Flujo de gases (Am ³ /h)	27.528
Temperatura de trabajo (°C)	180
Temperatura máxima (°C)	260
Tipo de manga	Snap Band
Diámetro de las mangas (mm)	152
Longitud de las mangas (mm)	3.658
Peso de las mangas	746 gr/m ² ± 25 gr. (22 Oz)
Construcción de las mangas	3x1 Twil (tejido diagonal)
Número de hilos de las mangas	48 x 40
Numero de módulos totales	2
Cantidad de mangas por modulo	100
Cantidad total de mangas	200
Material de las mangas	Fiberglass + PTF
Área de filtración por manga (ft ²)	18.85
Área total de filtración (ft ²)	3.770
Velocidad de filtración (ft/min)	4.3
Max. Presión diferencial (in w.c.)	5
Aire comprimido 90-100 PSIG (SCFM) x modulo	35
Unidad control aire comprimido	1

EXCLUSIONES DE LA OFERTA: Esta oferta no incluye los siguientes suministros y conceptos los cuales serán por cuenta del cliente:

- a. El servicio de grúas y montacargas para las labores de descargue e instalación no se encuentran incluidos en la presente oferta.
- b. Ningún tipo de obra civil.
- c. Acometida neumática hasta el pulmón del filtro incluyendo el aire comprimido requerido, seco y libre de humedad, para el funcionamiento del mismo.
- d. Medidor de opacidad para el filtro.
- e. Compresor de aire, secador de aire y red de aire.
- f. Suministro de la energía eléctrica requerida para el montaje mecánico y eléctrico de los equipos.
- g. Mediciones de gases realizadas por un laboratorio certificado.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No	CLIENTE	PREPARADA PARA	FECHA	PAG
21621	COMPAÑIA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	ALEXANDER RUIZ	03/02/2010	- 13 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

h. Ninguna otra actividad que no se encuentre descrita en la presente oferta.

NUESTRA OFERTA INCLUYE:

- Alivio de tensiones en horno JCT para la caldera.
- Prueba hidrostática a 1.5 veces la presión de diseño x 1 hora.

GARANTÍAS DE CALIDAD OFRECIDAS:

Estampe ASME en el cuerpo de la Caldera.
The Hartford Steam Boiler, Inspection and Insurance Company,
certificará que la caldera ha sido diseñada y fabricada de acuerdo con
el código ASME.

- El cuerpo, espejos y hogar de la caldera, está construido en acero calidad SA 516*70 el 100% de las juntas soldadas tienen prueba de ultrasonido y placas de rayos x, según normas del código ASME.
- Procedimientos de diseño y fabricación de la caldera según Código Asme.
- Certificado de calidad para las materias primas utilizadas.
- Certificado de prueba de control de calidad, tales como: Ensayos, Radiografías, Pruebas Hidrostática, dichas pruebas pueden ser observadas por el cliente durante su ejecución.

VENTAJAS DE ESTE TIPO DE CALDERAS:

- Podemos garantizar la calidad de nuestro acero de acuerdo a normas del código ASME.
- Eficiencia térmica del 78% ± 2%, de acuerdo con la calidad del carbón y el porcentaje de carga de la caldera.
- Calidad de vapor de 97% ± 2%, de acuerdo con la calidad del agua de alimentación y el porcentaje de carga de la caldera.
- Mantenimiento de partes como parrillas e instrumentación mínima.
- El diseño de la caldera permite ingresar a la parte interior del cuerpo, para limpieza exterior de los tubos de fuego.
- Fácil manera de limpiar el 100% de las cenizas en la parte interior de los tubos por el soplador de vapor.
- Tubos del segundo paso espiralados.

INSTRUMENTAMOS NUESTRA CALDERA CON 5 PROTECCIONES PARA BAJO NIVEL DE AGUA:

- MC DONNELL & MILLER ITT 157, nivel bajo caldera.
- Control auxiliar de nivel CHARLES WARRICK, instalado en la Caldera, nivel extra bajo caldera.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
 Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No. 21621	CLIENTE COMPAÑÍA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA	PREPARADA PARA ALEXANDER RUIZ	FECHA 03/02/2010	PAG - 14 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

- Control auxiliar de nivel CHARLES WARRICK, instalado en el tanque existente, nivel bajo tanque.
- Control de temperatura de gases chimenea
- Sirena de bajo nivel de agua

VALORES DE LA OFERTA

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Caldera horizontal de 7 Ton vapor/h a carbón de 3 pasos X 12 Bar.	
	Sistema de alimentación de agua	
	Parrilla viajera para alimentación de carbón	
	Ciclón en acero al carbón con ventilador de inducido	
	Sistema de medición de flujo de vapor	
	SUBTOTAL EQUIPOS	\$716.750.000
2	MANEJO DE CARBÓN + MONTAJE	117.970.000
3	TRANSPORTE DE EQUIPOS	25.725.000
4	ENSAMBLE Y PUESTA EN MARCHA DE LA CALDERA	73.500.000
	VALOR TOTAL CALDERA Y MANEJO DE CARBÓN	\$933.945.000
	EQUIPOS OPCIONALES	
5	FILTRO DE MANGAS	310.000.000
6	AISLAMIENTO FILTRO DE MANGAS	16.900.000
7	MONTAJE FILTRO DE MANGAS	36.000.000
	TOTAL OPCIONALES	\$362.900.000

IMPUESTO: Al valor anterior se le deberá sumar el Impuesto al Valor Agregado (IVA), cuyo porcentaje de liquidación será el vigente en el momento de facturación.

CONDICIONES COMERCIALES:

FORMA DE PAGO: 50 % ANTICIPO, a la firma del Contrato.
30 %, a la prueba hidrostática de la caldera.
10%, a la entrega de la caldera en nuestras instalaciones en Medellín.
10% + IVA a la puesta en marcha de los equipos.

TIEMPO DE ENTREGA: 120 Días calendarios después de la firma del contrato y recibo del anticipo para la fabricación de la caldera y equipos.

VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 días

TRANSPORTE DE EQUIPOS: INCLUIDO.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No. 21621	CLIENTE COMPAÑIA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	PREPARADA PARA ALEXANDER RUIZ	FECHA 03/02/2010	PAG - 15 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

ENSAMBLE Y PUESTA EN MARCHA: INCLUIDO.

PRUEBAS Y GARANTIAS

GARANTIA: DOCE (12) MESES: Contra defectos de fabricación y funcionamiento.

CALDERAS JCT S.A., Garantizará el buen funcionamiento de los equipos por el término de un (1) año contados a partir de la fecha de entrega, el correcto diseño y buena construcción de los mismos, quedando exceptuados de dicha garantía los daños ocasionados por mal manejo e instalaciones no suministradas por CALDERAS JCT S.A., deficiencia e inestabilidad de la corriente eléctrica, la ausencia del agua en la caldera y el mal tratamiento químico del agua en la misma, anula la garantía por parte de los señores CALDERA JCT S.A., deficiencia de los combustibles, intervención de terceros no autorizados por CALDERA JCT S.A., daños ocasionados por terremotos, incendios, vientos e inundaciones o similares que no pueden ser imputados como responsabilidad de CALDERA JCT S.A..

Para los accesorios e implementos no fabricados por CALDERA JCT S.A., trasladaremos las garantías recibidas de los fabricantes.

Si el equipo o sistema suministrado involucra software desarrollado por nosotros, se ofrece una garantía de seis meses por defectos del programa a partir de la fecha del acta de recibo a satisfacción. La garantía excluye problemas debidos al mal manejo del programa de acuerdo al manual de operación del mismo, por ataque de virus informáticos, cambio de computador, cambio en el formato de los archivos de donde se tome información para el programa, pérdidas de datos por falta de copia de seguridad, saturación de información en las bases de datos por falta de mantenimiento periódico, daños en dispositivos de hardware tales como discos duros, puertos de comunicación y otros, malas conexiones en los puertos o de los cables que transfieren información, instalaciones de cableado diferentes a las especificaciones técnicas, cambios en la configuración de redes tales como direcciones IP, dominios, grupos de trabajo, nombres de computadores en la red, etc. Esta garantía de software cubre los honorarios del Ingeniero pero no incluye los costos de desplazamiento y estadía.

La responsabilidad de CALDERAS JCT S.A. estará limitada al suministro de las partes defectuosas para la reparación del producto, y la instalación de las mismas, reservándose el derecho de efectuar la reparación en las instalaciones del cliente, o en cualquier centro de reparación debidamente autorizado.

Siempre que aparezca la palabra GARANTIA, nuestra obligación por tal concepto cubre la reparación o sustitución de la pieza, el valor de la mano de obra para dicha reparación o sustitución será cancelado por el cliente; la garantía no ampara pérdidas por lucro cesante, daños al equipo, locales u otras instalaciones o daños emergentes.

La validez de la Garantía, no se aplica a productos que muestren daño por abuso, a productos que hayan sido alterados por otros, excepto con autorización escrita de CALDERAS JCT S.A., o a productos que hayan sido sometidos a atmósferas corrosivas o anormales, ni tampoco a productos que hayan cumplido una vida normal de uso.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No.	CLIENTE	PREPARADA PARA	FECHA	PAG
21621	COMPAÑIA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	ALEXANDER RUIZ	03/02/2010	- 16 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBÓN PARRILLA VIAJERA				

Para las mangas, en caso de deterioro, se liquidará a prorrata (el valor de reposición menos el tiempo pendiente por cumplir con la expectativa de vida útil convenida, 12 meses)

La vida útil esperada de las canastillas es de 2 años, sin embargo la garantía solo aplica para el primer año después de la entrega del acta de aceptación.

En relación con equipos eléctricos y electrónicos, tales como controladores y motores, CALDERAS JCT S.A trasladará la garantía de los fabricantes.

La presente oferta INCLUYE el valor de las pólizas que el comprador exija, para garantizar eventos diferentes a la garantía normal de fabricación de nuestros equipos, en caso que se acuerde el otorgamiento de una póliza, el valor de la prima respectiva será por cuenta del Vendedor.

EL IMPUESTO DE TIMBRE CORRERÁ POR CUENTA DEL COMPRADOR.

PRUEBAS:

- Prueba de calidad de vapor a máxima carga (Realizada por Calderas JCT): Se realiza con un calorímetro de estrangulamiento.
- Prueba de capacidad máxima de la caldera a presión constante (Realizada por Calderas JCT): se monitorea por medio del PLC.
- Prueba de emisiones atmosféricas a máxima capacidad del equipo (Realizada por el cliente).

DOCUMENTACIÓN:

- Data Shett de los equipos: Caldera, tanque, parrilla viajera, ventiladores, sistema de manejo de carbón.
- Fichas técnicas: Bombas, motores, válvulas, controles, etc.
- Layouts de la planta con la ubicación de los equipos.
- Certificados de calidad de los materiales utilizados.
- Documentación referente al estampe ASME: Data Shett, hoja viajera, tratamiento térmico, estampe de la caldera, resultados prueba hidrostática, etc.
- Planos eléctricos del tablero de control.
- Manual de operación y mantenimiento de la caldera.

El precio cotizado se entiende EQUIPOS PUESTOS en las instalaciones del VENDEDOR, se incluye el transporte.

SE INCLUYE EL ENSAMBLE Y LA PUESTA EN MARCHA DE LA CALDERA EN PLANTA DEL CLIENTE.

La INSTALACION de las redes de la caldera **NO ESTÁ INCLUIDA** en la presente oferta, este valor correrá por cuenta del COMPRADOR y son:

NOTAS GENERALES: LOS SIGUIENTES TRABAJOS O CONCEPTOS SERAN POR CUENTA DEL COMPRADOR:

- Red de vapor caldera, de 6" SCH 40.
- Válvula de salida de vapor de 6" flanchada .
- Red de agua fría al tanque de condensados 2" SCH 40.
- Red eléctrica de la subestación al tablero de controles de la caldera de 600 BHP.

Calle 6 No. 50 – 151 Autopista Sur. Conm: 361 0610 Fax: 255 9904
Email: proyectos@calderasjct.com.co

PROPUESTA No.	CLIENTE	PREPARADA PARA	FECHA	PAG
21621	COMPANÍA ELECTRICA DE SOCHAGOTA	ALEXANDER RUIZ	03/02/2010	- 17 -
PROYECTO: CALDERA HORIZONTAL DE 7 TON VAPOR/H X 12 BAR CARBON PARRILLA VIAJERA				

- Aislamiento térmico de la red de vapor.
- Soportes para las redes de vapor, agua, energía, purgas, aire comprimido, etc.
- Red de drenajes de 2".
- Red de aire comprimido entre caldera y suministro, de 2" SCH 40 100 psig.
- Red de agua entre la descarga de la bomba y la caldera de 2" SCH 40.
- Obras civiles en general (tumbada de muros, fabricación de losas, techos, botadas de escombros).
- Combustible requerido para poner en funcionamiento la caldera.
- Hervido de la caldera con sus químicos.
- Estudio y cálculo de malla de tierra para el pararrayos de la chimenea.
- Los requerimientos en la fuente de potencia en red trifásica es de 5 hilos (Voltaje en 3 fases, línea de neutro y línea de tierra)
- Tanque enfriador de purgas.
- Distribuidor de vapor.
- Suavizador de agua.
- Filtro de arenas para agua.
- Cilindro neumático para la evacuación de escorias en la guillotina.
- Plataformas de acceso superior a la caldera.
- Ningún otro equipo o trabajo que no se encuentre descrito en la oferta.

Atentamente,


JULIO JOSE CARDONA B.
CALDERAS JCT S.A.

Anexo 11. Nomenclatura

a_s	Área de Flujo Externo
A_b	Área de la Base de la Aleta
A_f	Área de Aleta
A_i	Área Interna del Tubo
A_o	Área de Transferencia de Calor Total Externa
C_p	Calor Específico del Aire
d_e	Diámetro Equivalente
D_e	Diámetro Externo del Tubo
D_f	Diámetro de la Aleta
D_i	Diámetro Interno del Tubo
G_l	Velocidad de Masa Para el Líquido
G_s	Velocidad de Masa Flujo Externo
G_v	Velocidad de Masa Para el Vapor
h_{do}	Coefficiente de Obstrucción Equivalente al Recíproco del Factor de Obstrucción
h_f	Coefficiente de Convección Externo
h'_f	Coefficiente de transferencia de Calor del Lado de la Aleta de Tubería Corregido por el Factor de Obstrucción
h'_{fi}	Coefficiente de Convección Corregido por la Eficiencia de Aleta y por la Superficie Interna del Tubo
h_i	Coefficiente de Convección Interno

H	Altura del Intercambiador
H_f	Altura de Aleta
H_{fg}	Entalpía de Vaporización
J_f	Factor de Transferencia de Calor Para Tuberías y Tubos Aleteados
K_a	Conductividad del Aire
L	Longitud del Intercambiador
$LMTD$	Diferencia de Temperatura Media Logarítmica
L_T	Longitud de los Tubos 1 Sólo Paso
L_u	Longitud Usada
\dot{m}_a	Flujo Másico de Aire
\dot{m}_v	Flujo Másico de Vapor
N_f	Número de Aletas en 1" de longitud
N_m	Número de Módulos
N_T	Número de Tubos
P_a	Presión Barométrica del Aire
PP	Perímetro Proyectado
Pr	Número de Prandtl
P_T	Pasos por los Tubos
P_v	Presión de entrada
Q_a	Flujo de Calor Aire
Q_v	Flujo de Calor Vapor
r_b	Radio Externo del Tubo
r_e	Radio Externo de la Aleta
R_{do}	Factor de Obstrucción Para Aire Industrial
Re_l	Número de Reynolds del líquido
Re_s	Número de Reynolds:

R_T	Resistencia Térmica Total
Re_v	Número de Reynolds del vapor
s	Paso entre Aletas
T_{ae}	Temperatura de Entrada:
T_{as}	Temperatura de Salida:
T_p	Temperatura promedio
T_s	Temperatura saturación:
t_f	Espesor Aleta
U_i	Coefficiente Global de Transferencia de Calor
W	Flujo de Aire que Pasa por un Módulo del Intercambiador
y_b	Mitad del Ancho de la Aleta en Pies
Z	Profundidad del Intercambiador
Ω	Eficiencia de Aleta
μ	Viscosidad Dinámica:
μ_v	Viscosidad Dinámica del Vapor
μ_l	Viscosidad Dinámica del Líquido
ρ_l	Densidad del Líquido
ρ_v	Densidad del Vapor