

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL QUIMICO

**EVALUACIÓN ECONÓMICA MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE RETENSADO EN MOLINO
DE BOLAS E IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS DE
MEDICIÓN EN LÍNEA DEL TAMAÑO DE
PARTICULAS**

Patricio Poblete Neculhueque

Profesor Guía:
José Torres Titus

2013

Agradecimiento

Primero y como más importante, estos agradecimiento son para mis padres, ya que debido a su esfuerzo y constancia lograron entregarme esta herramienta para mi futuro tanto profesional y personal. Agradecimientos a mi núcleo más cercano y personas que estuvieron presentes en este periodo académico.

También agradecer a mi tutor de tesis José Torres Titus por sus conocimientos y orientación en este proyecto de título. También un agradecimiento a toda la familia de las Escuela Química de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Resumen Ejecutivo

El siguiente Proyecto de Título “Optimización en la Caldera de Ventanas II de la Central Termoeléctrica Ventanas”, que será presentado a continuación, desarrolla un estudio y procedimiento para una Optimización y Mayor Eficiencia en la Generación de Energía, a partir de mejoras en los siguientes procesos y equipos:

- Lavado Químico
- Pulverizadores
- Quemadores
- Ventilador de Aire Primario (VAP)
- Ventilador de Aire Secundario (VTF)

Estos puntos serán exclusivamente en la Caldera de la Unidad II de la Central Termoeléctrica Ventanas, ubicada en la Región de Valparaíso, localidad Ventanas, Comuna Puchuncaví.

La Unidad II tiene una Potencia de Generación declarada en CDEC (Centro de Despacho Económico de Carga) de 220 MWh

Esta memoria se irá desarrollando paso a paso según los objetivos específicos mencionados posteriormente, que contemplaran una diferenciación en la eficiencia debido a las reparaciones generales realizados a los equipos mencionados anteriormente, una vez realizado esta diferenciación se analizarán los resultados obtenidos mediante las Reparaciones Generales (RRGG).

Posteriormente se analizaron las posibles alternativas para el mejoramiento de la granulometría del carbón y con esto disminuir los No Quemados (LOI), enfocándonos en un molino de bola llamado Pulverizador. Una vez identificado la mejor solución se realiza un estudio en la molienda de cada uno de los pulverizadores para poder identificar una tendencia para cada uno de estos.

Con los datos mencionados anteriormente se propone una serie de equipos auxiliares de medición en línea de Flujos, tamaño de partículas, enfocándonos principalmente en los LOI, Flujo de Aire, etc. En donde con una serie de datos se creara un Estudio Económico al implementar esta nueva tecnología a la Unidad II de la Central Termoeléctrica de Ventanas.

Objetivo General

El Objetivo General del siguiente Proyecto de Título es:

- Evaluación económica mediante la implementación de Retensado en Molinos de Bolas e implementación de Equipos de Mediciones en Línea del Tamaño de Partículas

Objetivos Específicos

Los Objetivos Específicos del presente Proyecto de Título son los siguientes:

- Identificar diferencias de Eficiencia antes y después de Reparaciones Generales
- Seleccionar las posibles alternativas para el mejoramiento en la fineza del carbón (granulometría) para disminuir los No Quemados (LOI)
- Determinación de equipos auxiliares para la medición en línea del tamaño de partículas, LOI, T°, Flujos, etc.
- Realizar un Estudio Económico

Índice Temático

| | |
|--|-----------|
| Capítulo 1 “Introducción” | 1 |
| 1.1.- Introducción..... | 2 |
| Capítulo 2 “Antecedentes Generales De La Empresa” | 5 |
| 2.1.- Introducción..... | 6 |
| 2.2.- Perfil de la Empresa..... | 6 |
| 2.3.- Presencia de Centrales AES en Chile | 8 |
| Capítulo 3 “Sistema Eléctrico” | 9 |
| 3.1.- Introducción..... | 10 |
| 3.2.- Sistema Interconectado Central (SIC) | 12 |
| 3.3.- Sistema Interconectado Norte Grande (SING)..... | 14 |
| Capítulo 4 “Descripción De Unidad II Ventanas” | 15 |
| 4.1.- Introducción..... | 16 |
| 4.2.- Características Principales | 16 |
| 4.3.- Flow-Sheet de la Unidad II..... | 17 |
| 4.4.- Flujos Principales | 18 |
| 4.5.- Funcionamiento General | 19 |
| Capítulo 5 “Caldera de la Unidad II” | 25 |
| 5.1.- Introducción..... | 26 |
| 5.2.- Equipos Principales de la Caldera | 26 |
| 5.2.1.- División de Equipos por Área | 27 |
| 5.3.- Principios Básicos de Operación de Calderas | 28 |
| 5.4.- Factores que afectan la Circulación Natural..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 5.5.- Circuito de Flujo de Vapor | 34 |
| 5.6.- Esquema General de los Equipos de la Caldera | 35 |
| 5.6.1.- Hechos que afectan la Presión de Vapor | 38 |
| 5.7.- Ciclo del Vapor..... | 39 |
| 5.7.1.- Flujo del ciclo de vapor | 39 |
| 5.7.2.- Posibles Problemas | 41 |
| Capítulo 6 “Combustión en la Caldera y Equipos Relacionados” | 42 |
| 6.1.- Introducción..... | 43 |
| 6.2.- Requisitos Para La Combustión | 43 |
| 6.3.- Equipos Relacionados con la Combustión | 44 |
| 6.3.1. Pulverizadores..... | 45 |
| 6.3.2.- Quemadores Y Aire Primario y Secundario | 46 |
| 6.4.- Relación Aire – Combustible | 48 |
| 6.5.-Proceso de Combustión (Reacciones Químicas)..... | 50 |
| 6.6.- Trayectoria del Flujo de Aire y Gas en la Caldera | 51 |
| 6.7.- Calderas de hogar presurizado..... | 54 |
| 6.8.- Temperatura del Aire y gases | 55 |
| 6.9.- Elementos y Equipos Necesario en la Puesta en Marcha | 56 |
| 6.9.1.- Venteos | 56 |
| 6.9.2.- Drenajes | 56 |
| 6.9.3.- Sopladores | 58 |
| Capítulo 7 “Diagnostico Antes de Mantención de la Unidad II” | 61 |
| 7.1.- Introducción..... | 62 |
| 7.2.- Antecedentes Generales e Índices EFOR/EAF | 62 |

| | |
|---|-----------|
| 7.2.1.- índices EFOR (taza de salidas forzadas)/EAF (disponibilidad) | 62 |
| 7.3.- Fallas relevantes | 63 |
| 7.3.1- Condensador | 64 |
| 7.3.2.- Rotura de Tubos En La Caldera | 64 |
| 7.3.3.- Overhaul Turbina..... | 67 |
| 7.3.4.- Mantenimiento Generales..... | 68 |
| 7.4.- Carta Gantt de Mantenimiento y Reparaciones..... | 69 |
| Capítulo 8 “Layout, Organización y Ubicación de la Unidad II” | 71 |
| 8.1.- Introducción..... | 72 |
| 8.2.- Layout de Termoeléctrica Ventanas (Unidad I y II) | 73 |
| 8.3.- Esquema Agua Vapor..... | 74 |
| 8.3.1.- Descripción del Esquema de Agua de Caldera..... | 75 |
| 8.4.- Sistema de Carbón..... | 77 |
| 8.4.1.- Descripción del Esquema de Sistema de Carbón | 78 |
| 8.5.- Sistema de Petróleo Grueso..... | 79 |
| 8.5.1.- Descripción del Esquema de Sistema de Petróleo Grueso | 80 |
| 8.6.- Sistema de Agua de Refrigeración | 81 |
| 8.6.1.- Descripción del Esquema de Sistema de Agua de Refrigeración..... | 81 |
| 8.7.- Sistema de Agua de Circulación..... | 82 |
| 8.7.1.- Descripción del Esquema de Sistema de Agua de Circulación | 84 |
| Capítulo 9 “Cálculos de la Eficiencia” | 85 |
| 9.1.- Introducción..... | 86 |
| 9.2.- Metodología para el Cálculo de Eficiencia | 87 |
| 9.3.- Cálculo de Eficiencia Antes de las RRGG el 03 de Enero del 2011 | 94 |

| | |
|---|-----|
| 9.3.1.- Resumen y Requisitos Para la Medición de la Eficiencia del 03-01-11..... | 94 |
| 9.3.2.- Cálculos de Eficiencia Según ASME PTC 4.1 del 03-01-11 | 100 |
| 9.4.- Cálculo de Eficiencia Después de las RRGG el 11 de Abril del 2011 | 109 |
| 9.4.1.- Resumen y Requisitos Para la Medición de la Eficiencia del 11-04-11..... | 109 |
| 9.4.2.- Cálculos de Eficiencia Según ASME PTC 4.1 del 11-04-11 | 115 |
| 9.5.- Cálculo de Eficiencia Después de las RRGG el 23 de Junio del 2011..... | 124 |
| 9.5.1.- Resumen y Requisitos Para la Medición de la Eficiencia del 23-06-11..... | 124 |
| 9.5.2.- Cálculos de Eficiencia Según ASME PTC 4.1 del 23-06-11 | 130 |
| 9.5.3.- Resumen y Requisitos Para la Medición de la Eficiencia del 23-06-11 Análisis del Carbón Cargado a Silo..... | 139 |
| 9.5.4.- Cálculos de Eficiencia Según ASME PTC 4.1 del 23-06-11 Análisis del Carbón cargado a Silo..... | 145 |

Capítulo 10 “Selección de alternativas para el mejoramiento de la Granulometría” 154

| | |
|--|-----|
| 10.1.- Introducción..... | 155 |
| 10.2.- Retensado en Servicio | 155 |
| 10.3.- Mantenciones del Pulverizador | 161 |
| 10.3.1.- Pulverizador 2-D | 163 |
| 10.3.2.-Pulverizador 2-E..... | 165 |
| 10.3.3.-Pulverizador 2-F | 166 |
| 10.3.4.-Pulverizador 2-H | 168 |
| 10.3.5.-Pulverizador 2-G | 169 |

Capítulo 11 “Recomendación de Equipos Auxiliares” 171

| | |
|---|-----|
| 11.1.- Introducción..... | 172 |
| 11.2.- Sistema de Aplicación para la Optimización de la Caldera | 173 |

| | |
|---|------------|
| 11.2.1- Mecontrol UBC, Medición en línea del carbón No quemado en la Ceniza Volante | 174 |
| 11.2.2- Mecontrol Coal PSA, Medición en línea del Flujo de masa de Carbón entre el Pulverizador y el Quemador | 175 |
| 11.2.3- Equipo de Medición de partículas en línea..... | 177 |
| 11.2.4- MECONTROL AIR, Medición de flujo en línea de exceso de aire precalentado o gases de combustión | 178 |
| 11.2.5- 13 Reglas de Oro para una Combustión Eficiente..... | 178 |
| Capítulo 12 “Estudio Económico” | 182 |
| Estudio Económico | 183 |
| Datos y Cálculos | 184 |
| Capítulo 13 “Análisis de Resultado y Conclusión” | 191 |
| Bibliografía | 202 |
| Anexo De Cálculo de Eficiencia | 1-A |
| Datos Otorgados por AES Gener y PCMLab del Carbón el 03-01-11 | 1-A |
| Cálculos del Carbón Cargado a Silo el 03-01-11 | 9-A |
| Datos Otorgados por AES Gener y PCMLab del Carbón el 11-04-11 | 18-A |
| Cálculos del Carbón Cargado a Silo el 11-04-11 | 24-A |
| Datos Otorgados por AES Gener y PCMLab del Carbón el 23-06-11 | 33-A |
| Cálculos del Carbón Cargado a Silo el 23-06-11 | 37-A |
| Cálculos del Carbón Cargado a Silo el 23-06-11 con Análisis de Carbón Cargado a Silo | 47-A |
| Anexo De Cálculo y Cotizaciones de Equipos Para el Retensado | 1-B |
| Cálculos del Pulverizador 2-D..... | 1-B |
| Cálculos del Pulverizador 2-E | 4-B |

| | |
|------------------------------------|------|
| Cálculos del Pulverizador 2-F..... | 7-B |
| Cálculos del Pulverizador 2-H..... | 10-B |
| Cálculos del Pulverizador 2-G..... | 14-B |
| Cotizaciones..... | 17-B |
| Indicadores..... | 28-B |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Centrales Generadoras de AES en Chile (4) | 8 |
| Tabla 2: Flujos Principales del Flow-Sheet de la Unidad II | 18 |
| Tabla 3: Equipos Principales de la Caldera de la Unidad II (7) | 26 |
| Tabla 4: División de los Equipos por Área (7) | 27 |
| Tabla 5: Fallas Relevantes de la Unidad II | 63 |
| Tabla 6: Rotura de Tubos por Zona | 66 |
| Tabla 7: Tipo de Muestra de Carbón para Short Run 03 de Enero 2011 | 94 |
| Tabla 8: Resumen de Análisis Inmediato de Carbón como Recibido Para Short Run 03 de Enero 2011 | 94 |
| Tabla 9: Resumen de Análisis Elemental de Carbón Para Short Run 03 de Enero 2011 | 95 |
| Tabla 10: Resumen de Análisis Mineral de la Ceniza Para Short Run 03 de Enero 2011 | 95 |
| Tabla 11: Resumen de Temperaturas de Fusión del Carbón Para Short Run 03 de Enero 2011 | 95 |
| Tabla 12: Combustibilidad de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011 | 96 |
| Tabla 13: Clasificación de la Ceniza en la Muestra de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011 | 96 |
| Tabla 14: Índice de Hardgrove de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011 | 96 |
| Tabla 15: Potencial de Escoramiento de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011 | 97 |
| Tabla 16: Potencial de Ensuciamiento de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011 | 97 |
| Tabla 17: Potencial de Erosión de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011 | 98 |
| Tabla 18: Colectividad de Partículas (P.P.E.E) de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011 | 98 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 19: Factores que Aumentan el Rendimiento de los (P.P.E.E) de la Mezcla de Carbón para Short Run 03 de Enero 2011 | 98 |
| Tabla 20: Potencial de Corrosión de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011 | 99 |
| Tabla 21: Cálculo de Eficiencia del 03 de Enero 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 | 105 |
| Tabla 22: Cálculo de Eficiencia del 03 de Enero 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (MITSUBISHI) | 108 |
| Tabla 23: Tipo de Muestra de Carbón para Short Run 11 de Abril 2011 | 109 |
| Tabla 24: Resumen de Análisis Inmediato de Carbón como Recibido Para Short Run 11 de Abril 2011 | 109 |
| Tabla 25: Resumen de Análisis Elemental de Carbón Para Short Run 11 de Abril 2011 | 110 |
| Tabla 26: Resumen de Análisis Mineral de la Ceniza Para Short Run 11 de Abril 2011 | 110 |
| Tabla 27: Resumen de Temperaturas de Fusión del Carbón Para Short Run 11 de Abril 2011 | 110 |
| Tabla 28: Combustibilidad de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011 | 111 |
| Tabla 29: Clasificación de Ceniza de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011 | 111 |
| Tabla 30: Índice de Hardgrove de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de abril 2011 | 111 |
| Tabla 31: Potencial de Escoramiento de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011 | 112 |
| Tabla 32: Potencial de Ensuciamiento de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011 | 112 |
| Tabla 33: Potencial de Erosión de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011 | 113 |
| Tabla 34: Colectividad de Partículas (P.P.E.E) de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011 | 113 |
| Tabla 35: Factores que aumentan el Rendimiento de los (P.P.E.E) Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011 | 113 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 36: Potencial de Corrosión de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011 | 114 |
| Tabla 37: Cálculo de Eficiencia del 11 de Abril 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 | 120 |
| Tabla 38: Cálculo de Eficiencia del 11 de Abril 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (MITSUBISHI)..... | 123 |
| Tabla 39: Tipo de Muestra de Carbón para Short Run 23 de Junio 2011..... | 124 |
| Tabla 40: Resumen de Análisis Inmediato de Carbón como Recibido Para Short Run 23 de Junio 2011..... | 124 |
| Tabla 41: Resumen de Análisis Elemental de Carbón Para Short Run 23 de Junio 2011 | 125 |
| Tabla 42: Resumen de Análisis Mineral de la Ceniza Para Short Run 23 de Junio 2011 | 125 |
| Tabla 43: Resumen de Temperaturas de Fusión del Carbón Para Short Run 23 de Junio 2011 | 125 |
| Tabla 44: Combustibilidad de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011 | 126 |
| Tabla 45: Clasificación de Ceniza en la Mezcla de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 126 |
| Tabla 46: Índice de Hardgrove de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011 | 126 |
| Tabla 47: Potencial de Escoramiento Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011 ... | 127 |
| Tabla 48: Potencial de Ensuciamiento de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011 | 127 |
| Tabla 49: Potencial de Erosión de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011 | 128 |
| Tabla 50: Colectividad de Partículas (P.P.E.E) de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 128 |
| Tabla 51: Factores que Aumentan el Rendimiento de los Partículas (P.P.E.E) de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 128 |
| Tabla 52: Potencial de Corrosión de Carbón Utilizado para Short Run 23 de junio 2011 | 129 |
| Tabla 53: Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 | 135 |
| Tabla 54: Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (MITSUBISHI)..... | 138 |
| Tabla 55: Tipo de Muestra de Carbón Cargado a Silo para Short Run 23 de Junio 2011 | 139 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 56: Resumen de Análisis Inmediato de Carbón como Recibido Cargado a Silo Para Short Run 23 de Junio 2011..... | 139 |
| Tabla 57: Resumen de Análisis Elemental de Carbón Cargado a Silo Para Short Run 23 de Junio 2011..... | 140 |
| Tabla 58: Resumen de Análisis Mineral de la Ceniza Cargada a Silo Para Short Run 23 de Junio 2011..... | 140 |
| Tabla 59: Resumen de Temperaturas de Fusión del Carbón Cargada a Silo Para Short Run 23 de Junio 2011..... | 140 |
| Tabla 60: Combustibilidad de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 141 |
| Tabla 61: Clasificación de Ceniza de Muestra de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 141 |
| Tabla 62: Índice de Hardgrove de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 141 |
| Tabla 63: Potencial de Escoramiento de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 142 |
| Tabla 64: Potencial de Ensuciamiento de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 142 |
| Tabla 65: Potencial de Erosión de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 143 |
| Tabla 66: Colectividad de Partículas (P.P.E.E) de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 143 |
| Tabla 67: Factores que Aumento el Rendimiento de los (P.P.E.E) de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 143 |
| Tabla 68: Potencial de Corrosión de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011..... | 144 |
| Tabla 69: Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (Medición del Carbón Cargado a Silo)..... | 150 |
| Tabla 70: Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (MITSUBISHI) Medición del Carbón Cargado a Silo..... | 153 |

| | |
|---|------|
| Tabla 71: Estimaciones para Un Retensado en Servicio para el Pulverizador 2.D-21 | 164 |
| Tabla 72: Estimaciones para Un Retensado en Servicio para el Pulverizador 2.F-19..... | 167 |
| Tabla 73: Estimaciones para Un Retensado en Servicio para el Pulverizador 2.G-15 | 170 |
| Tabla 74: Toneladas Molidas en los Pulverizadores de la Unidad II en Meses de Mayo y Junio 2011 | 184 |
| Tabla 75: Promedio de Toneladas Molidas en los Pulverizadores de la Unidad II..... | 184 |
| Tabla 76: Porcentajes Promedio de Ceniza y LOI Obtenidos de los Short Run | 185 |
| Tabla 77: Variaciones de Toneladas Molidas, % ASH y % No Quemado..... | 186 |
| Tabla 78: Variación de % No Quemado y de Dólares Perdidos..... | 188 |
| Tabla 79: Cotizaciones de Equipos Auxiliares para el Retensado en Servicio | 188 |
| Tabla 80: Cotización de Mano de Obra para la Instalación de Equipos Auxiliares para el Retensado en Servicio..... | 189 |
| Tabla 81: Cotizaciones de Varios para la Instalación de Equipos Auxiliares para el Retensado en Servicio | 189 |
| Tabla 82: Resumen de Cotizaciones y Mano de Obra para Implementación de Equipos Auxiliares..... | 189 |
| Tabla 83: Estudio Económico mediante el Método, Tiempo de Recuperación del Dinero... 190 | |
| Tabla 84: Resumen de Cálculo de Eficiencia por Método de la Perdidas (ASME PTC 4.1). 192 | |
| Tabla 85: Resumen de Cálculo de Eficiencia por Método de la Perdidas (ASME PTC 4.1) Mitsubishi | 195 |
| Tabla 86: Calculo de Análisis Inmediato de Carbón para el 03 de Enero del 2011 | 9-A |
| Tabla 87: Calculo de Análisis Elemental del Carbón para el 03 de Enero del 2011 | 10-A |
| Tabla 88: Calculo de Análisis Mineral de la Ceniza para el 03 de Enero del 2011 | 11-A |
| Tabla 89: Cálculo de Temperatura de Fusión del Carbón para el 03 de Enero del 2011 | 11-A |
| Tabla 90: Datos Necesarios Para Cálculo de Eficiencia del 03 de Enero 2011..... | 15-A |
| Tabla 91: Datos Necesarios Para Calculo de Eficiencia del 03 de Enero 2011 Mitsubishi | 17-A |
| Tabla 92: Calculo de Análisis Inmediato de Carbón para el 11 de Abril del 2011 | 24-A |
| Tabla 93: Calculo de Análisis Elemental de Carbón para el 11 de Abril del 2011 | 25-A |
| Tabla 94: Calculo de Análisis Mineral de la Ceniza para el 11 de Abril del 2011..... | 26-A |
| Tabla 95: Cálculo de Temperatura de Fusión del Carbón para el 11 de Abril del 2011 | 26-A |

| | |
|---|------|
| Tabla 96: Datos Necesarios Para Cálculo de Eficiencia del 11 de Abril 2011 | 30-A |
| Tabla 97: Datos Necesarios Para Calculo de Eficiencia del 11 de Abril 2011 Mitsubishi.. | 32-A |
| Tabla 98: Calculo de Análisis Inmediato de Carbón para el 23 de Junio del 2011 | 37-A |
| Tabla 99: Calculo de Análisis Elemental de Carbón para el 23 de Junio del 2011 | 38-A |
| Tabla 100: Calculo de Análisis Mineral de la Ceniza para el 23 de Junio del 2011 | 39-A |
| Tabla 101: Cálculo de Temperatura de Fusión del Carbón para el 23 de Junio del 2011 ... | 39-A |
| Tabla 102: Datos Necesarios Para Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 | 44-A |
| Tabla 103: Datos Necesarios Para Calculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mitsubishi | 46-A |
| Tabla 104: Calculo de Análisis Inmediato de Carbón Cargado a Silo para el 23 de Junio del 2011 | 47-A |
| Tabla 105: Calculo de Análisis Elemental de Carbón Cargado a Silo para el 23 de Junio del 2011 | 48-A |
| Tabla 106: Calculo de Análisis Mineral de la Ceniza de Carbón Cargado a Silo para el 23 de Junio del 2011 | 49-A |
| Tabla 107: Cálculo de Temperatura de Fusión del Carbón Cargado a Silo para el 23 de Junio del 2011..... | 49-A |
| Tabla 108: Datos del Pulverizador 2-D Juego 20 y 21 | 1-B |
| Tabla 109: Estimacion de Toneladas Molidas v/s Diametro Estimativo de la Línea de Tendencia del Pulverizador 2-D | 2-B |
| Tabla 110: Datos del Pulverizador 2-E Juego 20 y 21 | 4-B |
| Tabla 111: Estimacion de Toneladas Molidas v/s Diametro Estimativo de la Línea de Tendencia del Pulverizador 2-E..... | 5-B |
| Tabla 112: Datos del Pulverizador 2-F Juego 19 y 20..... | 7-B |
| Tabla 113: Estimación de Toneladas Molidas v/s Diámetro Estimativo de la Línea de Tendencia del Pulverizador 2-F..... | 8-B |
| Tabla 114: Datos del Pulverizador 2-H Juego 20 y 21 | 10-B |
| Tabla 115: Estimación de Toneladas Molidas v/s Diámetro Estimativo de la Línea de Tendencia del Pulverizador 2-H | 12-B |
| Tabla 116: Datos del Pulverizador 2-G Juego 15 y 16..... | 14-B |

| | |
|---|------|
| Tabla 117: Estimación de Toneladas Molidas v/s Diámetro Estimativo de la Línea de Tendencia del Pulverizador 2-G | 15-B |
| Tabla 118: Ceniza Volante Ventanas..... | 32-B |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Fig. 1: Participación de AES en los 4 Continentes (3) | 6 |
| Fig. 2: Mapa Recursos Eléctrico (5) | 11 |
| Fig. 3: Participación de AES Gener en el SIC (6) | 12 |
| Fig. 4: Participación de AES Gener en el SING (6) | 14 |
| Fig. 5: Flow-Sheet de la Unidad II | 17 |
| Fig. 6: Disposición de los Quemadores en el Hogar (8) | 21 |
| Fig. 7: Caldera Unidad II | 28 |
| Fig. 8: Esquema de Flujo de Agua en la Caldera (1) Y Gases de Combustión (2) (9 pág. 341) (10)..... | 29 |
| Fig. 9: Domo De La Caldera Unidad II (9 pág. 154) (10) | 30 |
| Fig. 10: Esquema del Flujo de Agua y Vapor que Circula en la Caldera y Domo (9) | 30 |
| Fig. 11: Diagrama de Circulación Natural (9 pág. 44) | 31 |
| Fig. 12: Domo Externamente (10) | 32 |
| Fig. 13: Domo Internamente (10) | 33 |
| Fig. 14: Esquema de la Unidad II | 35 |
| Fig. 15: Atemperador Spray en los Sobrecalentadores (9 pág. 435) | 37 |
| Fig. 16: Esquema del Ciclo de Vapor | 39 |
| Fig. 17: Referencia de Presión y Temperaturas en el Ciclo de Vapor (10) | 40 |
| Fig. 18: Equipos Relacionados en la Combustión (9 pág. 341)..... | 44 |
| Fig. 19: Esquema del Flujo del Combustible en el Pulverizador (7)..... | 45 |
| Fig. 20: Entrada del Flujo Aire Secundario al Hogar (9 págs. 345, 349) | 46 |
| Fig. 21: Elementos que Participan el La Puesta en Marcha de la Combustión (10)..... | 47 |
| Fig. 22: Secuencia de Encendido de la Caldera (10) | 47 |
| Fig. 23: Alimentador de Carbón | 48 |
| Fig. 24: Lamos de Control | 48 |
| Fig. 25: Economizador de la Caldera (9 pág. 461) | 51 |
| Fig. 26: Calentadores de Aire (9 pág. 453)..... | 52 |
| Fig. 27: Esquema Referencial del Calentador de Aire (9 pág. 454) | 52 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 28: Secuencia de Trabajo de los Calentadores de Aire (10)..... | 53 |
| Fig. 29: Tendencia de Temperatura de Gases de Combustión (9 pág. 178)..... | 55 |
| Fig. 30: Venteo en el Domo (10)..... | 56 |
| Fig. 31: Drenaje (10)..... | 56 |
| Fig. 32: Drenaje en los Sobrecalentadores (10)..... | 57 |
| Fig. 33: Purga del Domo (10)..... | 57 |
| Fig. 34: Sopladores (10)..... | 58 |
| Fig. 35: Sopladores IK (10)..... | 59 |
| Fig. 36: Sopladores IR (10)..... | 59 |
| Fig. 37: Distribución de los Sopladores de la Caldera de la Unidad II..... | 60 |
| Fig. 38: Índices EFOR/EAF de Complejo Costa..... | 62 |
| Fig. 39: Identificación de Zonas de Rotura de Tubos..... | 65 |
| Fig. 40: Carta Gantt de las RRGG..... | 70 |
| Fig. 41: Layout Unidad I y II de Central Termoeléctrica Ventanas..... | 73 |
| Fig. 42: Esquema Ciclo de Vapor..... | 74 |
| Fig. 43: Sistema del Ciclo de Carbón..... | 77 |
| Fig. 44: Sistema de Petróleo Grueso..... | 79 |
| Fig. 45: Sistema de Agua de Refrigeración..... | 81 |
| Fig. 46: Sistema Agua de Circulación..... | 82 |
| Fig. 47: Sistema Agua de Circulación (con Fotos)..... | 83 |
| Fig. 48: Grafico Para Obtención de Flujo de Vapor Recalentado..... | 89 |
| Fig. 49: Grafico Para el Cálculo del Calor Especifico del Gas a la Salida De los Calentadores de Aire (AH)..... | 90 |
| Fig. 50: Tabla de Entalpia de Vapor..... | 91 |
| Fig. 51: Tabla de Entalpia del Líquido Saturado..... | 92 |
| Fig. 52: Grafico Para las Perdidas por Radiación (9 pág. 518)..... | 93 |
| Fig. 53: Tabla de Granulometría Obtenidas por SAS (12)..... | 156 |
| Fig. 54: Equipo de Toma de Muestra de Carbón Pulverizado (En Norma)..... | 157 |
| Fig. 55: Esquema de Instalación de un Baffle y un Chute en los Pulverizadores (7)..... | 158 |
| Fig. 56: Tabla de Valores Obtenidos por SAS a los Resortes (12)..... | 159 |

| | |
|---|------|
| Fig. 57: Recomendaciones del Manual de Operaciones del Pulverizador De la B&W (7) | 160 |
| Fig. 58: Sistema de aplicación de Instrumentación por medio de PROMECON | 173 |
| Fig. 59: MECONTROL UBC | 174 |
| Fig. 60: MECONTROL Coal..... | 175 |
| Fig. 61: Principio de medición "velocidad" respecto a Mecontrol Coal..... | 176 |
| Fig. 62: Gráficos De Flujo de Masa y Velocidad respecto a Mecontrol Coal..... | 176 |
| Fig. 63: Equipo de Medición de Partículas en Línea..... | 177 |
| Fig. 64: MECONTROL AIR | 178 |
| Fig. 65: Grafico de Medición de Tamaño de Partícula y Flujo Másico..... | 179 |
| Fig. 66: Grafico de medición de Flujo de Aire Primario a la Entrada del Pulverizador..... | 180 |
| Fig. 67: Grafico de medición de Velocidades de Aire Primario a la Salida del Pulverizador | 180 |
| Fig. 68: Gráficos de Flujo de Masa antes y Después de implementación de PROMECON .. | 181 |
| Fig. 69: Grafica de Eficiencia Calculada por ASME PTC 4.1 v/s Carga | 194 |
| Fig. 70: Grafica de Eficiencia Calculada por ASME PTC 4.1 (Mitsubishi) v/s Carga | 196 |
| Fig. 71: Informe Diario de Abastecimiento de Carbón el Día 03 de Enero 2011 | 1-A |
| Fig. 72: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (Cerrajón DM) 1 | 2-A |
| Fig. 73: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (Cerrajón DM) 2 | 3-A |
| Fig. 74: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (La Loma) 1 | 4-A |
| Fig. 75: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (La Loma) 2 | 5-A |
| Fig. 76: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (Rollestone) 1..... | 6-A |
| Fig. 77: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (Rollestone) 2..... | 7-A |
| Fig. 78: Análisis de Gases para el 03 de Enero del 2011..... | 8-A |
| Fig. 79: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2A el 03 de Enero del 2011 | 12-A |
| Fig. 80: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2B el 03 de Enero del 2011..... | 12-A |
| Fig. 81: Informe Diario de Abastecimiento de Carbón el Día 11 de Abril 2011..... | 18-A |
| Fig. 82: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 11 de Abril del 2011 (Cerrajón DM) 1 | 19-A |
| Fig. 83: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 11 de Abril del 2011 (Cerrajón DM) 2 | 20-A |
| Fig. 84: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 11 de Abril del 2011 (La Loma) 1 | 21-A |
| Fig. 85: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 11 de Abril del 2011 (La Loma) 2 | 22-A |
| Fig. 86: Análisis de Gases para el 11 de Abril del 2011..... | 23-A |

| | |
|---|------|
| Fig. 87: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2A el 11 de Abril del 2011..... | 27-A |
| Fig. 88: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2B el 11 de Abril del 2011 | 27-A |
| Fig. 89: Informe Diario de Abastecimiento de Carbón el Día 23 de Junio 2011 | 33-A |
| Fig. 90: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 23 de Junio del 2011 (Cerrajón DM) 1 | 34-A |
| Fig. 91: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 23 de Junio del 2011 (Cerrajón DM) 2 | 35-A |
| Fig. 92: Análisis de Gases para el 23 de Junio del 2011 | 36-A |
| Fig. 93: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2A el 23 de Junio del 2011 | 40-A |
| Fig. 94: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2B el 23 de Junio del 2011..... | 40-A |
| Fig. 95: Análisis de Ceniza Tomada de la Escoria el 23 de Junio del 2011 | 41-A |
| Fig. 96: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-D | 3-B |
| Fig. 97: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-E..... | 6-B |
| Fig. 98: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-F | 9-B |
| Fig. 99: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-H | 13-B |
| Fig. 100: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-G..... | 16-B |
| Fig. 101: Catalogo de Medición en Línea de Carbón No Quemado y Sensor de Tamaño de Partícula de Ceniza | 17-B |
| Fig. 102: Cotización de Equipos de Medición En Línea De LOI y Tamaño de Partícula de ASH (mas Traducción) | 19-B |
| Fig. 103: Catalogo de Medición En Línea De LOI y Tamaño de Particula de Carbón | 20-B |
| Fig. 104: Cotización de Equipos de Medición En Línea de Flujo de Masa de Carbón y Tamaño de Partícula (mas Traducción) | 22-B |
| Fig. 105: Catalogo de Medición en Línea de Temperatura | 23-B |
| Fig. 106: Cotizaciones de Equipos de Medición en Línea de Temperatura | 23-B |
| Fig. 107: Catalogo de Medición en Línea de Flujo de Gas | 24-B |
| Fig. 108: Cotizaciones de Equipos de Medición en Línea de Flujo de Gas | 26-B |

| | |
|--|------|
| Fig. 109: Programa de Naves y Stock Proyectado – Ventanas..... | 28-B |
| Fig. 110: Indicadores de Precio de Carbón..... | 29-B |
| Fig. 111: Indicadores de Precio de Flete..... | 30-B |
| Fig. 112: Indicadores de Precio del Petroleó | 31-B |
| Fig. 113: Muestras de Ceniza Con % de No Quemado | 33-B |

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 1 “Introducción”

1.1.- Introducción

El presente Proyecto de Título “Optimización en la Caldera de Ventanas II de la Central Termoeléctrica Ventanas” fue realizado en la Central Termoeléctrica Ventanas AES Gener, ubicada en la Región de Valparaíso, Localidad Ventanas Comuna Puchuncaví.

Las necesidades de lograr una mejor eficiencia, derivan en la Optimización y mejora de funcionamiento de algunos Equipos Principales del Proceso de Vapor en la Caldera de Ventanas II, los cuales, debido a ciertos Parámetros Operacionales tales como Tiempo de Operación, Transferencia de Calor, Fugas, Problemas Medios Ambientales, Fineza de Carbón (Granulometría), ΔP , etc. Influyen notoriamente en el Rendimiento del Ciclo de Vapor.

Debido a Mantenimiento y Reparación de los equipos principales de la Caldera durante las RRGG (Reparaciones Generales 2011) y posteriores muestreos en los Ventiladores de Aire Primario y Ventiladores de Tiro Forzado, Pulverizadores, Quemadores y Tubos de la Caldera, se visualizará una mejora en la Eficiencia Operacional de la Caldera

Las Metodologías y Reparaciones utilizadas para la Optimización de dichos Equipos fueron:

- Ventilador de Aire Primario (VAP): En estos equipos principalmente se harán limpieza, revisión y calibración de controles. También mantenimiento y calibración de actuadores de Lamos en los (VAP), además revisión con una toma de muestra de presión en los ductos de descargas (Pitot), reparación si es necesario de Alabes y reposición de aislación como parches en ductos de succión como descarga si es necesario. Cabe destacar que se estarán haciendo pruebas de Aire Sucio para encontrar una constante que calibre los datos que recibe la sala de control.
- Ventilador de Tiro Forzado (VTF): En este equipo se hará una mantención general y calibración de actuadores de Lamos de descarga y succión, es principalmente el Aire Secundario de Combustión que se está calibrando con pruebas en los Quemadores

- Pulverizadores: En estos equipos se incorporará controladores en los alimentadores de cada uno de los Pulverizadores, después de su desarme habrá una revisión y calibración de elementos de molienda, etc. Una vez armado los equipos se regulara la tensión de los resortes entre las cubetas y mantención y calibración de los actuadores de Lamos, Calaire tanto frio como caliente. También Sellos en los tubos de los ductos de Carbón pulverizado. Posteriormente de su mantención y reparación se implantara un Retensado en servicio para obtener una mejor fineza en la molienda del Carbón y con esto obtener una mejor eficiencia ya que bajarían los No Quemados.
- Quemadores: En este equipo tan solo se verá los detectores de llama ya que estos Quemadores son nuevos.
- Lavado Químico: Este trabajo hecho a los tubos no se realizaba en 10 años por lo cual había una pérdida de calor considerable. Comenzará la limpieza química con una etapa de calentamiento y posteriormente etapas de remoción de cobre como etapa acida con sus respectivos enjuagues. Una vez terminado esto comenzara una etapa neutralizante y Pasivante para posteriormente una prueba hidrostática de la Caldera.
(1) (2)

La Unidad II tiene una Potencia de Generación declarada en CDEC (Centro de Despacho Económico de Carga) de 220 MWh

Esta memoria se irá desarrollando paso a paso según los objetivos específicos mencionados anteriormente, que contemplaran una diferenciación en la eficiencia debido a las reparaciones generales, realizados a los equipos mencionados anteriormente, una vez realizado esta diferenciación se analizaran los resultados obtenidos mediante las RRGG.

Posteriormente se analizaron las posibles alternativas para el mejoramiento de la granulometría del carbón y con esto disminuir los No Quemados (LOI), enfocándonos en un Molino de Bola llamado Pulverizador. Una vez identificado la mejor solución se realiza un estudio en la molienda de cada uno de los pulverizadores para poder identificar una tendencia para cada uno de estos.

Con los datos mencionados anteriormente, se propone una serie de equipos auxiliares de medición en línea de Flujos, tamaño de partículas, enfocándonos principalmente en los LOI, Flujo de aire, etc. En donde con una serie de datos se creara un estudio económico al implementar esta nueva tecnología a la Unidad II de la Central Termoeléctrica de Ventanas.

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 2 “Antecedentes Generales De La Empresa”

2.1.- Introducción

En este Capítulo se hará una descripción de AES Gener S.A a nivel Mundial como Nacional. Proporcionando un listado de las Centrales Generadoras de Electricidad y sus Capacidades Generadoras a los Sistemas Interconectados en Chile

También se detallara algunas características principales sobre Generación, tipo de Caldera, Combustible utilizado, etc. De la Unidad II de la Central Ventanas.

2.2- Perfil de la Empresa

Los inicios de AES (Applied Energy Services, Inc.) fue fundada por Roger Sant y Dennis Bakke en 1981, en Arlington, Virginia.

Ahora AES es una de las compañías Generadoras de Energía Eléctrica más Grandes del Mundo con fuentes de energía térmica, como renovables, tiene actualmente 120 Plantas que generan un total de más de 44.000 Megawatts en 29 países. Posee además 12 empresas generadoras de distribución en 6 países. (3)



Fig. 1: Participación de AES en los 4 Continentes (3)

- Estados Unidos y Canadá: 26 Plantas Generadoras, 1 (IPL), con más de 450.000 Clientes. Con una Capacidad Total Instalada de 13.000 MW.
- Europa-África: Países tales como Reino Unido, Países Bajos, Italia, Republica Checa, Ucrania, Hungría, Camerún y Nigeria con 13 Instalaciones de Generación, 3 Empresas de Distribución y más de 1.719.000 Clientes. Con una Capacidad Total Instalada de 4.000 MW y 1.200 en Construcción.
- Caribe: Países tales como México, Puerto Rico, República Dominicana, Colombia, El Salvador, Panamá con 19 Plantas de Generación, 1 (EDC), con más de 2.255.000 Clientes. Con una Capacidad Total Instalada de 6.000 MW.
- Asia: Países tales como China, Pakistán, Sultanato de Omán, Estado de Catar, Kazajistán, Sri Lanka, con 19 Instalaciones de Generación, 2 Empresas de Distribución y más de 460.000 Clientes. Con una Capacidad Total Instalada de 12.000 MW y 400 MW en Construcción.
- Suramérica: Países tales como Brasil, Argentina y Chile, con 36 Plantas Generadoras, 4 Empresas de Distribución, 1 (Electropaulo) y más de 6.729.000 Clientes. Con una Capacidad Total Instalada de 9.000 MW y 185 en Construcción. (3)

2.3.- Presencia de Centrales AES en Chile

Características principales de Central Generadoras de propiedades de AES en Chile

| Central | Capacidad Instalada | Tipo | Nº DE UNIDADES |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--|
| NORGENER | 277,3 MW | Carbón, Diésel y E-6 | 2 (136) |
| GUACOLDA | 304 MW | Carbón, Diésel y E-6 | 2 (150) |
| RENCA | 100 MW | Petróleo, E-6 (rest.) | 2 (50) |
| NUEVA RENCA | 379 MW | Ciclo Combinado Gas-Natural | 1 |
| ESSA | 370 MW | Ciclo Combinado Gas Natural y Diésel | Turbina Gas: 210 MW Turbina Vapor: 170 MW |
| ALFALFA | 178 MW | Hidroeléctrica | 2 |
| MAITENES | 30,8 | Hidroeléctrica | 5 |
| QUELTEHUES | 48,9 MW | Hidroeléctrica | 3 |
| VOLCAN | 13 | Hidroeléctrica | 1 |
| LAGUNA VERDE | 54,7 MW | Carbón | 2 |
| LAGUNA VERDE | 18,8 MW | Turbo Gas – Diésel | 1 |
| VENTANAS | 338 MW | Carbón | 2 |
| ELECTRICA VENTANAS | 240 MW | Carbón | 1 |
| LOS VIENTOS | 126 MW | Turbo Gas | 1 |
| SANTA LIDIA | 139 MW | Turbina a Petróleo | 1 |
| CONSTITUCIÓN | 8,7 MW | Biomasa | 1 |
| LAJA | 12,7 | Biomasa | 1 |
| MOSTAZAL | 47 MW | Biomasa y turbo-gas | 2 Y 1 |

Tabla 1: Centrales Generadoras de AES en Chile (4)

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 3 “Sistema Eléctrico”

3.1.- Introducción

En Chile, con la excepción de los sistemas de Aysén y Punta Arenas, las actividades de generación se desarrollan en torno a dos Sistemas Eléctrico: El Sistema Interconectado Central (SIC) que cubre desde el sur de la II región (rada de Paposo) a la X Región (localidad de Quellón), abasteciendo el consumo de aproximadamente el 92% de la población nacional; y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que abarca la I y II Región en donde sus principales consumidores son empresas mineras e industriales. Para cada sistema, la generación eléctrica es coordinada por su respectivo e independiente Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC), de tal manera que minimice los costos de operación y asegure la mayor eficiencia económica del conjunto, cumpliendo a la vez con las exigencias de calidad y seguridad de servicio definidas en las normativas vigentes. Y según su generación tanto en el SIC como en el SING hoy en día es el segundo Generador Eléctrico en Chile con un 21% (5)

■ MAPA DE RECURSOS ELÉCTRICOS
Sector Eléctrico



Fig. 2: Mapa Recursos Eléctrico (5)

3.2.- Sistema Interconectado Central (SIC)

La Generación Térmica en el Sistema Interconectado Central como se ha mencionado anteriormente cubre desde el sur de la II Región (Rada de Paposo) a la X Región (Localidad de Quellón). Y la Potencia total instalada para el Suministro Eléctrico en Chile considerando solo las empresas Integrantes del SIC y SING alcanzada al cierre del 2010 es de 15.899 MW en donde el 35,7% de esta Potencia era Hidroeléctrica y el 63,3% Termoeléctrica y 1% Eólica

En la cual al cierre del 2010 la potencia total instalada en el SIC, considerando solo las Centrales de todas las empresas integrantes del CDEC, alcanzo 12.201 MW equivalente al 76,7% de la potencia total instalada en donde el 46,4% de esa potencia es Hidroeléctrica, el 52,2% es Termoeléctrica y el 1,3% es Eólica. Y la producción total de energía eléctrica durante el 2010 en el SIC alcanzo los 43,255 GWh, un 3,5% superior a lo registrado en el año 2009 (5) (6)

De esta forma AES Gener aporta al Sistema Interconectado Central de la siguiente forma:

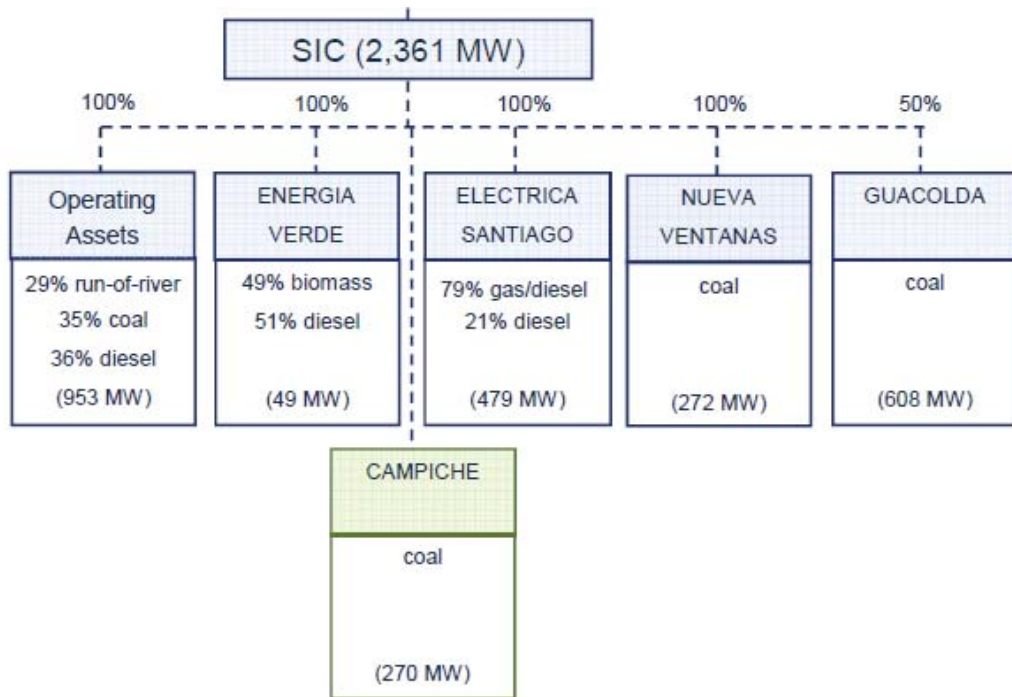


Fig. 3: Participación de AES Gener en el SIC (6)

Con el esquema mostrado anteriormente se obtiene los siguientes datos, 2.361 MW en Operación en el cual, el 52% corresponde a la generación con Carbón 11% Hidro (de pasada), 16% Gas/Diesel, 20% Diesel y 1% Biomasa. También con 270 MW en Construcción de una Planta Generadora con Carbón. (5) (6)

Cabe destacar que los nuevos desarrollos de generación han sido esencialmente térmicos, llegando a un parque de generación de Hidro a Hidro-Térmico de hasta un 50% este porcentaje se ve reflejado sobre todos en periodos de sequias. Con todos estos datos hoy en día AES Gener tiene una capacidad instalada en el SIC 2361 MW que corresponde al 19% del sistema. (5) (6)

3.3.- Sistema Interconectado Norte Grande (SING)

Este sistema se caracteriza por tener muy pocos recursos Hídricos para la generación eléctrica, de la cual entrega una potencia instalada al cierre del 2010 de 3.698 MW. Basado en 99,7% generación termoeléctrica a su vez esta energía está compuesta por un 56,1% por centrales a gas natural, 39,6% por centrales a Carbón, y un e 3,9% por centrales a petróleo, los principales consumidores son empresas mineras. (5)

La participación de AES Gener en el SING es de un 21,4% en la producción total. Y en el diagrama siguiente se muestra la estructura de generación y plantas en construcción para el sistema interconectado del norte grande (5)

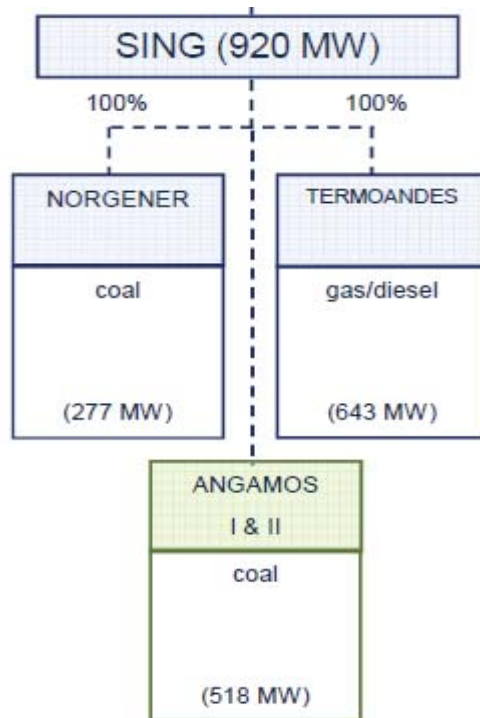


Fig. 4: Participación de AES Gener en el SING (6)

Como se observa en el diagrama de los 920 MW en operación del SING un 30% es producido con Carbón y un 70% Gas/Diésel, aparte se puede observar que está en construcción 518 MW, también se puede mencionar que con esta capacidad aporta en un 25% al SING. (5) (6)

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 4 “Descripción De Unidad II Ventanas”

4.1.- Introducción

En el Capítulo siguiente se hará una descripción en forma general y funcionamiento de la Unidad II de la Termoeléctrica de Ventanas indicando las funciones y características principales de sus equipos principales, en conjunto con un Flow-Sheet de la Unidad II. Toda la información mencionada a continuación solamente se verá de forma general ya que en los capítulos siguientes se especificará con más detalle los equipos que contemplan las entradas y salidas de flujo de la Caldera ya que esto será nuestro enfoque principal.

4.2.- Características Principales

Ventanas II. Esta unidad entró en servicio el 2 de Mayo de 1977 con una capacidad de 210 MW la cual cuenta con las siguientes características generales:

- Potencia máxima garantizada: 210 MW
- Tensión: de 18 KV de generación
- Velocidad de giro: 3000 rpm
- Combustible: Carbón mineral, Enap 6
- Máxima producción de Vapor: 647 Ton/hr
- Presión de Vapor Sobrecalentado: 144 Kg/cm²
- Temperatura de Vapor Sobrecalentado: 540 °C
- Temperatura de Vapor Recalentado: 540 °C
- Consumo específico de Calor: 2200 Kcal/KWH
- Eficiencia de la Unidad: 39%
- Consumo de Carboncillo a carga máxima: 84 Ton/hr, 2.016 Ton/día, 60.000 Ton/mes
- El Turbo Generador es “General Electric”: 257.100 KVA, 18.000 Volt, 0,85 factor de potencia, 3.000 rpm
- El Generador de Vapor es “Babcock & Wilcox”: Circulación natural, economizador y calentadores de Aire tipo Rothomoueller, eficiencia garantizada de 89,5% (7)

4.3.- Flow-Sheet de la Unidad II

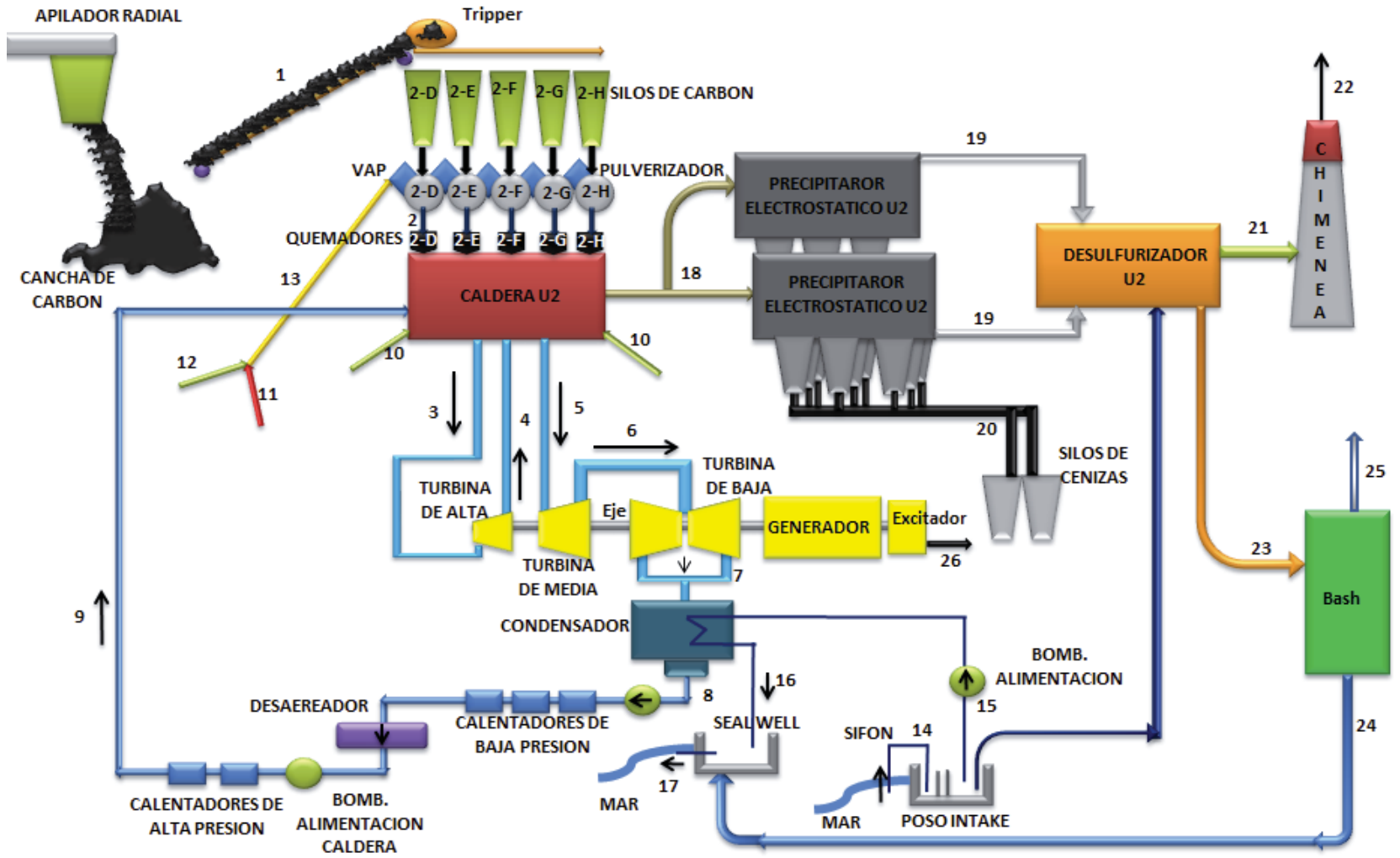


Fig. 5: Flow-Sheet de la Unidad II

4.4.- Flujos Principales

| | | | |
|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|
| 1 | Correa Transportadora | 15 | Flujo de Enfriamiento a Condensador |
| 2 | Flujo de Mezcla de Aire-Carbón | 16 | Flujo de Enfriamiento a Condensador |
| 3 | Flujo de Vapor Sobrecalentado | 17 | Descarga de Agua de Mar al Mar |
| 4 | Flujo de Vapor Recalentado Frio | 18 | Flujo de Mezcla Cenizas-Gases |
| 5 | Flujo de Vapor Recalentado Caliente | 19 | Flujo de Gases de la Caldera |
| 6 | Flujo de Vapor Recalentado Caliente | 20 | Flujo de Ceniza Volante |
| 7 | Flujo de descarga de Vapor T.B | 21 | Flujo de Gases en Norma |
| 8 | Flujo de Condensado | 22 | Flujo de Descarga de Chimenea |
| 9 | Flujo de Agua de Alimentación | 23 | Flujo de Mezcla Cenizas-Agua de Mar |
| 10 | Flujo de Aire Secundario | 24 | Flujo de Agua de Mar |
| 11 | Flujo de Aire Caliente | 25 | Flujo de Cenizas |
| 12 | Flujo de Aire Frio | 26 | Flujo de Agua de Mar |
| 13 | Flujo de Aire Primario | 27 | |
| 14 | Flujo de Succión de Agua de Mar | 28 | |

Tabla 2: Flujos Principales del Flow-Sheet de la Unidad II

4.5.- Funcionamiento General

La Cancha de Carbón: En la cancha de Carbón tiene una capacidad de 200.000 Ton y consta de un equipo llamado **Apilador Radial**, el cual su función principal es depositar el Carbón recién llegado (en buques de 80.000 Ton semanales) al Puerto Ventanas, el cual esté es transportado por una correa transportadora la cual tiene una capacidad de distribución máxima de 1.500 Ton/hr la cual pasan por (TT-14 PVSA) de esta última torre de transferencia se descarga a la correa 15 de 42 pulg. Como se mostrara a continuación.

Una vez llegado al **Apilador Radial** el Carbón es pasado a la correa 16 de 48 pulg y su principal trabajo es apilar el Carbón en forma de cono en varios puntos del centro de la cancha y de esta forma esparcir el Carbón más antiguo de la forma firth in firth out (fifo) (tema de humedad, poder calorífico, tiempo, etc.) hacia la periferia de la cancha. Posteriormente entran los Tractores D8T y D8N y Cargadores Frontales los cuales estos últimos llevan el Carbón a la Tolva Auxiliar y Principal las cuales son de exclusividad para la Unidad I y II.

Para la Unidad III ocupa otro sistema llamado **Dozer Trap**, esta es una correa con paletas que captura el Carbón para posteriormente depositarlo en la correa transportadora de la Unidad III.

Cabe destacar que a la cancha de Carbón llegan varios tipos de Carbón en la cual se hacen mezclas principalmente carbones de tipo bituminoso. Actualmente se está trabajando con una mezcla de 60% Cerrajón y 40% La Loma.

Una vez el Carbón ingresado a las tolvas, el Carbón es transportado por las correas transportadoras hacia una tolva separadora, ante que el Carbón llegue a la tolva un equipo llamado **Electroimán** hace el trabajo de sacar los metales de la mezcla transportada en la correa. Una vez que empieza a ser depositada en la tolva separadora aparece otro equipo que se encarga de sacar el polvo producido por el trasvasije **Rotoclone**. En la tolva separadora este es pasado por un molino, cuya única función es dejar con una granulometría (tamaño de Carbón) de $\frac{3}{4}$ " – $\frac{1}{4}$ ". Cabe destacar que en la casa de molino hay una serie de separaciones

del Carbón transportado por las correas habiendo recirculaciones y homogenización de la mezcla. Esta mezcla es analizada y mandada a un laboratorio externo. Los analices serán detallados en el balance de masa posteriormente.

Una vez que el Carbón sale de la Casa de Molino es transportado por la correa 3 de 30 pulg al **Tripper** (distribuidor viajero) en donde este juega un papel importante ya que es el que reparte el Carbón a los Silos de la Unidad I y II. Ya que están interconectados entre las unidades su capacidad de descarga la maneja el operador del Tripper, ya que no es manejado por la sala de control.

La Unidad II consta de 5 **Silos** los cuales tienen los siguientes nombres son 2-D, 2-E, 2-F, 2-G y 2-H de Norte a Sur como se verá en la figura. **Los Silos** tienen una capacidad de 280 Ton. Una vez depositado el Carbón en los Silos estos alimentarán de forma individual a cada Pulverizador.

Los Pulverizadores de la Unidad II son 5 denominados de forma parecida a los Silos con una alimentación personalizada como se mencionó anteriormente. Estos pulverizadores son molinos de bola. El Carbón llegará al **Alimentador** que es un equipo del pulverizador que se mencionará más adelante. El pulverizador tiene una capacidad de molienda de 18 Ton/hr. Y deberá moler este hasta llegar a una fineza recomendada de 70% por malla 200.

El Carbón una vez pulverizado es transportado a los Quemadores mediante el apoyo de los equipos llamados **Ventiladores de Aire Primario (VAP)** el cual succiona Aire Caliente y Aire Frío según se requiera de los **Ventiladores de Tiro Forzado (VTF)**, en el caso del Aire Caliente este pasa por un precalentador de Aire con todo esto genera una mezcla de Aire-Carbón. El Aire utilizado es conocido como Aire Primario. En el sistema también aparecen los Ventiladores de Aire de Sello de los Pulverizadores los cuales se detallarán más en los capítulos posteriores. Con la mezcla de Aire-Carbón pasamos a los Quemadores en están en la Caldera de la Unidad II.

Los Quemadores son del tipo de Quemador frontal dual en la cual están distribuidos se la siguiente forma, 4 Quemadores por piso en 5 pisos denominándole a cada piso una letra como se puede ver en la siguiente tabla. Cabe destacar que los Quemadores fueron

cambiados ya que los originales eran del tipo Swirlers que se basaban en darle vorticidad al flujo de Carbón que salía del Quemador para aumentar la trayectoria y el tiempo de residencia de la partícula de Carbón los nuevos Quemadores son ACT de USA los cuales serán detallados más adelante.

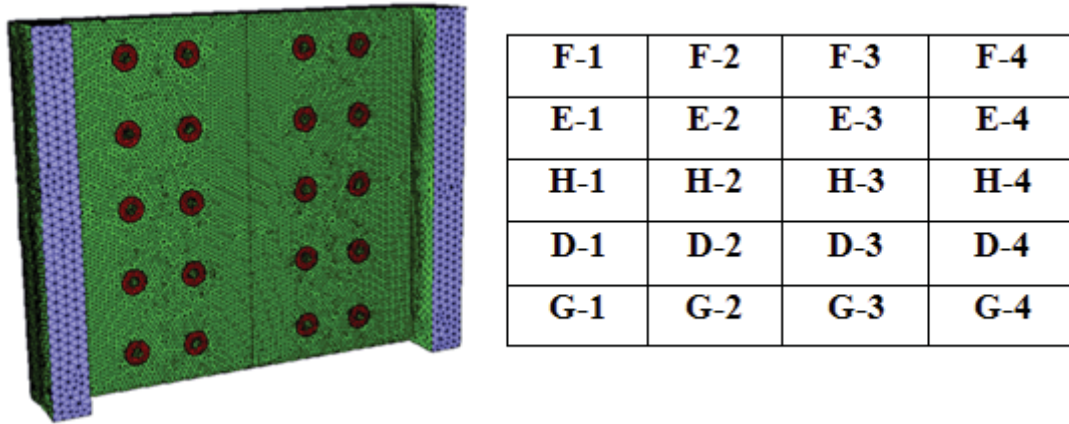


Fig. 6: Disposición de los Quemadores en el Hogar (8)

Con los datos mencionados anteriormente se llega posteriormente a **La Caldera** en donde se producirá la combustión entre la mezcla Aire-Carbón y Aire de combustión que en este caso se denomina Aire Secundario.

La Caldera es del tipo tubular colgante en la cual tienes equipos o partes importantes para un buen funcionamiento tales como El Domo, Economizador, Sobrecalentador, Recalentador, Sopladores de tipo IK e IR, Hogar de la Caldera y Precalentador de Aire, Economizador, Estanque de Escoria para la Ceniza de Fondo. Todos estos equipos principales que son parte de La Caldera se detallaran de forma más específica en los capítulos posteriores.

La Caldera realiza una función principal y es quemar combustible para producir calor que en este caso sería Carbón pulverizado como combustible y el calor generado libera energía térmica y esta energía se ocupa para transformar el agua en Vapor. En la Caldera principalmente en el hogar se encuentran tubos verticales en donde corre el agua en su interior y que normalmente se denominan tubos de pared y conforman el hogar de La Caldera. En este hogar es en donde se produce la combustión y el calor generado es entregado a los tubos

por medio de radiación que posteriormente calentaran el agua por medio de convección hasta transformándola en vapor y este es transportado **Al Domo** junto con el agua en donde son separados, y el agua es recirculada nuevamente a la pared de los tubos mediante los **Down Comer** y el Vapor es derivado a **La Turbina**.

El Vapor principal que se deriva a la **Turbina de Alta** es un Vapor Sobrecalentado en el cual sale de esta Turbina de Alta como Vapor Recalentado Frio introduciéndose nuevamente a la Caldera y sacando un Recalentado Caliente de esta para que llegue a la **Turbina de Media y Baja** y posteriormente el Vapor pasa al Condensador.

El Condensador es un intercambiador de calor que transforma el Vapor en Agua, este intercambiador es de tubos por donde circula agua de Mar como liquido de enfriamiento en un sistema abierto, esto quiere decir que el agua de refrigeración es tomada del mar a una profundidad de 7 a 8 metros y transportada al **Pozo Intake** en donde es limpiada mediante filtros para sacar algas o pequeños peces posteriormente es llevada al Condensador en donde pasa a enfriar y una vez que cumple su función es enviada al **Seal Well** y posteriormente es enviado al Mar, con todo esto mencionado se puede considerar que es un sistema de refrigeración abierto.

El vapor a condensar se llama condensado y es depositado en un área llamada hotwell que posteriormente pasa a un sistema de bombas y cañerías en donde se le conoce como sistema de alimentación de condensado y completa el ciclo de vapor que se mencionara de forma más específica más adelante.

El agua que entra a la Caldera es conocida como agua de alimentación y es necesaria para remplazar el agua que sale de la Caldera en forma de vapor. Esta agua es calentada para mejorar la eficiencia de la Caldera en los **Calentadores de Baja Presión y Alta Presión**, estos calentadores ocupan vapor de extracción y su nombre se debe a que es extraído entre las etapas de la turbina, también se extrae el Aire del agua en el **Desaerador** para que no se produzca corrosión en los tubos del hogar por hidrogeno. Debido a todos estos pasos en el ciclo del vapor es necesario tener un sistema de make up o de agua perdida, este es el encargado de remplazar el agua perdida, ya que las válvulas, bombas tienen filtraciones de

las cuales son casi imposible de evitar, esta Agua es introducida al hotwell además tienes que ser purificada para evitar la formación de incrustaciones en el interior de los tubos.

El vapor que llega a la turbina entra por unas toberas y pasa a través de los alabes en donde libera presión y temperatura por ende hace girar los alabes y a su vez el eje de la turbina que está directamente conectado al generador, o sea que siguiendo los pasos de energía esta pasa de la Energía Térmica producida en la Caldera se transformó en energía eléctrica en el Generador y Excitador.

Los Generadores son máquinas que transforman la energía mecánica en energía eléctrica, la salida que entrega un generador esta medida en watt medida de potencia eléctrica. Por lo tanto del Generador sale electricidad la cual pasa a un **Transformador** que aumenta el Voltaje para una transmisión más eficiente, posteriormente la energía llega al **Patio de Alta**, es aquí en donde todas las salidas son combinadas para ser transmitidas a diferentes áreas por medio de líneas de alta tensión. Estas líneas conectan la Central con Subestaciones, estas Subestaciones realizan varias funciones, primero combinan la salida de varias Centrales Generadoras en un solo punto, posteriormente unos transformadores disminuyen el alto voltaje de las líneas a fin de poder usar la electricidad en forma más local. La energía así es distribuida por líneas locales que están en postes o subterráneamente. Estas líneas llegan a su destino pasan por otro transformador en donde nuevamente se disminuye el voltaje para hacerlo compatible con los que usan los artefactos o utensilios caseros, ante de esto último esta línea que sale del ultimo transformador es conectado a un medidor el cual mide la cantidad de electricidad que se toma de la línea de distribución local posteriormente se conecta a un interruptores de protección termomagnético (automáticos) y de ahí a las distintas partes de la propiedad.

En el caso de los Gases de combustión y el material particulado de este se llevan a varios equipos tales como los **Precipitadores Electrostáticos** en la cual su función es capturar la Ceniza liviana y tratar de que esta no se descargar por la chimenea estos tienen un 99.9% de eficiencia.

Los gases y el material particulado que sería en este caso mucho menor serán ingresados al **Desulfurizador** para capturar el SOx y posteriormente transformar el sulfito a sulfato con agua de mar más la Aireación en el Seal Well. (1) (2)

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 5 “Caldera de la Unidad II”

5.1.- Introducción

Este Capítulo es la base de esta memoria ya que es aquí en donde se tratara de optimizar y lograr una mejor eficiencia. Se describirá las partes esenciales que se trabajaron en este periodo de memoria en AES Gener Central Ventanas, tales como los Ventiladores, Pulverizadores, Quemadores y todos los Tubos que fueron tratados en el Lavado Químico.

Aparte se mencionaran equipos y elementos principales para el funcionamiento de la Caldera tanto para la Combustión y Generación de Vapor. También se verán variables importantes que tendremos que tener en cuenta para su mejor funcionamiento.

Para todo lo anterior se entregaran Diagramas, Flow-Sheet, Ciclos y características principales de la Caldera de la Unidad II

5.2.- Equipos Principales de la Caldera

| Unidades | Equipo | Unidades | Equipo |
|----------|-----------------------------|------------|----------------------------|
| 1 | Caldera | 1 | Recalentador (2 etapas) |
| 1 | Pared frontal del hogar | 5 | Pulverizadores |
| 2 | Paredes laterales del hogar | 20 | Quemadores |
| 1 | Pared trasera del hogar | 1 conjunto | Chimeneas y conductos |
| 1 | Economizador | 2 | Calentador de Aire |
| 1 | Sobrecalentador Primario | 1 | Caldera asociados de acero |
| 1 | Sobrecalentador Secundario | 1 conjunto | Accesorios |

Tabla 3: Equipos Principales de la Caldera de la Unidad II (7)

5.2.1.- División de Equipos por Área

| | |
|-----------------------------------|---|
| Equipos de transferencia de calor | Horno (Hogar) Sobrecalentador y atemperador Recalentador y atemperador interno Economizador Calentador de Aire regenerativo |
| Equipamiento de Combustible | Economizador y unidades Alimentadores integrales de Carbón y unidades. Ventiladores de Aire Primario y unidades. Tuberías de Carbón crudo Quemadores Tubería de Quemador Encendedores |
| Chimenea y conductos | Ladrillos refractarios Revestimiento Aislación |
| Equipo auxiliares | Cierre y tuberías de aspiración Termocuplas Ventilador de tiro forzado y unidades. Ventilador de Gas de recirculación y unidades. Calentador de Aire de serpentín de vapor. Control de la Temperatura de Vapor Control de Quemadores Sello del sopladores de Aire en los pulverizadores. Sello del soplador de Aire de refuerzo |
| Estructurales | Acero estructural, incluyendo soporte de plataforma Plataformas, reja y peldaños |
| Cenizas y equipos de polvo | Sopladores de hollín y unidades Colector de polvo mecánico |

Tabla 4: División de los Equipos por Área (7)

5.3.- Principios Básicos de Operación de Calderas

En esta Unidad existe una Caldera del tipo de Circulación Natural con Domo



Fig. 7: Caldera Unidad II

Este es un dibujo esquemático del flujo de agua de alimentación que pasa a través de la Caldera. También se mostraran otros elementos de ella. Tales como el Hogar (H), Quemadores (B), Ventiladores de Aire Primario (VAP) (A), pulverizadores (P), Silo (C), Pared de tubos (E), Domo (D) y por donde fluyen los gases de combustión, que luego saldrán por la chimenea como paso final, etc.

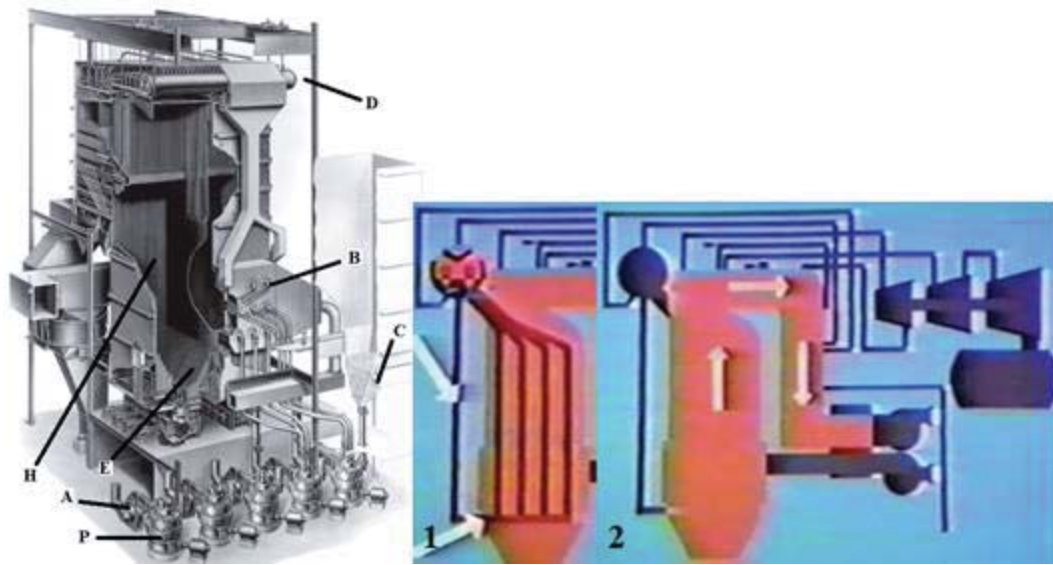


Fig. 8: Esquema de Flujo de Agua en la Caldera (1) Y Gases de Combustión (2) (9 pág. 341) (10)

En la Fig. 9 se muestra el Domo de la Caldera de la Unidad II, en la imagen (1) de esta Fig. Se presenta con flechas la entrada del agua de alimentación al Domo (C), Down Comer (B), colectores de mezcla Agua-Vapor (A), Separadores de Humedad (E), Secadores de Humedad (F) y Salida de Vapor (D). En (2) es una representación de otro Domo parecido en la parte interior de la Caldera y en (3) es una foto Real del Domo de la Unidad II en la parte exterior de la Caldera de la Unidad II. En pocas palabras el Domo es un equipo que separa el Vapor del Agua que llega mediante los tubos de pared. (9) (10)



Fig. 9: Domo De La Caldera Unidad II (9 pág. 154) (10)

El Agua dentro del Domo circula en forma continua por los Down Comer hacia los Colectores Inferiores de la Fig. 10 (Imagen 1). El Domo consta de dos Down Comer el cual lleva el agua hacia los colectores que posteriormente suministran agua a los tubos de pared, en donde estos reciben el Calor generado por la combustión de la quema del Carbón pulverizado en el Hogar de la Caldera (Imagen 2) de la Fig. 10, y por ende se convierte parte del agua en vapor o sea se produce una mezcla Agua-Vapor dentro de los tubos de pares que posteriormente entra en el Domo, una vez allí la mezcla es separada por los **Separadores de Humedad** y los **Secadores** estos dos elementos serán mencionados más adelante. El vapor se acumula en lo alto del Domo en cambio el agua queda en el fondo como se demuestra en la Fig. 10

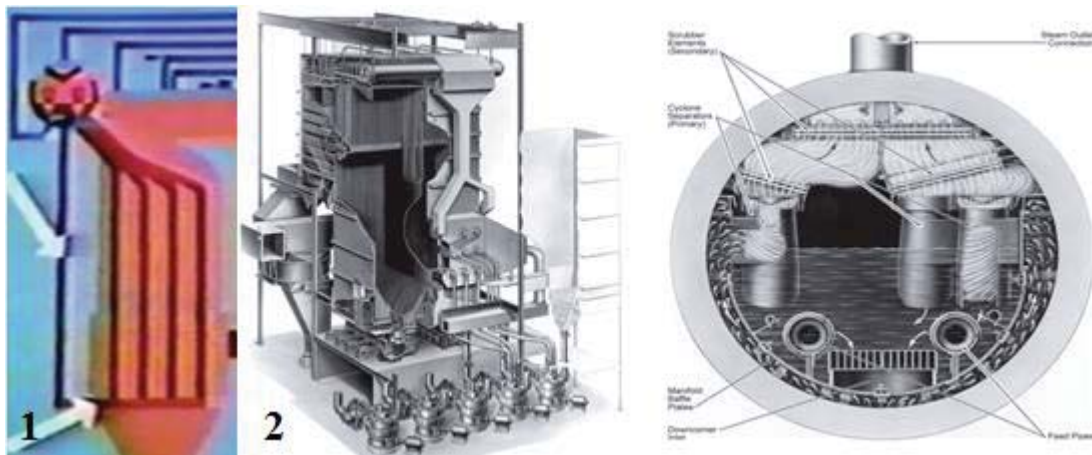
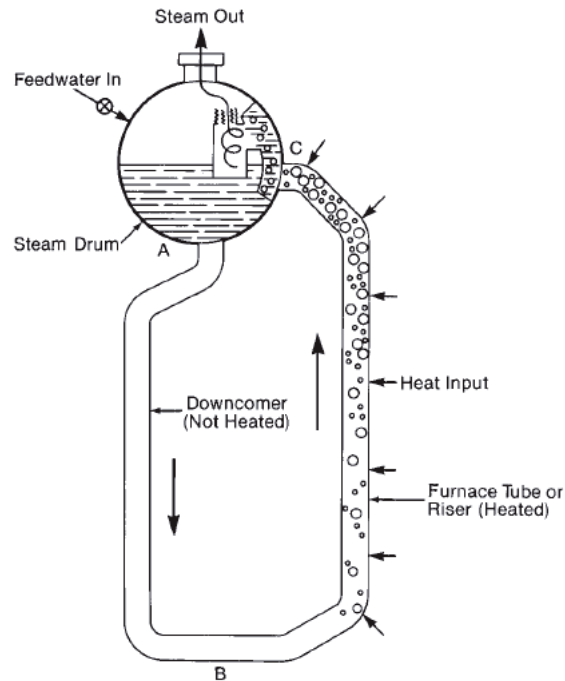


Fig. 10: Esquema del Flujo de Agua y Vapor que Circula en la Caldera y Domo (9)

Como se mencionó anteriormente, la Caldera es del tipo de circulación natural con Domo, ¿Qué significa este nombre y Como se Produce esto?

El significado es que hay una recirculación del Agua, esta Agua parte del Domo a los Down Comer posteriormente a los Cabezales o Colectores y luego a la Pared de los Tubos terminando el Ciclo en el Domo.

Esto se debe a que el agua fría es más pesada que el agua caliente, o mezcla Agua-Vapor que hay en los tubos de pared, el agua caliente o la mezcla es menos densa y se hace más liviana, o sea está agua o mezcla como se mencionó anteriormente es más liviana que el agua que está en los Down Comer debido a que los tubos están calientes por la Combustión que se produce en el Hogar. Esto por tanto provoca que el agua de los Down Comer empuje la mezcla de agua-vapor en los tubos de pared al Domo. Y como resultado final produce un flujo auto-mantenido denominado Circulación Natural. Esto se mantendrá mientras haya agua y se siga produciéndose Calor en el hogar (9) (10)



(a) Simple Natural or Thermal Circulation Loop

Fig. 11: Diagrama de Circulación Natural (9 pág. 44)

5.4.- Factores que afectan la Circulación Natural

La Circulación Natural es afectada por 4 factores tales como:

- Cantidad de Calor producido en el Hogar.
- Altura de la Caldera
- Presión de trabajo de la Caldera
- Diámetro de los Tubos de Pared

Los dos primeros puntos tienen un efecto positivo en la Circulación Natural ya que al elevar la temperatura del Hogar también se eleva el flujo de la Circulación Natural ya que hay una gran diferencia de temperatura entre los tubos de la pared y los Down Comer

Para el caso de la altura mientras más alta sea la Caldera, mayor es la Circulación Natural debido a que su aumento la diferencia del peso entre el agua en los Down Comer y la mezcla Agua-Vapor en la pared de los tubos.

Para el caso de la presión, esta tiene un efecto negativo en la Circulación Natural debido a que si aumentamos la presión el flujo disminuye por que la diferencia de densidad entre el agua y el vapor. Por eso que cada Caldera se diseña para operar a cierta temperatura y presión. (9) (10)

En la Fig. 12 se presenta al Domo externamente en la cual se distinguen los siguientes flujos:

1. Entrada de agua de alimentación.
2. Down Comer.
3. Retorno de mezcla Agua-Vapor de los tubos de pared.
4. Vapor sale del Domo hacia los Sobrecalentadores.

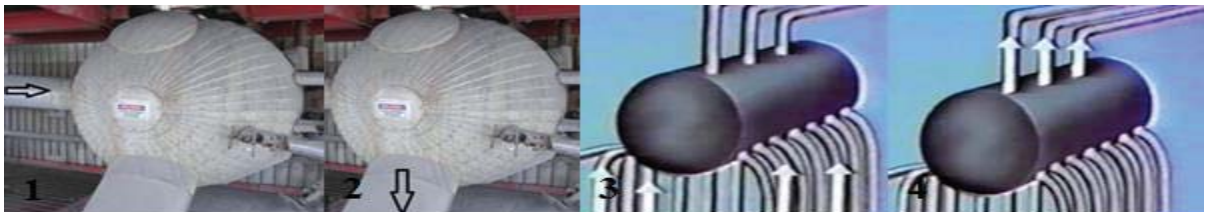


Fig. 12: Domo Externamente (10)

En la Fig. 13 se presenta al Domo internamente en la cual se distingue los siguientes elementos:

1. Agua de alimentación que se suministra de esta cañería de distribución que corre a lo largo de todo el Domo
2. La mezcla agua-vapor que proviene de los tubos de pared alimenta a la parte inferior del Domo llamado deflectores, estos deflectores dirigen la mezcla al siguiente punto
3. Separadores de Humedad, cuya finalidad es separar el agua del vapor en donde el agua se va a la parte inferior del Domo y el vapor con humedad se va a la parte superior del Domo. En donde el vapor tiene algo de agua todavía y este es separado en el punto siguiente.
4. Secador, su única finalidad es secar la el agua contenida en el vapor.

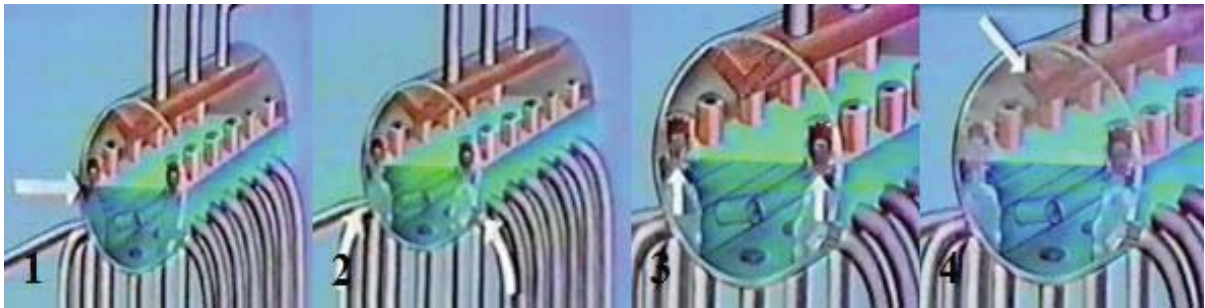


Fig. 13: Domo Internamente (10)

5.5.- Circuito de Flujo de Vapor

Como se mencionó anteriormente esta Caldera es de Circulación Natural con Domo. Otros elementos que están dentro de la Caldera son los Sobrecalentadores y Recalentadores estos elementos actúan sobre el Vapor entre el Domo y la Turbina. Y antes de ver los nuevos conceptos hay que tener en cuenta 3 conceptos importantes que están relacionados con el Vapor:

- Hervir
- Saturar
- Sobrecalentar

Recordando lo mencionado, la Caldera convierte el agua en vapor a una presión determinada o sea si la Caldera trabaja a mayor presión tendrá una mayor temperatura.

Ej. El agua hierve en condiciones normales de presión y temperatura a 100°C (212°F) y 14,7 psi (1 atm) estos datos pertenecen a la Temperatura de Saturación. En el caso que las condiciones cambien por ejemplo a 1.000 psi (68,04 atm) tendrá una temperatura de 285°C (585°F). Cabe destacar que cada vez que haya agua y vapor la Temperatura de ambos será la Temperatura de Saturación. (10) (11)

En este caso la Caldera mantiene la relación Presión - Temperatura de Saturación, a pesar que la presión sea mayor a la atmosférica su temperatura también será mayor pero igual a la Temperatura de Saturación en los tubos de la pared.

Si la Llama de la combustión es más grande habrá más Vapor porque se va alcanzar la Temperatura de Saturación más rápido pero esto no implica que tenga más Temperatura el Vapor. Si Solo hay Vapor, éste se puede aumentar por sobre la Temperatura de Saturación, esto es lo deseado ya que mientras más alta la Temperatura del Vapor más Trabajo este podrá desarrollar por lo tanto más eficiente es la Unidad de generación de Vapor, el Vapor que se calienta por sobre la temperatura de saturación se llama vapor sobrecalentado, y es el que la mayoría de las Calderas produce como es nuestro caso.

5.6.- Esquema General de los Equipos de la Caldera

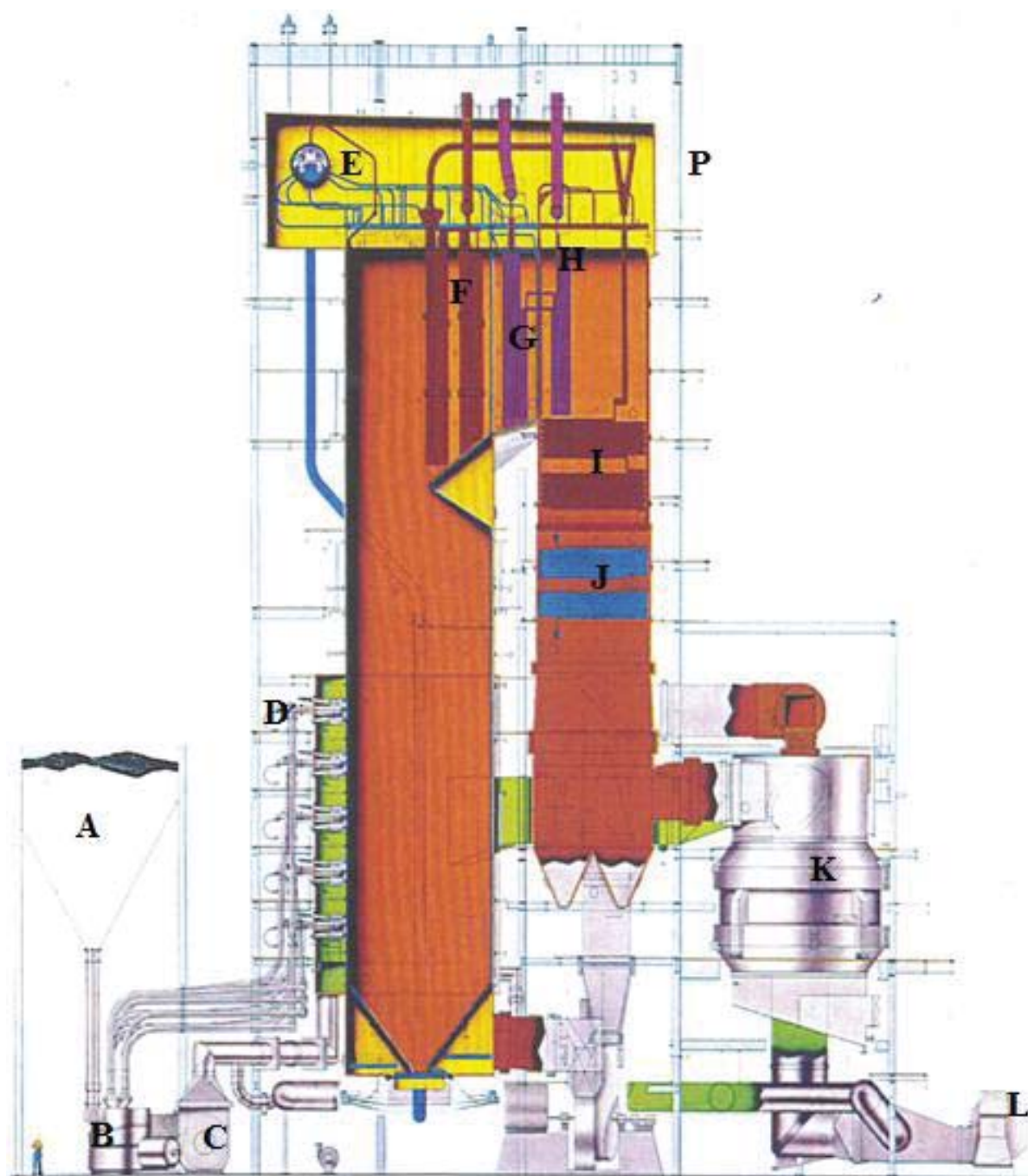


Fig. 14: Esquema de la Unidad II

Detalle de los equipos principales de la unidad II y elementos principales de la Caldera:

- Silo (A)
- Pulverizadores (B)
- Ventilador de Aire Primario (C)
- Quemadores (D)
- Domo (E)
- Sobrecalentador Secundario (F)
- Recalentador Secundario (G)
- Recalentador Primario (H)
- Sobrecalentador Primario (I)
- Economizador (J)
- Calentador de Aire (K)
- Ventilador de Tiro Forzado (L)
- Penthouse (P)

¿Cómo se produce el Vapor Sobrecalentado en la Caldera con Domo con Circulación Natural?

En el Domo el Vapor y el Agua se separan usando Separadores de Humedad y Secadores como se había mencionado anteriormente, el Vapor que sale del Domo es un Vapor Saturado y puede ser calentado a una temperatura mayor a la de saturación y esto se produce en una sección de la Caldera llamada Sobrecalentadores.

Los Sobrecalentadores están ubicados en el Hogar en la pasada de los gases calientes desde el Hogar hasta antes el Economizador, los Sobrecalentadores absorben calor que pasa por ellos por tanto de esta manera se aumenta la eficiencia de la Caldera.

Los Sobrecalentadores elevan el calor de Vapor en alrededor de 200°C más que la Temperatura de Saturación que sería alrededor de 350 °C que haya en el Domo con una presión de 150 aprox. De no ser así este calor sería perdido ya que saldría por la chimenea.

Los Sobrecalentadores se clasifican de dos formas y con diferentes nombres tales como:

- Sobrecalentadores por radiación o (Sobrecalentadores secundario)
- Sobrecalentadores por convección o (Sobrecalentadores Primario)

Los Sobrecalentadores secundarios, están en la línea directa a la vista de la llama en cambio los Sobrecalentadores Primarios no logran ver la llama y reciben el calor por convección esto quiere decir que reciben el calor de los gases calientes de la combustión en vez de ser calentados por Radiación del calor de la llama.

El vapor pasa primero por el Sobrecalentador Primario que posteriormente es pasado al Secundario. Entre los dos Sobrecalentadores existe un equipo llamado Atemporador, cuya función principal es evitar que la temperatura del vapor sobrecalentado sea muy alta. Si esto sucede el atemperador rocía Agua al Vapor en donde está Agua se transforma de manera inmediata a vapor debido a la temperatura de este, por tanto la temperatura del Vapor disminuye la temperatura del activación será cercana a la de operación mencionada anteriormente o a los datos entregados en los cálculos. (1) (10)

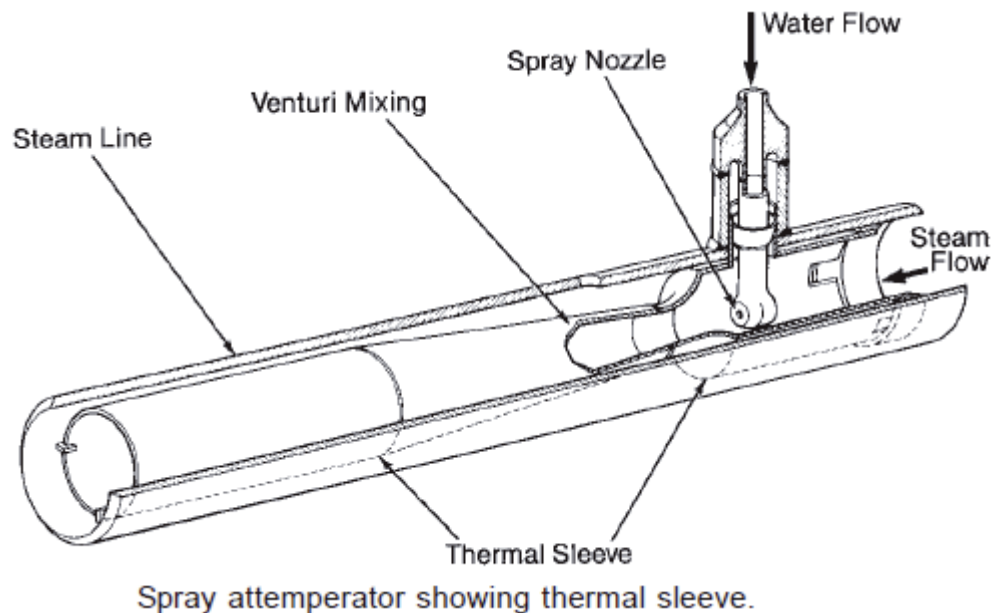


Fig. 15: Atemporador Spray en los Sobrecalentadores (9 pág. 435)

Una vez pasado el Vapor por los dos Sobrecalentadores esté pasa a la turbina de alta, donde entrega cierta cantidad de su energía, al hacer esto su temperatura baja por ende su presión también disminuye. Posteriormente el Vapor vuelve a los Recalentadores, en los cuales al vapor que ingresa se le agrega más energía aumentando su temperatura y presión. Los recalentadores trabajen de la misma forma que los Sobrecalentadores.

Los recalentadores se pueden clasificar en Primarios (por convección) y secundarios (por radiación). Estos también tienen atemperadores y la única diferencia en relación a los de los Sobrecalentadores es que la presión de entrada es cercana a los 38 Kgf/cm³ una vez que el vapor pasa por estos equipos es enviado a la Turbina de Media y Baja.

5.6.1.- Hechos que afectan la Presión de Vapor

La presión del vapor en una Caldera con Domo es principalmente dependiente de la cantidad de fuego o calor que se está generando y para mantener una presión constante el calor suministrado a la Caldera debe ser igual al calor tomado desde la Caldera.

Si la carga de la Turbina se mantiene constante la presión caerá, inversamente si se agrega más calor y la carga nuevamente se mantiene constante mayor vapor generara y la presión aumentara.

5.7.- Ciclo del Vapor

Hay tres componentes principales en el Ciclo del Vapor. La Caldera, La Turbina y El Condensador

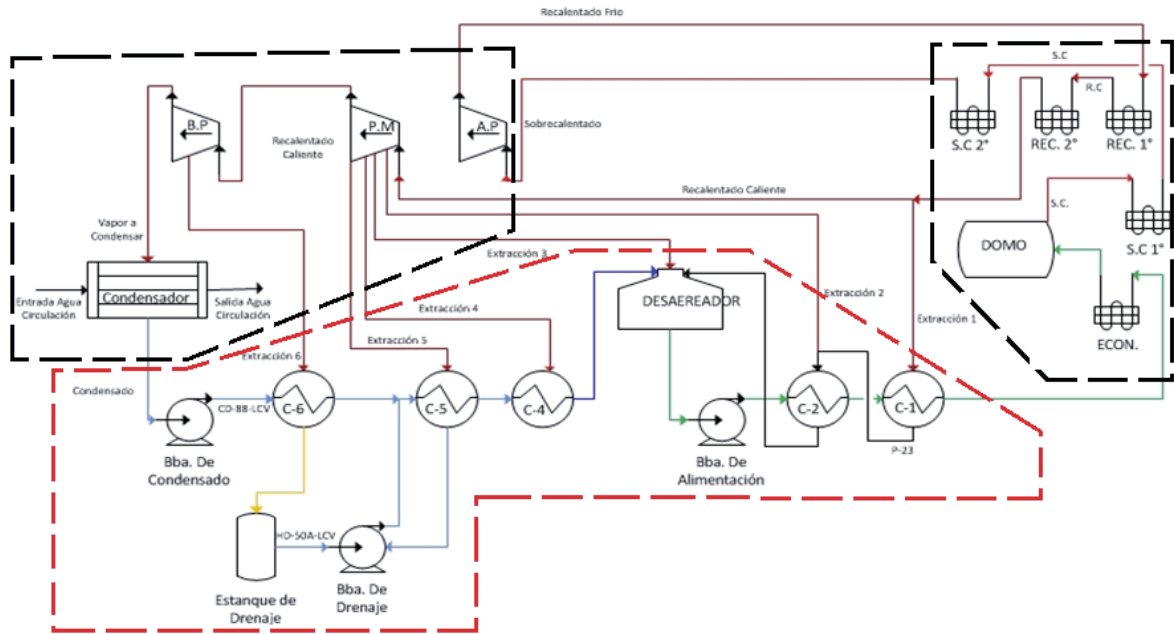


Fig. 16: Esquema del Ciclo de Vapor

5.7.1.- Flujo del ciclo de vapor

Este es un punto importante debido a que es aquí en donde monitorearemos las diferencias ocurridas mediante las Reparaciones Generales del 2010 de la Caldera solamente para tener una mejor eficiencia. Una de las preguntas claves es: ¿Cómo llega el Vapor a la Turbina y que produce el flujo?

El Vapor de la Caldera que se dirige a la turbina es impulsado por la diferencia de presión. Ya que el vapor como cualquier otro gas este se dirige de zonas de alta presión a zonas de baja presión y se puede distinguir en la siguiente Fig. 17.

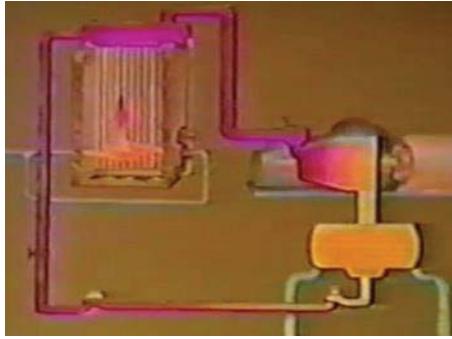


Fig. 17: Referencia de Presión y Temperaturas en el Ciclo de Vapor (10)

Como se demuestra en la Fig., el rojo representa una alta presión, el naranja una presión intermedia y el amarillo una presión baja. Por lo tanto el Vapor producido en la Caldera es de alta presión y empuja el vapor principal a la Turbina que esta posteriormente pasa el vapor al Condensador y a su vez va perdiendo presión drásticamente en el Condensador. Esto se debe a que cuando el vapor llega al Condensador el vapor necesita un gran volumen y tan pronto el Vapor se convierte en Agua el espacio necesitado se hace más pequeño, o sea que esto provoca un vacío, el vacío es una presión negativa por ende tiende a succionar Vapor de la Turbina el Condensador, esto aumenta enormemente la eficiencia del ciclo.

El Vapor condesado se almacena en el hotwell y debe ser llevado de una baja presión a una alta presión en la Caldera como se muestra en la fig. 17. Aquí aparece el sistema de bomba del sistema de alimentación del condensado, la primera bomba que participa se llama bomba de condensado o de hotwell y saca el agua de este. Posteriormente pasa a una bomba Booster de condensado. Luego esta agua pasa a una siguiente bomba llamada de agua de alimentación que la reintegra a la Caldera. Esto se debe a que cada bomba entrega presión al agua y hace posible que la presión del agua sea mayor al del vapor y esta pueda entrar al Domo.

Con todo esto mencionado se puede entender de como circula el Agua y Vapor del Ciclo del Vapor, pero hay que tener en cuenta cómo se controla esté.

5.7.2.- Posibles Problemas

Cuando el flujo de Vapor es mayor que el flujo de agua:

- En el caso que se llene el Condensador, este a su vez puede llenar la Turbina y como está girando una sola gota puede ser como una bala que puede dañar los alabes y otras piezas que están en movimiento.
- Otro problema es cuando no se bombea suficiente agua a la Caldera, cuando esto sucede el nivel del Domo baja y como se sabe los tubos de pared están expuestos a un calor intenso ya que la temperatura es tan alta que podría derretir o provocar una fuga importante en los tubos y la razón de que esto no suceda es que el Agua y el Vapor los mantienen frescos, entonces si el Agua del Domo baja de nivel, el flujo de agua por los tubos se reduce y los tubos no estarán lo suficientemente frescos.

Cuando el flujo de vapor es menor que el flujo de agua:

- En este caso el nivel del hotwell cae y la Caldera se llena de agua, pronto este exceso de agua llegara a la turbina y esta agua puede dañar a la turbina como se mencionó anteriormente para el otro caso.

Para evitar estos problemas de desigualdad de estos flujos de vapor y flujo de agua se deben controlar dos válvulas llamadas; Válvula de Control de Vapor de Turbina, esta regula el flujo de vapor que entra a la Turbina. A demás esta válvula se usa para regular el flujo del vapor y con esto si se necesita más potencia del generador la válvula se abre más o sea más energía mecánica recibe el generador y más energía eléctrica se genera.

En el caso que se cierre esta válvula, cuando se varía el Vapor, el flujo de agua de alimentación a la Caldera también se debe variar. Esto se ejecuta con la Válvula de Control de Agua de Alimentación a la Caldera, esta válvula se abre y se cierra para igualar el flujo de agua con el flujo de Vapor. Por ende hay que tener en cuenta que se debe tener un balance entre el flujo de Agua de alimentación y flujo de Vapor. Además se debe controlar el sistema de Combustible con el flujo de Vapor, ya que debe haber una correspondencia entre el flujo de Combustible y el flujo de Vapor.

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

**Capítulo 6 “Combustión en la Caldera y Equipos
Relacionados”**

6.1.- Introducción

En este capítulo se mencionaran las reacciones químicas relacionadas con la combustión producida en la caldera, como también los requisitos necesarios para que se produzca una combustión eficiente en la caldera gracias a los equipos relacionados mencionados a continuación además se mencionaran las temperaturas producidas mediante a la combustión y sus derivados tales como los gases de la combustión que entregaran calor en el trayecto de salida de los gases.

6.2.- Requisitos Para La Combustión

La combustión requiere de 4 elementos para que se produzca y estos son los siguientes: Oxígeno, combustible, calor y reacción química.

Cumpliendo con estos elementos debe cumplir además que deben existir en la proporción correcta para que se produzca la combustión. Si cualquiera de estos elementos desaparece la combustión se detendrá, además en una Caldera la combustión tiene que ser limpia y eficiente y para que esto se cumpla se necesitaran dos elementos adicionales y de esta forma los elementos necesarios para la combustión en la Caldera serán los siguientes:

- Oxígeno
- Combustible
- Calor
- Reacción química
- Turbulencia
- Tiempo

Para el caso del Oxígeno este es obtenido del Aire, el combustible a utilizar en estos casos y para este tipo de Caldera puede ser los siguientes hidrocarburos: Petróleo y Carbón. En el caso del petróleo este primero tiene que ser atomizado, es decir transformado a

pequeñas gotitas para que se pueda quemar en forma eficiente, además es más caro que el Carbón.

Debido a todo lo anterior y además que la Unidad II trabaja con Carbón en condiciones normales, éste debe ser molido a una fineza que se mencionó posteriormente y mezclado con Aire o sea una mezcla Carbón-Aire. Posteriormente se envía a los Quemadores esta mezcla de Carbón-Aire (combustible)

6.3.- Equipos Relacionados con la Combustión

Esta los 5 Pulverizador, 20 Quemadores y el hogar de la Caldera, 5 Ventiladores de Aire Primario (VAP) y 2 Ventiladores de Aire Secundario o (VTF), entra el Carbón al alimentador del pulverizador.

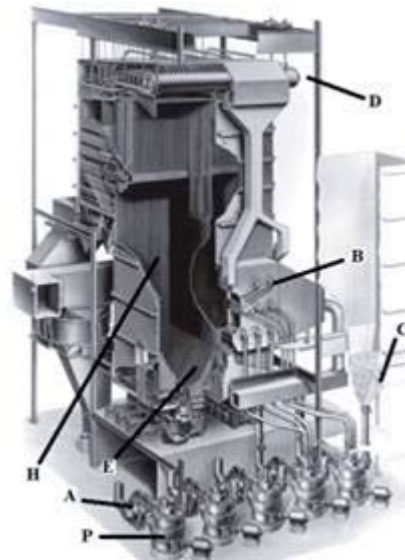


Fig. 18: Equipos Relacionados en la Combustión (9 pág. 341)

- Pulverizadores (P)
- Quemadores (B)
- Hogar de la Caldera (H)
- Ventiladores Aire Primario (VAP) (A)
- Ventiladores Aire Secundario (VTF)

6.3.1. Pulverizadores

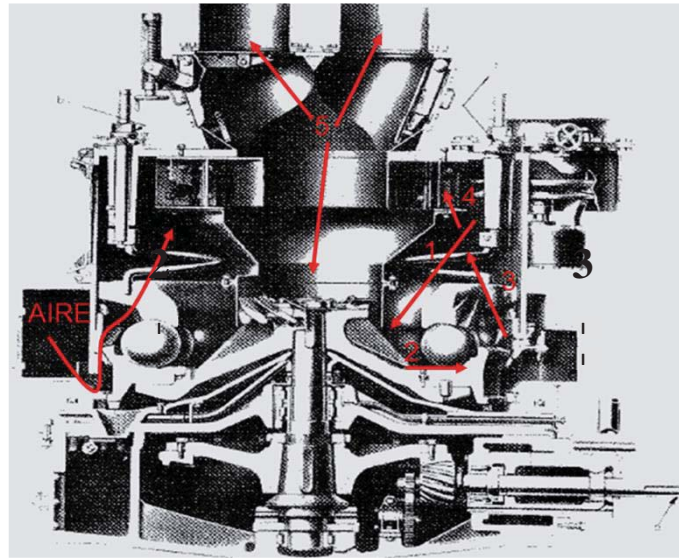


Fig. 19: Esquema del Flujo del Combustible en el Pulverizador (7)

Como se muestra en la Fig. 19 se puede distinguir el Aire Primario provenientes de los Ventiladores de Aire Primario (VAP). Como se observa el pulverizador muele el Carbón que está ingresando por el alimentador (1) en (2) se produce la molienda, (3) el Carbón molido es pasado por el clasificador 4 y posteriormente ser mezclado en (5) con el Aire Primario para así ser transportado a los Quemadores mediante el Aire Primario esta mezcla por lo general llega más mena a los Quemadores a 70°C.

6.3.2.- Quemadores Y Aire Primario y Secundario

El Aire Secundario es ingresado por el Windbox, este Aire Secundario suministra el oxígeno para la combustión y es dirigido a la combustión alrededor de cada Quemador por medio de un juego de reguladores de Aire.

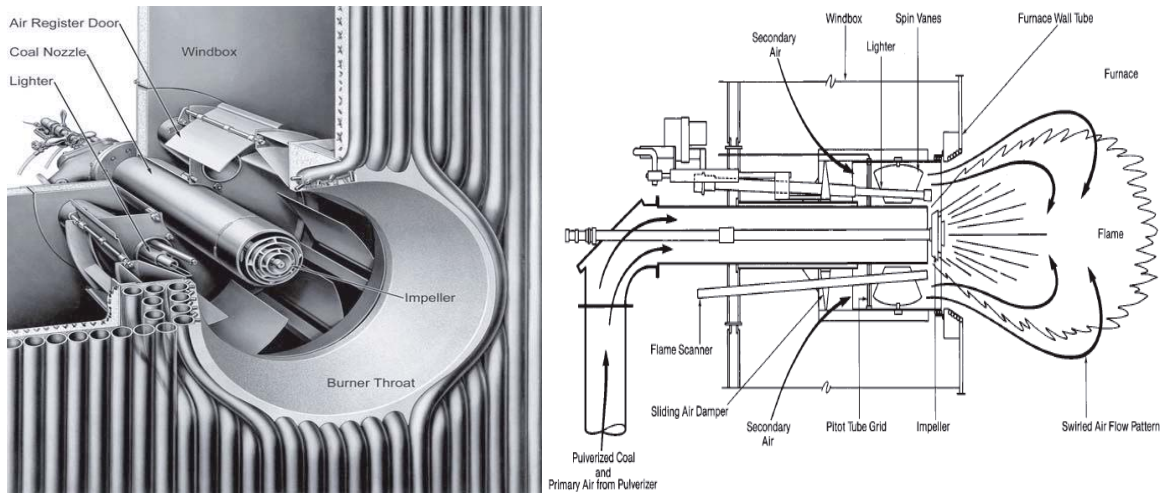


Fig. 20: Entrada del Flujo Aire Secundario al Hogar (9 págs. 345, 349)

Como se puede apreciar en la Fig. 20 están los Registradores que su función principal es producir turbulencia necesaria para una combustión eficiente.

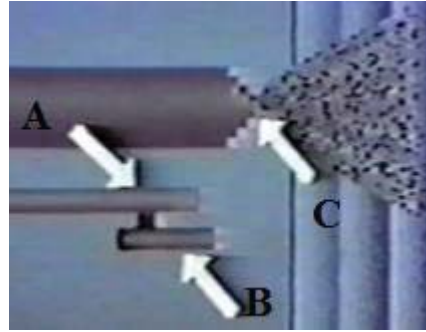


Fig. 21: Elementos que Participan en La Puesta en Marcha de la Combustión (10)

Como se aprecia en el Fig. 21, el Ignitor (A) más utilizado en la Caldera de Carbón usa Petróleo como combustible como ya se había mencionado anteriormente el petróleo tiene que ser atomizado para poder encenderlo, y un dispositivo como una bujía o chispero (B) para encenderlo, está ubicado cerca de la punta del Quemador, durante el encendido la bujía o chispero genera una chispa eléctrica que enciende el petróleo, el petróleo inflamado quema el Carbón comenzando así la Reacción Química entre el Oxígeno y el Combustible (C)



Fig. 22: Secuencia de Encendido de la Caldera (10)

En la Fig. 22 Se presenta la secuencia del encendido de la Caldera como se puede apreciar en (1) en donde se enciende una chispa partiendo quemándose el petróleo (2) y posteriormente con la quema del Carbón pulverizado (3) una vez que esto suceda se detendrá la quema de petróleo para solo quedar quemando Carbón.

El Tiempo es una variable importante ya que el flujo de material combustible a través de la Caldera puede ser lo suficientemente lento para una combustión completa y el combustible se acumularía en el hogar de la Caldera y podría provocar una explosión, esto se evita con un diseño apropiado del hogar, el hogar debe ser de un tamaño adecuado.

6.4.- Relación Aire – Combustible

Esto se refiere a las cantidades relativas de Aire y combustible en el hogar de la Caldera. En los Quemadores de Carbón el flujo de Carbón es regulado por el alimentador de Carbón como se ve en la figura.



Fig. 23: Alimentador de Carbón

El flujo de Aire en todo tipo de Quemadores es regulado por lampos en los Ventiladores de Tiro Forzado



Fig. 24: Lampos de Control

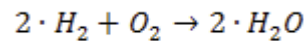
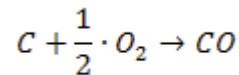
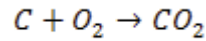
Cambiando el flujo de combustible o flujo de Aire cambia también la relación Aire/combustible. ¿Cómo se sabe que esta relación esta correcta?

Se chequea el Oxígeno a la salida de la chimenea, si el combustible y el Aire se pudieran mezclar correctamente la relación Aire combustible seria exacta, pero esto es imposible de realizar ya que en la práctica a fin de asegurarse que todo el combustible sea quemado siempre se suministrara más Aire que el que se necesita para la combustión. Esto reduce el riesgo de explosión por los materiales no quemados que se podrían acumularse en el hogar de la Caldera.

Puesto que se suministra más Aire que combustible a los Quemadores siempre habrá un exceso de oxigeno saliendo por la chimenea que no se usa en la combustión este exceso estará en un rango especificado más adelante

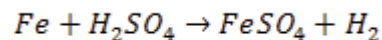
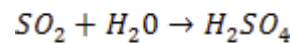
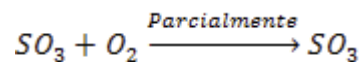
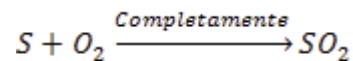
También a que tener cuidado en dos términos que se ocuparan más adelante que sería el exceso de oxigeno el cual es medido en la chimenea y el exceso de Aire el cual es medido en los Windbox

6.5.-Proceso de Combustión (Reacciones Químicas)



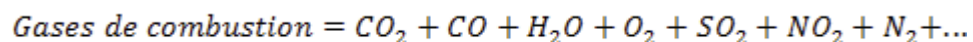
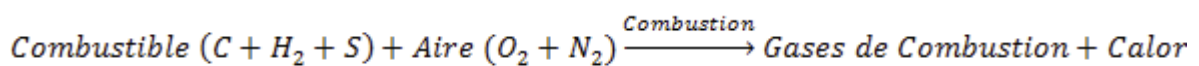
Formación de Ácido Sulfúrico H_2SO_4

Azufre S contenido en el combustible que se convierte en ácido sulfúrico de acuerdo al siguiente proceso:



Tasa de conversión de SO_2 a SO_3 es afectada por el contenido de azufre en el combustible, la proporción de exceso de Aire y condiciones de quemado. Además se puede observar la formación de SO_3 (anhídrido sulfúrico) para finalmente formar el ácido sulfúrico H_2SO_4 , el agua que reacciona con el SO_3 es el agua de los gases de combustión. El Fe más el ácido sulfúrico forman sulfato ferroso (corrosión).

En pocas palabras se podría dejar expresado de la siguiente forma:



6.6.- Trayectoria del Flujo de Aire y Gas en la Caldera

Recordando lo anterior la gran transferencia de calor en una Caldera se lleva a cabo en el Hogar donde el combustible se quema a unos 1300°C aproximadamente a pesar que debería ser menos ya que tiene Quemadores de bajo NO_x y su temperatura debería bordear los 1000°C . Pero la transferencia de calor continua con la producción de gases calientes que están a unos 1000°C En este segmento se verá el camino que siguen los gases calientes de la Caldera. También se verá cuáles son las temperaturas en los diferentes etapas y como usando la energía calórica de los gases se mejora la eficiencia total de la Caldera. Finalmente se verá algunos controles de polución en el circuito de los gases

El Aire y combustible entran al hogar y se encienden a medida que el Combustible se quema se producen gases calientes, algo del calor de los gases calientes se entrega al Vapor en los Sobrecalentadores y Recalentadores pero a pesar de todo todavía queda mucha energía calórica en los gases y por ende se utiliza ante que se pierda ya que con esto se aumenta la eficiencia al transferir esta energía a dos elemento no mencionados anteriormente tales como los Economizadores y los Calentadores de Aire

Los economizadores transfieren calor desde los gases hacia el agua de alimentación que está entrando y las temperaturas están mencionadas en la hoja de cálculo.

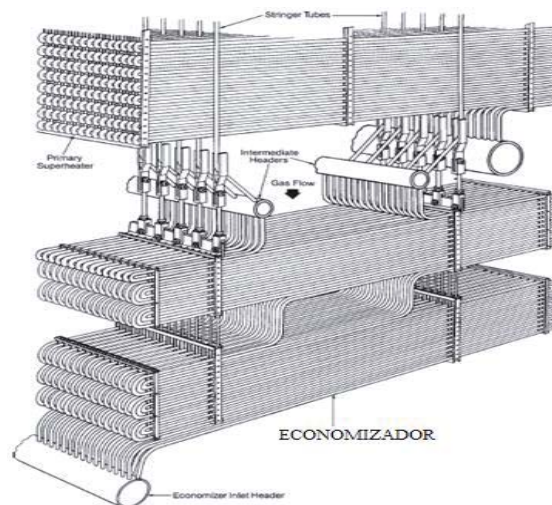


Fig. 25: Economizador de la Caldera (9 pág. 461)

Los Calentadores de Aire transfieren calor desde los gases al Aire de combustión que está entrando por los Ventiladores de Tiro Forzado como se muestra en la Fig. 27

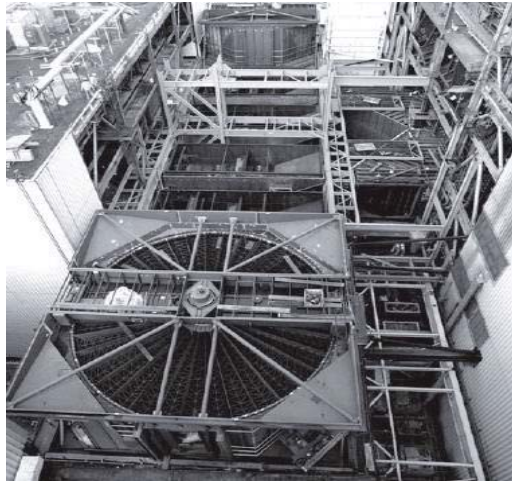


Fig. 26: Calentadores de Aire (9 pág. 453)

Estos Calentadores de Aire son unos Rothemule y son del tipo regenerativos, o sea la transferencia de calor ocurre mediante un tambor rotatorio metálico. El tambor consiste de muchos y pequeños intercambiadores de calor. Cada uno formado por una serie de placas metálicas. El tambor está dividido en la mitad por una placa sello que esta fija como se mostrara en la siguiente Fig. 28

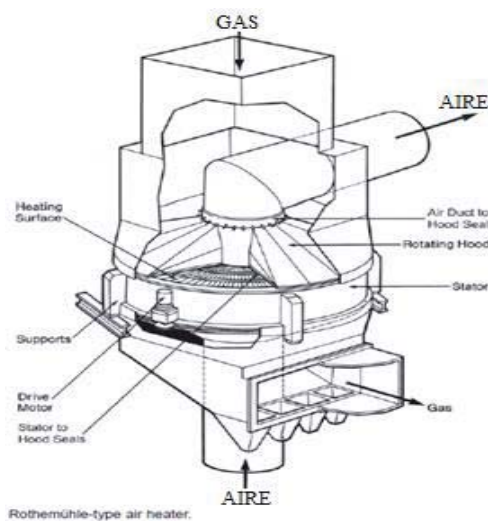


Fig. 27: Esquema Referencial del Calentador de Aire (9 pág. 454)

Cada mitad está conectada a un ducto el Aire de combustión pasa por un lado y los gases calientes pasan por el otro lado. El sello en el medio mantiene el Aire y los gases separados. El gas caliente, calienta la placa metálica, el tambor enseguida gira haciendo que el calor sea transportado a la corriente de Aire de combustión como se mostrara en la Fig. 29

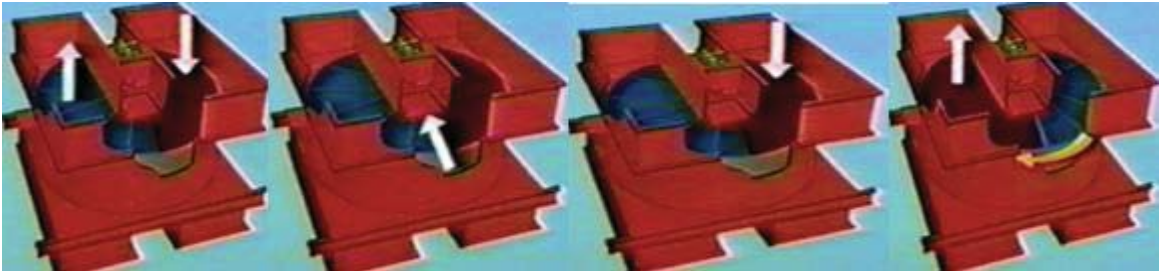


Fig. 28: Secuencia de Trabajo de los Calentadores de Aire (10)

Los economizadores trabajan de una forma muy parecida a los Sobrecalentadores, estos transfieren calor al agua de alimentación que está entrando. Después de entregar calor a los Economizadores y Calentadores de Aire los gases son enviados a la chimenea.

6.7.- Calderas de hogar presurizado

En la Caldera de hogar presurizado la presión del Aire proveniente de los ventiladores de tiro forzado (VTF) es suficiente para expulsar los gases fuera del hogar, pero en otras Calderas para ayudar la descarga de los gases se usan ventiladores adicionales llamados ventiladores de tiro inducido. Las Calderas con ambos tipos de ventiladores se llaman Calderas de tiro balanceado.

Los gases caliente en ambos tipo de Caldera contienen subproductos peligrosos tales como vapores de Azufre, que estos pueden ser muy corrosivos. Si la temperatura de los gases son muy bajas estos vapores comienzan a condensarse y pueden dañar partes importantes y considerables de la Caldera, para evitar esto la temperatura se mantiene por sobre la temperatura del punto de rocío de estos gases que en la cual los vapores sulfurosos condensan de esta manera los riesgos de corrosión se reducen.

Los gases calientes no solo pueden dañar la Caldera si no también el medio ambiente, las partículas y vapores que están contenidos en los gases calientes como subproducto de la combustión son fuentes potenciales de contaminación aérea y por ende estas partículas deben ser eliminadas o reducidas en su concentración. Dos equipos ayudan para esta tarea tales como los Precipitadores electrostático y los Scrubbers.

Los Precipitadores principalmente sacan las partículas de los gases calientes tales como la ceniza. Y los Scrubbers sacan ambos.

6.8.- Temperatura del Aire y gases

La temperatura de Aire comienza en los Ventiladores de Tiro Forzado a 90°F (32°C) esta temperatura se aumenta a 500°F (260°C) cuando pasa por los Precalentadores de Aire, el Aire entonces entra a los Quemadores donde se mezcla con el combustible “(Carbón pulverizado – Aire Primario) el combustible sale de los pulverizadores a unos 70°C a 80°C” la mezcla Aire combustible se quema a unos 2800°F (1538°C) más o menos (ver con los Quemadores nuevos). Los gases calientes están alrededor de los 2000°F (1093°C) y son un subproducto del proceso de combustión estos gases se mueven por la Caldera hasta la zona de los Sobrecalentadores a 1800°F (982°C), salen de los Sobrecalentadores a unos 1200°F (649°C) y luego entran a la zona de los recalentadores, los gases salen de estos a 800°F (427°C), hacia los economizadores para salir de aquí a unos 650°F (343°C), los gases pierden alrededor de 350°F (177°C), en los Precalentadores de Aire saliendo a 300°F (149°C). Por lo tanto en la Caldera se transfiere energía calórica al agua, vapor y Aire.

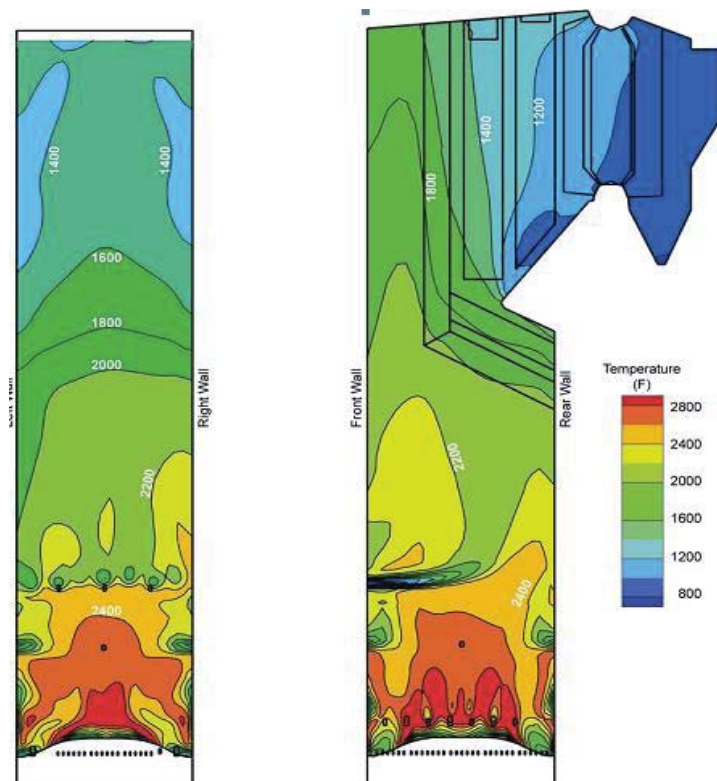


Fig. 29: Tendencia de Temperatura de Gases de Combustión (9 pág. 178)

6.9.- Elementos y Equipos Necesario en la Puesta en Marcha

Como se mencionara a continuación estos elementos son de suma importancia para la puesta en marcha de la Caldera cuando comienza la Combustión y que son los Venteos, Drenajes, Purgas y Sopladores.

6.9.1.- Venteos

Los Venteos como en el Domo están en la parte alta del componente, esté se habré normalmente solo durante las partidas cuando tal vez haya mucho Aire en el sistema y deben cerrarse tan pronto salga Vapor.

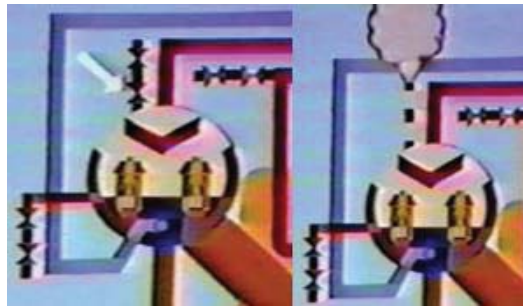


Fig. 30: Venteo en el Domo (10)

6.9.2.- Drenajes

Los Drenajes como se muestra acá en los tubos de pared se encuentran en la parte baja de los componentes, se habré solo cuando el componente se detiene, de otra manera el flujo de circulación natural se puede alterar provocando un recalentamiento de los tubos.

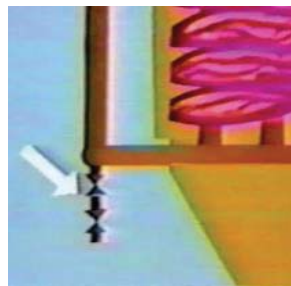


Fig. 31: Drenaje (10)

Sin embargo algunos Drenajes como en los Sobrecalentadores deben ser abierto a la partida de la Caldera, ya que el flujo de Vapor en los Sobrecalentadores es pequeño y generalmente no es suficiente para mantener tibios los tubos del Sobrecalentador, este problema se soluciona abriendo los drenajes de los Sobrecalentadores, esto aumenta el flujo evitando que los Sobrecalentadores se recalienten y se consigue sacar el agua condensada que se haya acumulado en ellos.



Fig. 32: Drenaje en los Sobrecalentadores (10)

Además de los Drenajes y Venteos existen las Purgas, estos son un tipo de Drenaje que se abre durante la operación de la Caldera. Una Purga muy común en la Caldera es la Purga de superficie, esta está ubicada muy cerca del nivel normal de agua del Domo de la Caldera, se abre periódicamente para sacar contaminación que se acumula en el Domo.



Fig. 33: Purga del Domo (10)

6.9.3.- Sopladores

El origen de los Quemadores se debe a que el combustible que principalmente se utiliza es el Carbón, debido a esto se produce Ceniza, la cual es una parte componente del Carbón y que hoy en día bordea ente los 7% a 9%. A causa de este porcentaje, esta Ceniza se va acumulando en la pared de los tubos y tuberías. Y producto de esta acumulación se ve afectado en su rendimiento debido a que afecta la trasferencia de calor y provocando la erosión de los tubos.

Esta acumulación es removida mediante un sistema de sopladores de hollín de Caldera. Si no se soplaran los Calentadores de Aire se obstruirían, trayendo consigo una disminución de la cantidad de Aire por la Caldera y la limitación en la producción de Vapor.

Los sopladores típicos se componen de una especie de lanza con tobera (1), un tubo de alimentación(2) y una válvula (3), el elemento limpiador es vapor el cual se envía a través del tubo de alimentación descargándolo por la tobera de la lanza. (1)

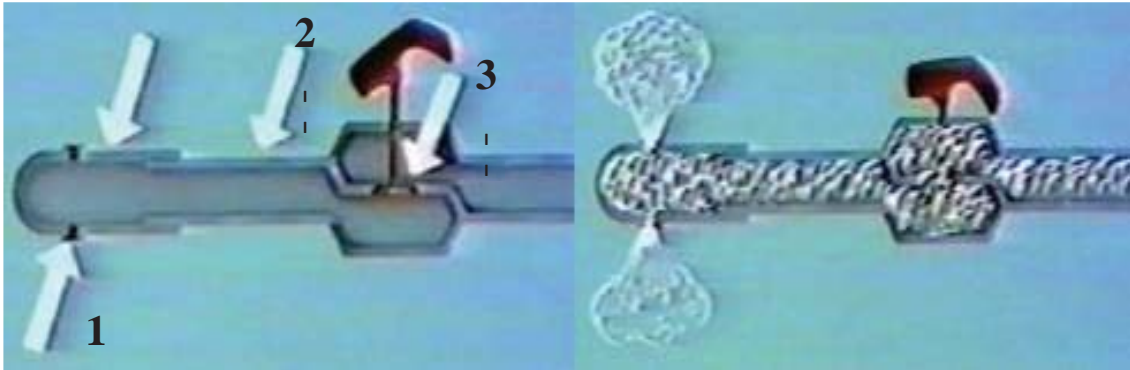


Fig. 34: Sopladores (10)

Los sopladores en general son de dos tipos retractiles y fijos. Los sopladores retractiles (IK's) permiten que la lanza se inserte en el hogar por medio de un motor cuando se está soplando y se retraiga con fin de protegerlo del calor extremo en la Caldera. Son 23

sopladores de Sobrecalentador Primario y secundario (IK's), ubicados a lo largo de toda la Caldera, cuando este llega al final de su trayecto este inyecta vapor con una presión aproximada de 500 psi para remover la Ceniza de las paredes de la Caldera



Fig. 35: Sopladores IK (10)

Los sopladores fijos (IR's) están montados en la Caldera con la lanza proyectada permanentemente hacia el hogar y están siempre expuestas al calor. Son 36 sopladores de este tipo, este inyecta vapor con una presión aproximada de 500 psi para remover la Ceniza de las paredes de la Caldera



Fig. 36: Sopladores IR (10)

En total existen 59 sopladores distribuidos de la siguiente forma:

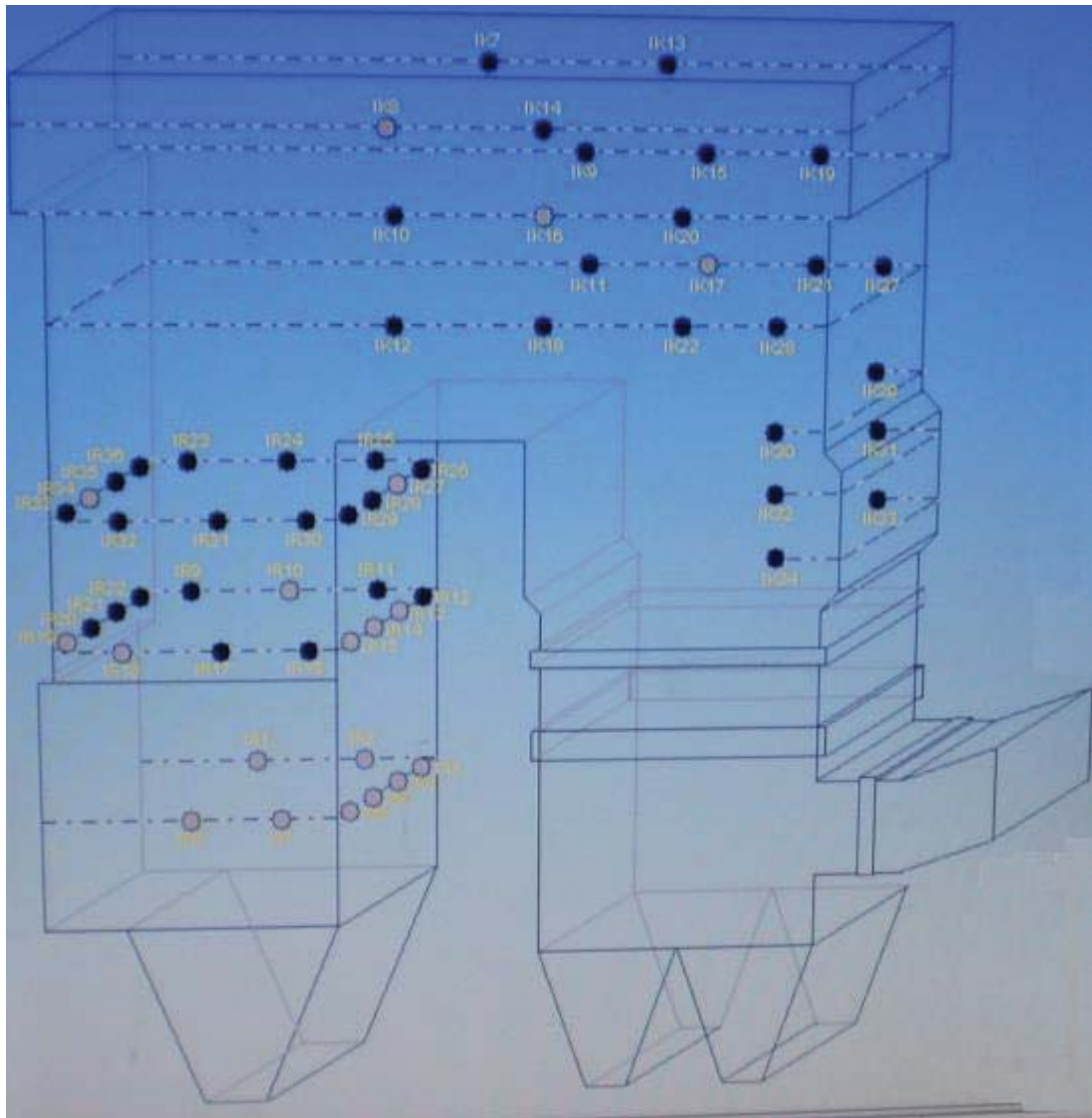


Fig. 37: Distribución de los Sopladores de la Caldera de la Unidad II

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

**Capítulo 7 “Diagnostico Antes de Mantención de la
Unidad II”**

7.1.- Introducción

En este capítulo se especificara antecedentes generales de las fallas y posibles soluciones que se harán en las reparaciones y mantención de la Unidad II en el mes de Enero a Marzo del 2011 en la Central Termoeléctrica Ventanas. Para esto se entregaran índices, fallas relevantes hasta el 2010, acciones preventivas antes de mantenimiento

7.2.- Antecedentes Generales e Índices EFOR/EAF

La Unidad II cuenta antes de la mantención y reparación con 188.400 horas de operación, con su última mantención en enero-febrero del 2010 con una duración de aproximadamente 60 días.

7.2.1.- índices EFOR (taza de salidas forzadas)/EAF (disponibilidad)

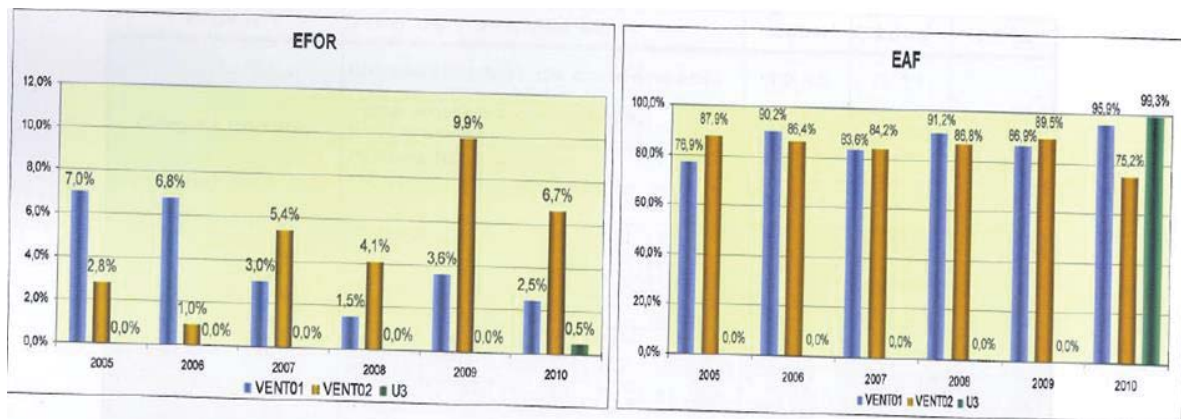


Fig. 38: Índices EFOR/EAF de Complejo Costa

7.3.- Fallas relevantes

Las fallas se concentran principalmente en filtración de agua de mar en el condensador (alto nivel de Cloruros) y rotura de tubos de la Caldera, las cuales han afectado significativamente la disponibilidad de la Unidad

| Unidad II | Tipo de Falla (Hs Eq) | 2008 | 2009 | 2010 (Jun) |
|----------------|--|--------|------|------------|
| Carga Limitada | Alto nivel de Cloruro | 51 | 141 | 0 |
| Trip Unidad | Rotura tubos Caldera, Recalentadores, economizador | 204,98 | 441 | 440,99 |
| | Precipitadores | 0 | 0 | 10 |
| | Bba. Condensado (filtro sucio) | | | 4 |
| | Alta vibración Turbina | | | 3 |
| | Nivel Domo | 9 | 2 | |
| | Vacío Condensador | 11 | 2 | 0 |
| | Estanque Escoria | | 36 | |
| | Eléctrico | | 11 | |

Tabla 5: Fallas Relevantes de la Unidad II

7.3.1- Condensador

Debido a los episodios ocurridos y registrados en el periodo 2008 y 2009 de filtración de agua de mar en los condensadores y desgaste de los tubos, en febrero de 2010 se reemplazaron todos los tubos del condensador. No obstante lo registrado en mayo, se han registrado nuevos ingresos de agua de mar (filtraciones) lo que ha generado limitaciones de carga en la Unidad II, para evitar el arrastre de cloruros hacia la Caldera y turbina.

También en julio se aplicó un sello temporal que es necesario cambiar, tarea planificada para el 2010 mediante la aplicación de un producto epóxico en la zona de espejo del condensador para reducir el riesgo de filtración.

7.3.2.- Rotura de Tubos En La Caldera

Se han registrado fallas en la Caldera por rotura de tubos que han ido en aumento en los últimos años. Estas fallas han generado horas significativas de indisponibilidad de la Unidad, el valor acumulado de horas el año 2010 a la fecha ya superan el valor acumulado el 2009

Zonas afectadas y acciones consideradas

- Zona rejilla trasera Caldera. Por fallas consecutivas a inicios del año 2009 (sobrecarga por tensión) se determinó cambiar en dos etapas la totalidad de la zona de rejilla trasera de la Caldera. El año 2011 se ha considerado completar el reemplazo de 47% restante.
- Zona economizador. Se presenta un excesivo desgaste debido a la erosión por ceniza, existe secciones fuera de servicio lo cual afecta la eficiencia de la Caldera. Se ha considerado el reemplazo parcial y progresivo de tubos del economizador.
- Hogar de la Caldera. Los Tubos se encuentran con alto deposito internos de (Cu/Fe), el año 2008 y 2009 eventos de ingreso de cloruro, debido a los altos depósitos y altas temperaturas, generaron ataque por hidrogeno bajo el depósito de los tubos. El hidrogeno sometido a altas temperaturas, incrementando por la pérdida de

transferencia de calor bajo depósitos, genera un fenómeno que se traduce en una explosión interna que es la causa principal de fallas por roturas el 2010.

Por esto se ha programado un lavado químico que permitirá eliminar los depósitos, y mejorar el nivel de transferencia de calor. Como dato el último lavado químico fue el 2001.

También para evaluar los daños por efecto de hidrogeno y definir acciones se ha considerado una evaluación (FST-Gage) con especialistas de B&W, para observar el nivel de erosión y efecto del ataque por hidrogeno en los tubos del hogar.

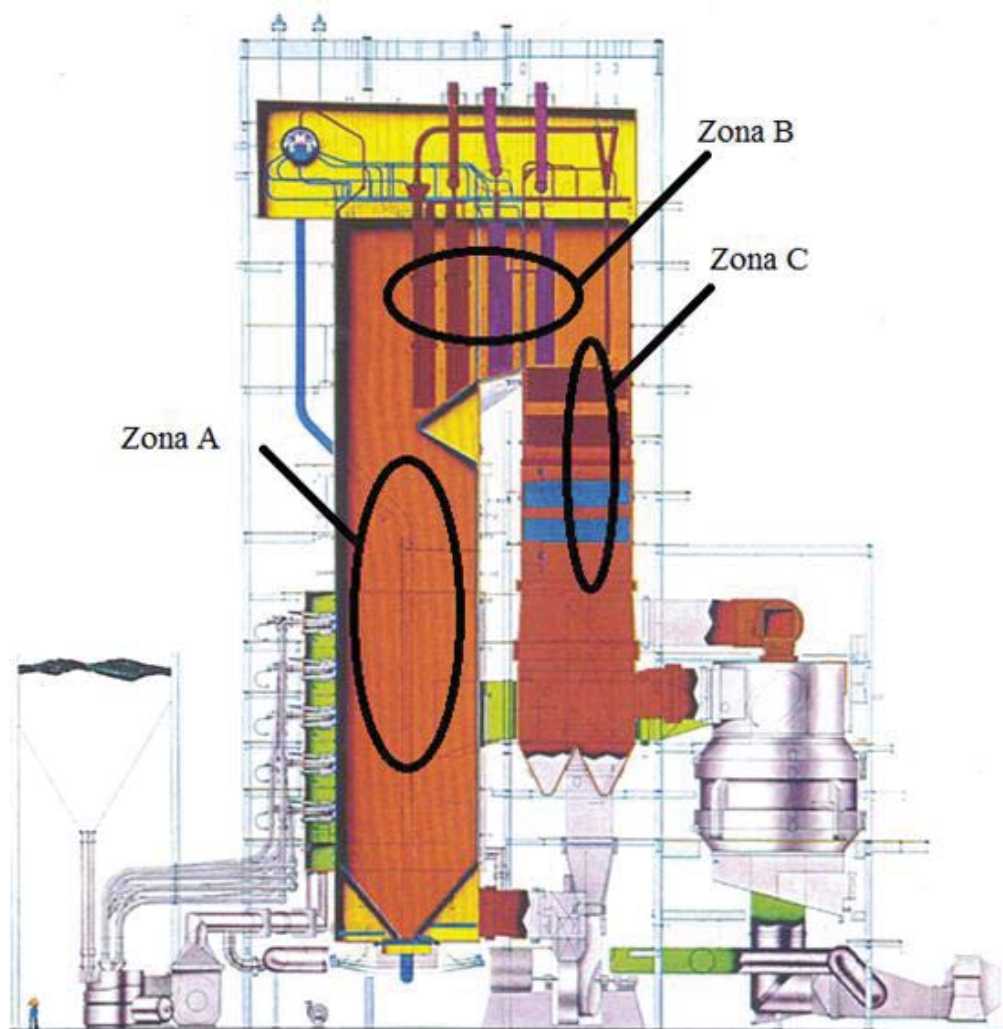


Fig. 39: Identificación de Zonas de Rotura de Tubos

| | | | | Horas equivalentes forzadas | | |
|------|---------------------------------|---|---|-----------------------------|--------|--------|
| Zona | Ubicación | Estrategia | Diagnóstico | 2008 | 2009 | 2010 |
| A | Hogar Caldera | Se están comprando X% paneles de tubos para realizar el cambio de X% del total del hogar. Se realizará un FST gage para determinar que paneles se deben cambiar | Hidrogeno 2010 | 0 | 0 | 422,73 |
| B | Sobrecalentadores secundarios | Consta de 2 bancos, entrada y salida. Se intervino zona de curvas de banco de salida producto de la falta. Se deberán hacer inspecciones para determinar el estado del resto del banco. | No se registran fallas históricas. Falla sobrecalentamiento en 2010 | 0 | 0 | 76,74 |
| | Rejilla trasera | Consta de un panel. En RREGG 2010 se cambiaron 53 tubos de 86. Se instaló una barra anti vibratoria en rejilla según fabricante | Sobreesfuerzo 2009 | 0 | 441,32 | 0 |
| | Recalentado | Consta de 2 bancos, entrada y salida. Se hicieron inspecciones de espesores y se midieron curvas aledañas del banco de salida sin registros de bajos espesores (+/-<80%) | Falla por erosión por cenizas 2010 | 0 | 0 | 253,55 |
| | Paso convección | Se realiza reparación de falla por desgaste de tubos | Erosión por cenizas 2008 | 167,05 | 0 | 0 |
| C | Sobrecalentador Primario | Consta de tres bancos, entrada intermedio y salida. Se dejaron fuera de servicio 3 secciones (11 de 126 App) de un banco, debido al plazo de reparación que hubo disponible. No hay plan de reemplazo. | Erosión por cenizas 2008 | 86,96 | 0 | 0 |
| | Economizador | Consta de 2 bancos, entrada y salida. La falla se presentó en 2 secciones (2008 y 2010) de un banco. Una fue reparada y la otra se dejó fuera de servicio. Se está comprando un banco para ser cambiado en RREGG 2011 (50%) | Erosión por soplado 2008-2010 | 37,93 | 0 | 50,62 |

Tabla 6: Rotura de Tubos por Zona

7.3.3.- Overhaul Turbina

Por recomendación del fabricante General Electric se requiere desarrollar un Overhaul periódicamente para evitar riesgos potenciales de fallas debido al desgaste de los componentes internos. En Ventanas se planifica cada 45.000 horas app. El último Overhaul fue realizado en noviembre del 2001.

Durante el periodo de Enero-Febrero del 2010 se realizó un pre-Overhaul (desarme parcial) para evaluar la condición de la turbina con apoyo de especialistas Steam Pass Solution. Conforme a esta inspección se ha planificado un desarme total de la turbina, que entre otros puntos a considerar:

- Reparación y remetalado de descanso N°4 y N°5
- Reparación de Ti Wires Turbina de Baja Presión
- Reparación de la rueda L-0 de Baja Presión por desgaste por erosión
- Recuperación de diafragmas y sellos laberintos
- Arenado y ensayos no destructivos y diagramas de la turbina HP/IP/LP

Estos trabajos permiten recuperar el nivel de eficiencia de la turbina. Estos trabajos más el lavado químico marca la ruta crítica del mantenimiento. No hacer estos trabajos representa un potencial HILP.

7.3.4.- Mantenimiento Generales

Ventilador de Aire Primario (VAP): En estos equipos principalmente se harán limpieza, revisión y calibración de controles. También mantenimiento y calibración de actuadores de lampos en los (VAP), además revisión con una toma de muestra de presión en los ductos de descargas (pitot), reparación si es necesario de alabes y reposición de aislación como parches en ductos de succión como descarga si es necesario. Cabe destacar que se estarán haciendo pruebas de Aire Sucio para encontrar una constante que calibre los datos que recibe la sala de control.

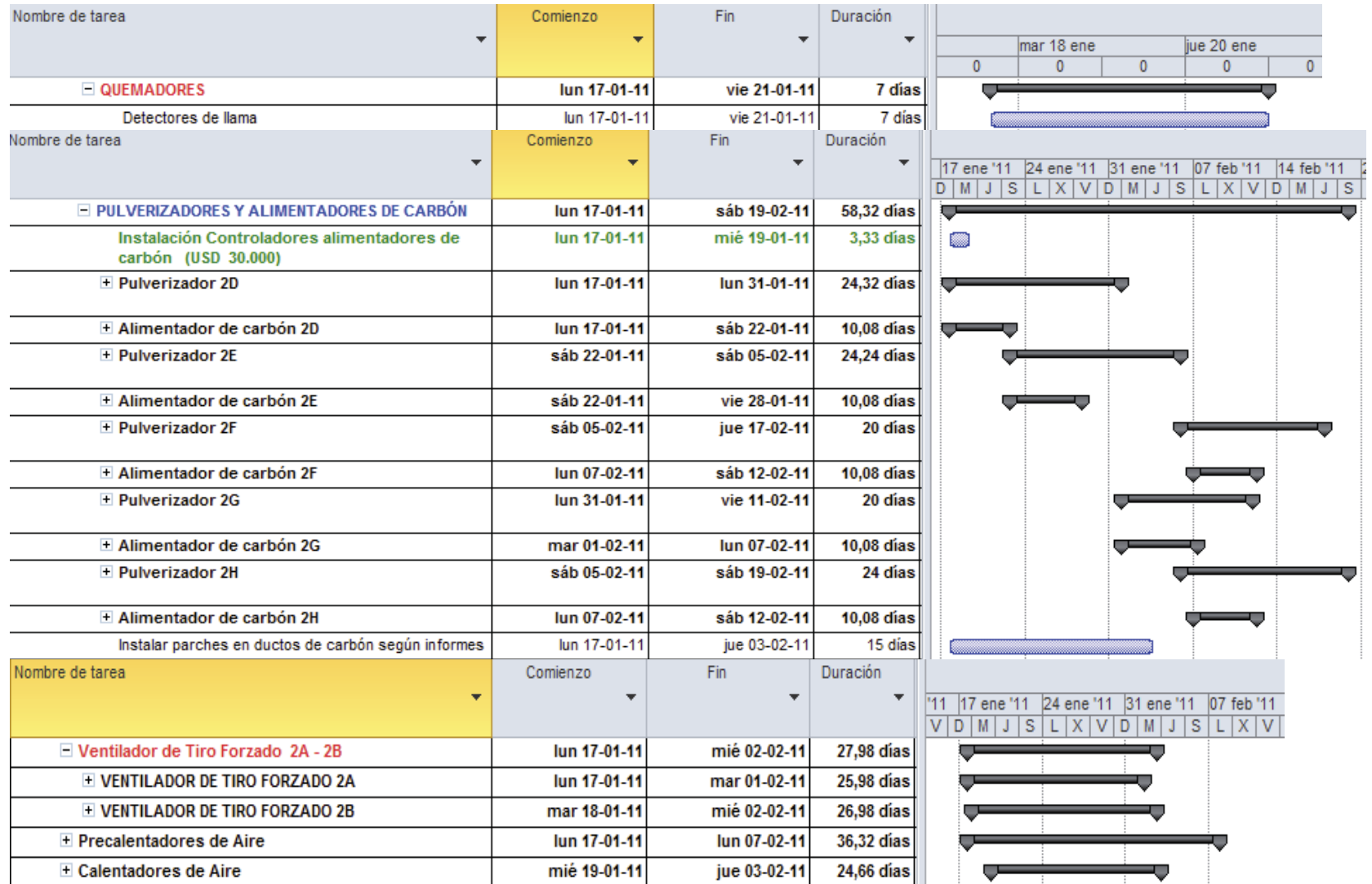
Ventilador de Tiro Forzado (VTF): En este equipo se hará una mantención general y calibración de actuadores de lampos de descarga y succión, es principalmente el Aire Secundario de combustión que se está calibrando con pruebas en los Quemadores

Pulverizadores: En estos equipos se incorporará controladores en los alimentadores de cada uno de los pulverizadores, después de su desarme habrá una revisión y calibración de elementos de molienda, etc. Una vez armado los equipos se regulara la tensión de los resortes entre las cubetas y mantención y calibración de los actuadores de Lampos Calaire tanto frio como caliente. También sellos en los tubos de los ductos de Carbón pulverizado. Posteriormente de su mantención y reparación se implantara un Retensado en servicio para obtener una mejor fineza en la molienda del Carbón y con esto obtener una mejor eficiencia ya que bajarían los no quemados.

Quemadores: En este equipo tan solo se verá los detectores de llama ya que estos Quemadores son nuevos.

Lavado Químico: Este trabajo hecho a los tubos no se realizaba en 10 años por lo cual había una pérdida de calor considerable. Comenzará la limpieza química con una etapa de calentamiento y posteriormente etapas de remoción de cobre como etapa acida con sus respectivos enjuagues. Una vez terminado esto comenzara una etapa neutralizante y Pasivante para posteriormente una prueba hidrostática de la Caldera. (1) (2)

7.4.- Carta Gantt de Mantenimiento y Reparaciones



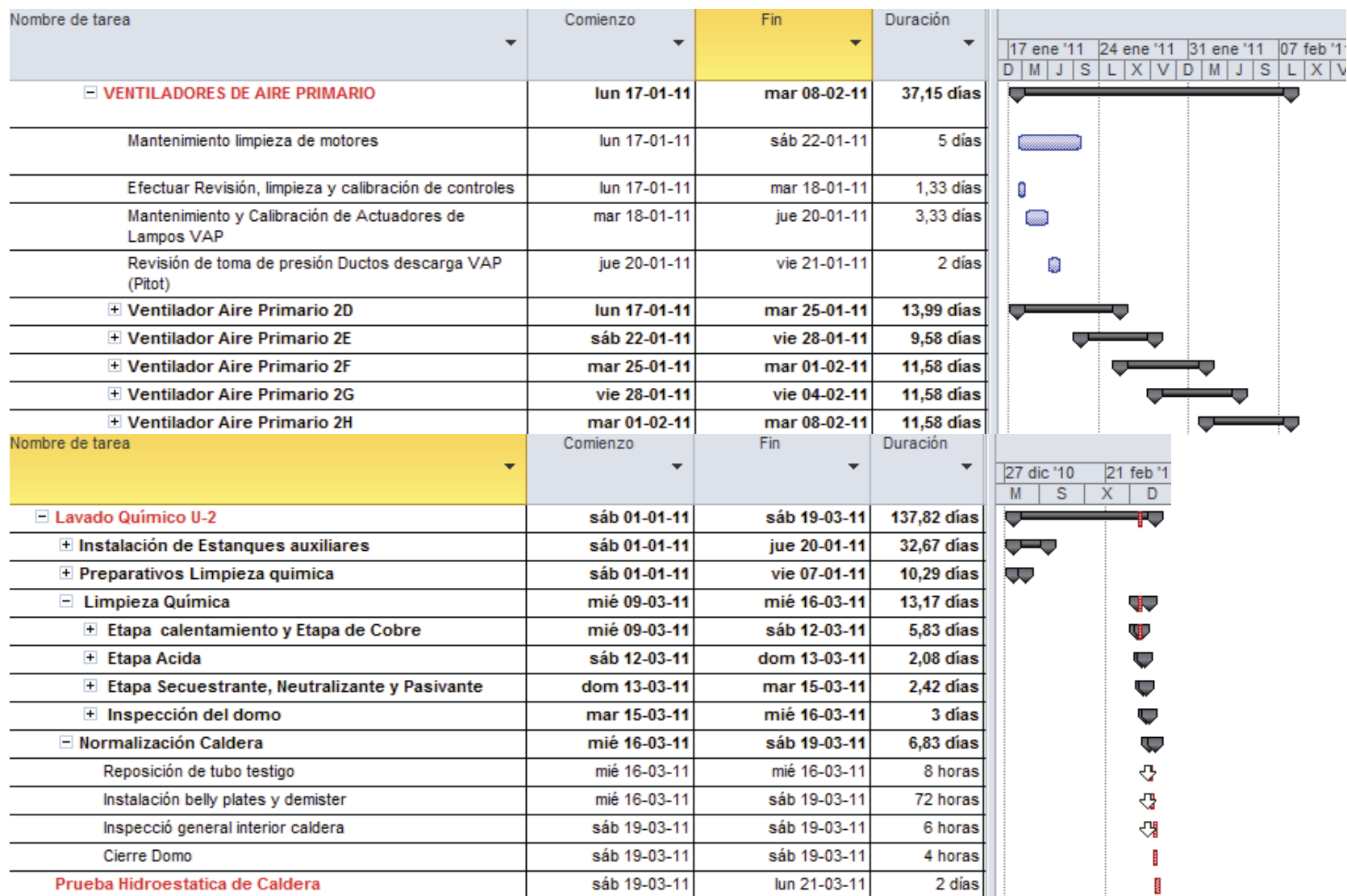


Fig. 40: Carta Gantt de las RRG

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

**Capítulo 8 “Layout, Organización y Ubicación de la
Unidad II”**

8.1.- Introducción

En este capítulo se representa el Layout de la termoeléctrica ubicada en Ventanas, comuna Puchuncaví, mostrando solamente las unidades I y II de esta empresa dejando afuera la Unidad III y IV que son nuevas en esta localidad.

Además se mostraran varios ciclos producidos en la unidad II tales como ciclo de vapor, ciclo de carbón, etc. Y con ellos poder entender de forma más didáctica el funcionamiento de la Unidad II de la central termoeléctrica Ventana.

8.2.- Layout de Termoeléctrica Ventanas (Unidad I y II)

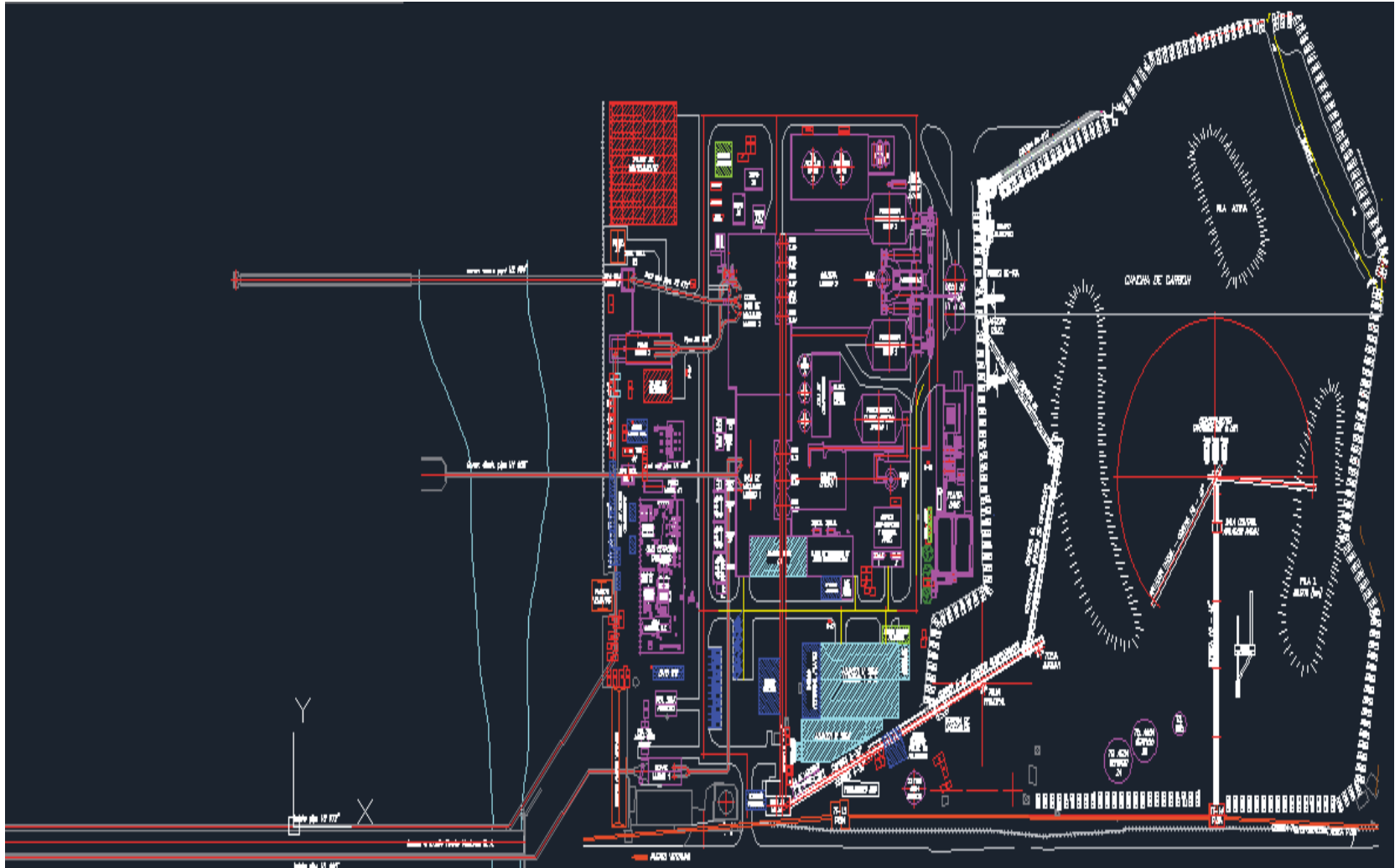


Fig. 41: Layout Unidad I y II de Central Termoeléctrica Ventanas

8.3.- Esquema Agua Vapor

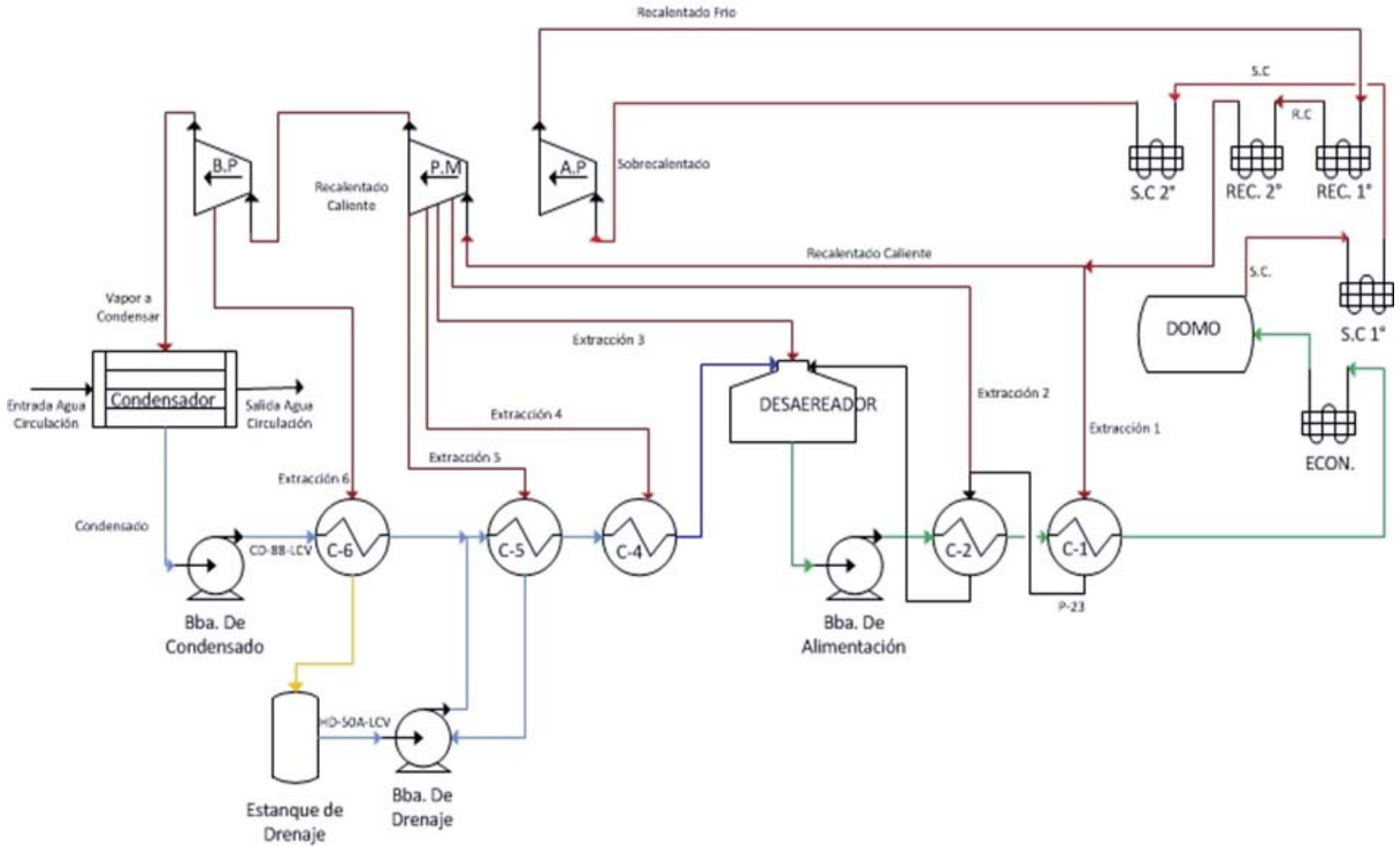


Fig. 42: Esquema Ciclo de Vapor

8.3.1.- Descripción del Esquema de Agua de Caldera

- Bomba, de estanque de agua de servicio, marca GOULDS modelo 3405, 2 unidades
- Planta desmineralizadora de agua, para 130.000 galones diarios, 1 unidad
- Estanque para almacenamiento de condensado, con capacidad para 110.000 galones, 1 unidad
- Bomba, de transferencia de condensado marca GOULDS, 1 unidad
- Bomba de servicio de emergencia de agua de condensado marca PEERLESS tipo 2STG, 1 unidad
- Condensador marca MARYLAND SHIPBUILDING & DRYDOCK CO, de superficie de 2 pasos y 1 cuerpos con una superficie de enfriamiento de 90.442 pie², 1 unidad
- Bomba vertical de condensado marca BYRON JACKSON tipo 8 STG, 2 unidades.
- Eyector de servicio marca FOSTER WHEELER ENERGY, tipo 2 STG, presión de operación de vapor 250 psi, 1 unidad.
- Extractor vapor prensa formado por un sistema de baterías, ventiladores, marca SPENCER GAS BOOSTER, y calentador G.E tipo CEU, 1 unidad.
- Calentadores de baja presión, del agua de alimentación N°6 marca INDUSTRIAL PROCESS ENG. 1 unidad
- Calentadores de baja presión, del agua de alimentación N°5 marca INDUSTRIAL PROCESS ENG. 1 unidad
- Bomba de drenaje de condensado, marca PACIFIC, tipo SVCN, 2 unidades.
- Calentadores de baja presión, del agua de alimentación N°4 marca INDUSTRIAL PROCESS ENG. 1 unidad
- Desaerador de agua de alimentación, marca ALLIEE STEEL PROD de acuerdo a especificaciones 1222, 1 unidad
- Estanque de agua de alimentación de Caldera, marca ALLIEE STEEL PROD, de acuerdo a especificaciones 1222, 1 unidad.
- Bomba de agua de alimentación de agua de Caldera, marca PACIFIC, tipo BFI, 3 unidades

- Calentadores de alta presión, del agua de alimentación N°2, horizontal, marca INDUSTRIAL PROCESS ENG. 3000 psi 1 unidad
- Calentadores de alta presión, del agua de alimentación N°1, horizontal, marca INDUSTRIAL PROCESS ENG. 3000 psi 1 unidad
- Equipos y bombas de alimentación para compuestos químicos, marca HILL MC. CANNA CO incluye: 2 bombas marca MILTON-ROY, 4 mezclador marca MILTON-ROY, 1 estanque de morfolina, 5 bombas marca MILTON-ROY con serie diferente, 2 estanque de fosfato,
- Un generador de vapor (Caldera) marca BABCOCK & WILCOX, para usar con Carbón pulverizado o petróleo grueso, compuesto de un economizador, dos calentadores de Aire, un Sobrecalentador Primario y uno secundario. Diseñada para una presión de 2350 lbs/pulg² y una temperatura de 1005 °F de vapor sobrecalentado y recalentado. Capacidad máxima continua de generación 1.426.000 libras de vapor por hora, completa con todos sus elementos y accesorios. 1 unidad
- Turbogenerador, marca GENERAL ELECTRIC, tipo interior, diseñado para una potencia máxima de 210 MW. Turbina de tres etapas, una de alta presión, una de presión intermedia y una de baja presión con una entrada de vapor de 140 kg/cm² a 538°C y de 30 kg/cm² a 538°C respectivamente. Una contrapresión de 43 mmHg y 6 extracciones de vapor para precalentamiento de agua de alimentación. Generador una capacidad trifásica de 257 MWA a 50 ciclos, 18 KV, 3000 rpm, factor de potencia 0,85, refrigerado por hidrogeno y agua desmineralizada a una presión de 3,2 Kg/cm² con excitatriz piloto. Completo con todos sus accesorios y elementos necesarios para su funcionamiento. 1 unidad
- Equipo de aceite de sello de hidrogeno del generador.
- Equipo para refrigeración de enrollamiento del estator del generador.
- Equipo para lubricación de turbina.

8.4.- Sistema de Carbón

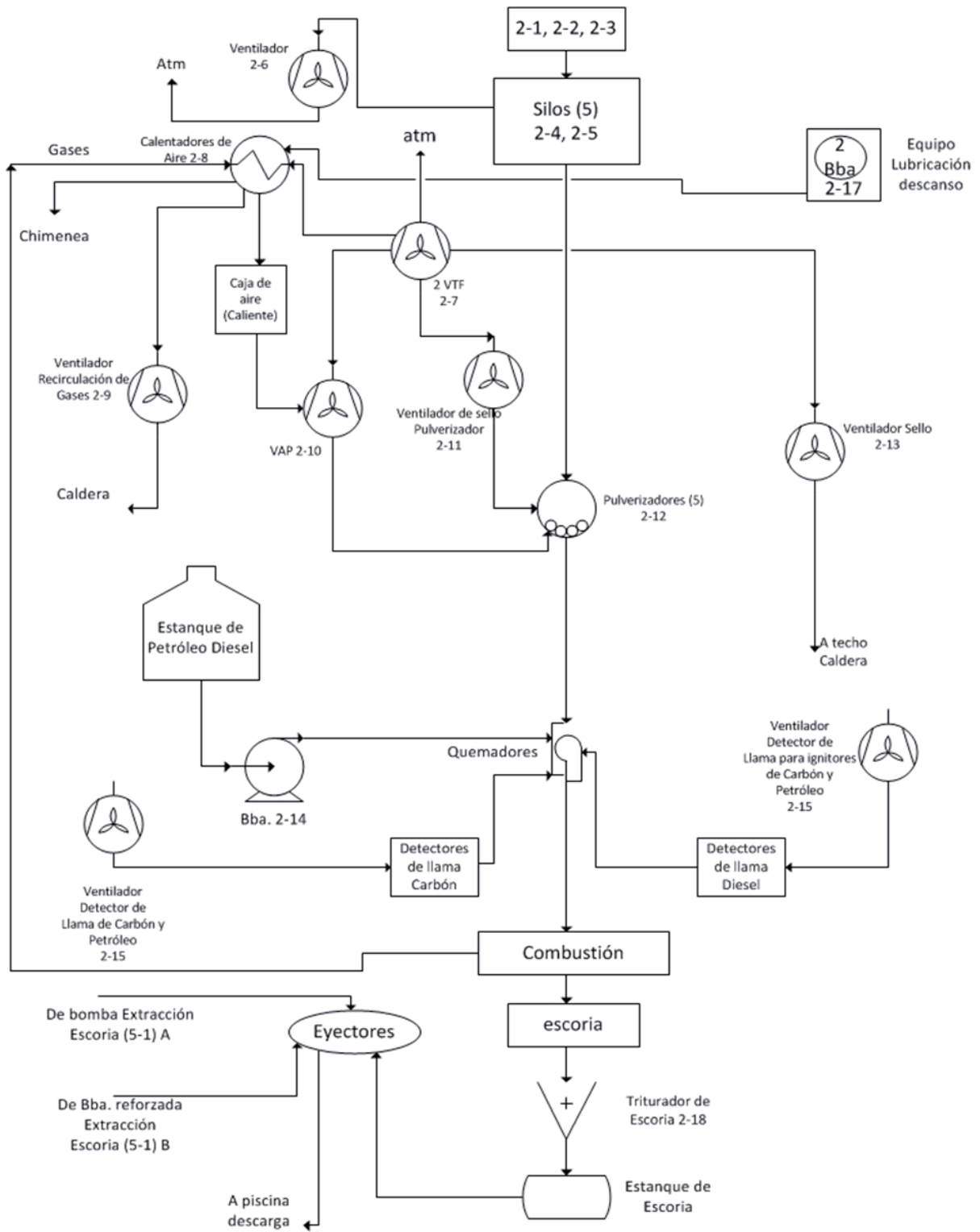


Fig. 43: Sistema del Ciclo de Carbón

8.4.1.- Descripción del Esquema de Sistema de Carbón

- 2-1. transportadora de Carbón, marca HEWITT-ROBINS INC., unido al sistema de la unidad I. 1 unidad
- 2-2. Romana de Carbón marca MERRICK SCALE MEG. CO., capacidad máxima 404 STPH, 1 unidad.
- 2-3. distribuidor de Carbón a silos, 1 unidad
- 2-4. medidor de nivel, marca KAY-RAY, 10 unidades
- 2-5. vibrador de Carbón, marca SINTRON, 3 en cada silo, incluyendo equipo de control de alimentación de Carbón, 15 unidades
- 2-6. Ventilador extractor de gases de silos, 1 unidad
- 2-7. Ventilador de tipo Forzado de Caldera, 2 unidades
- 2-8. Calentadores de Aire Caldera marca HORSBURGH & SCOTT, 2 unidades
- 2-9. Ventilador Recirculador de gases, 1 unidad
- 2-10. Ventilador de Aire Primario, marca WESTINGHOUSE estilo AKV-5548-3, 5 unidades.
- 2-11. Ventilador de Aire de Sello de los pulverizadores marca DIEBOLD, 5 unidades
- 2-12. Pulverizadores de Carbón con correspondiente alimentador, marca BABCOCK & WILCOX de 3 secciones, 5 unidades
- 2-13. Ventilador Booster de Caldera, marca BUFFALO, tipo R, 2 unidades.
- 2-14. Bomba para petróleo diesel, marca SIER-BATH, tipo SCREW, 2 unidades
- 2-15. Ventilador detector principal de llama, Carbón o petróleo, marca BUFFALO FORCE CO., 2 unidades
- 2-16. Ventilador detector de llama de ignitores, marca SPENCER, 2 unidades
- 2-17. Equipo de lubricación de descansos de calentadores de Aire.
- 2-18. Triturador de escoria, 2 unidades

8.5.- Sistema de Petr6leo Grueso

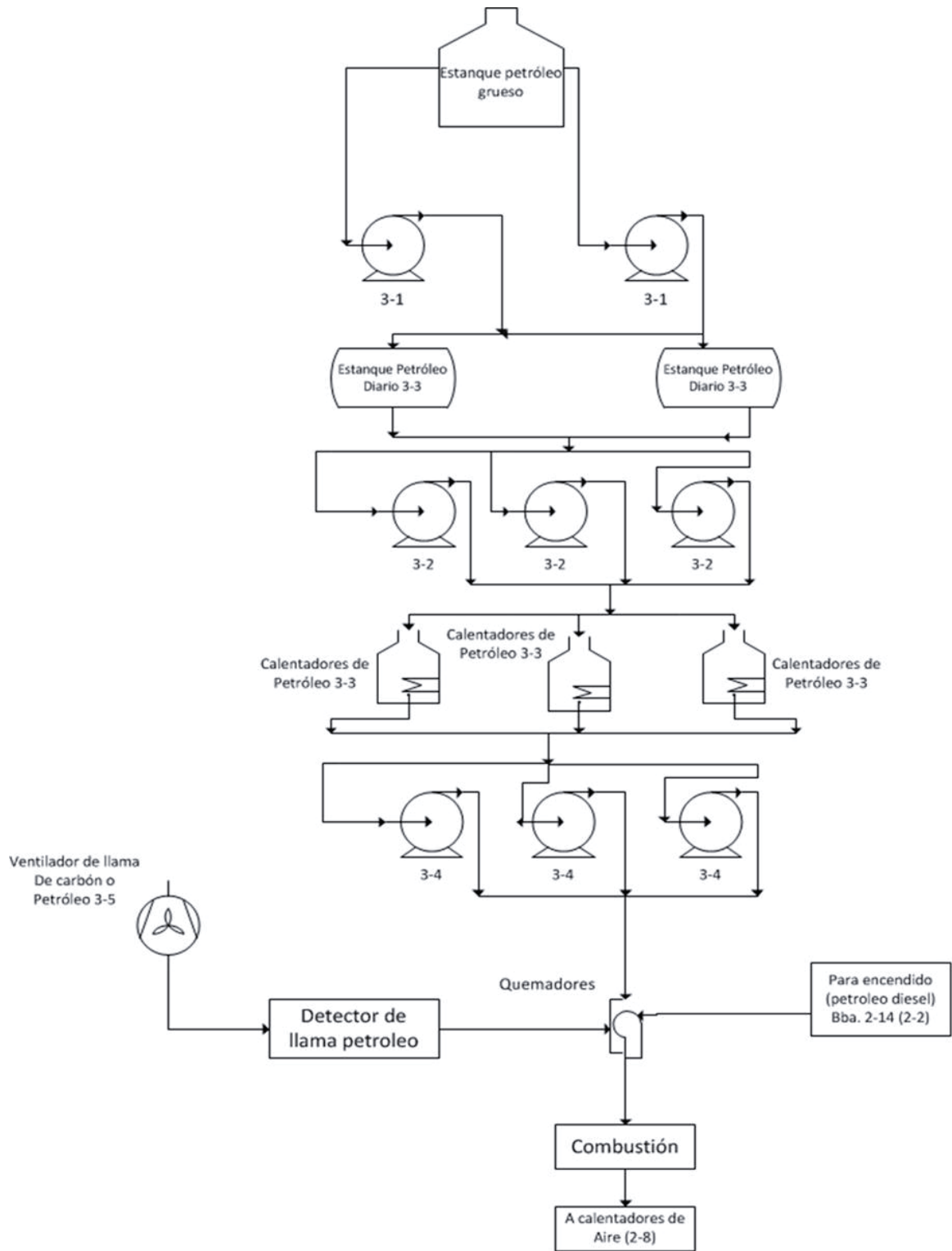


Fig. 44: Sistema de Petr6leo Grueso

8.5.1.- Descripción del Esquema de Sistema de Petróleo Grueso

- 3-1. Bomba petróleo grueso, marca SIER-BATH, 2 unidades
- 3-2. Bomba Booster de petróleo, marca SIER-BATH, tipo SCREW, 3 unidades
- 3-3. Calentadores de petróleo (5) (3 exteriores y 2 interiores, uno en cada estanque de petróleo), con 2 equipos de medición de consumo marca EMERSON ELECTRIC CO., con totalizadores, 1 unidad
- 3-4. Bomba de petróleo a Quemadores, marca PACIFIC, 3 unidades.
- 3-5 Ventilador detector principal de llama de Carbón o petróleo marca BUFFALO FORCE CO. 2 unidades (incluidos en sistema de Carbón)

8.6.- Sistema de Agua de Refrigeración

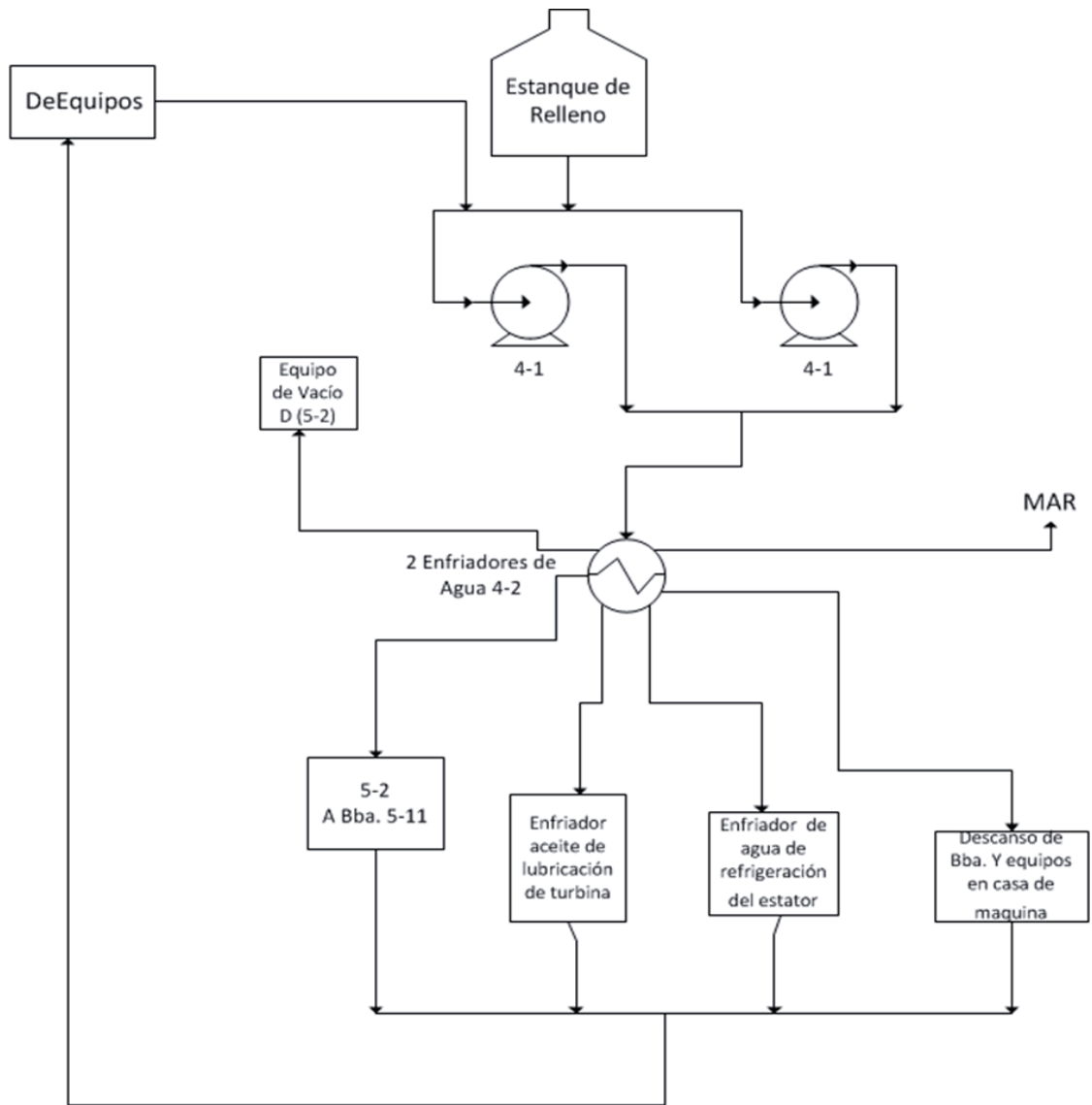


Fig. 45: Sistema de Agua de Refrigeración

8.6.1.- Descripción del Esquema de Sistema de Agua de Refrigeración

- 4-1. Bomba centrífuga de agua de enfriamiento, marca GOULDS incluye dos enfriadores, marca NATIONAL BRD, 2 unidades
- 4-2. Enfriadores de agua de enfriamiento, marca PERFEX DIV, de acuerdo a especificación 1124, 2 unidades

8.7.- Sistema de Agua de Circulación

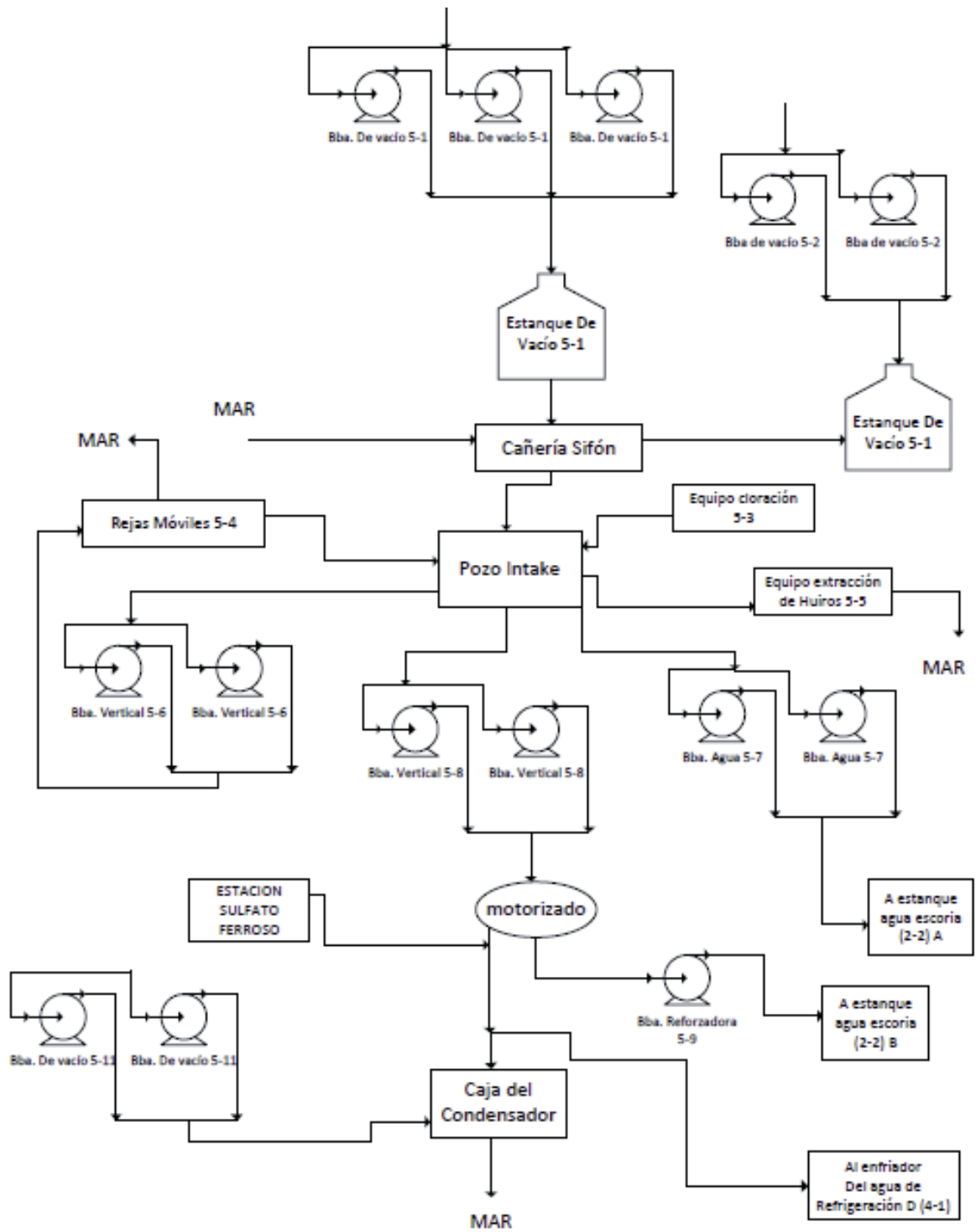


Fig. 46: Sistema Agua de Circulación

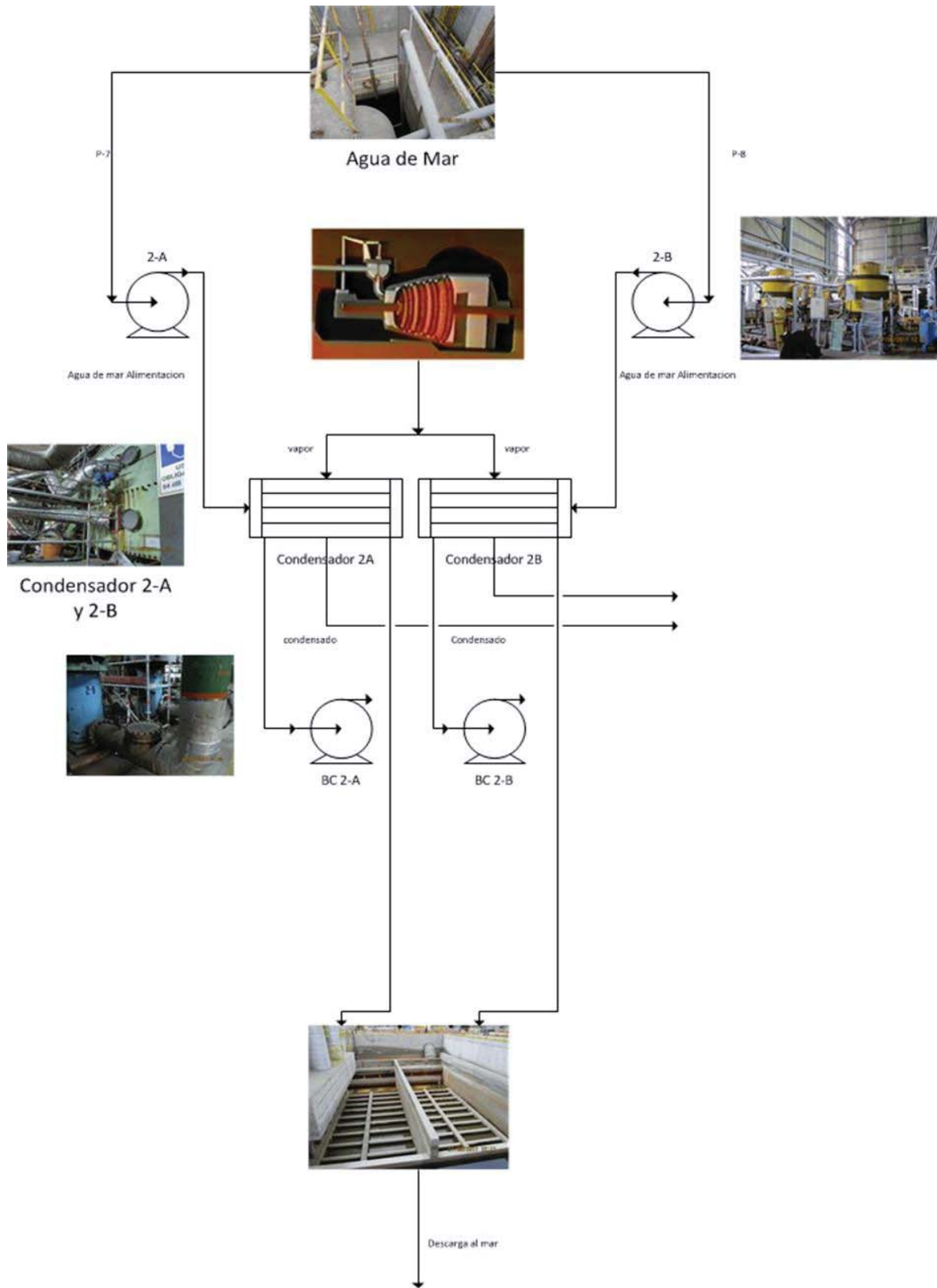


Fig. 47: Sistema Agua de Circulación (con Fotos)

8.7.1.- Descripción del Esquema de Sistema de Agua de Circulación

- 5-1. Sistema de vacío de sifón, ubicado al lado del muelle compuesto de: 1 estanque de vacío, 2 bombas de vacío, marca NASH
- 5-2. Equipo de vacío para tubo sifón formado por: 1 estanque de vacío, 2 bombas, marca NASH
- 5-3. Equipo de cloración, marca WALLACE & TIERNAN INC, compuesto de recipientes para cloro y accesorios, 1 evaporador de cloro, 1 clorinador, 1 romana marca FAIR BANK, capacidad 8000 libras para pesaje de recipientes
- 5-4. reja móvil, marca FMC CO, motorizada, 2 unidades
- 5-5. Equipo de extracción de huiros, para el sifón, marca REX, 1 unidad
- 5-6. Bomba vertical de lavado de rejillas, marca GOULDS, 2 unidades
- 5-7. Bomba de Agua para extracción de ceniza, 2 unidades
- 5-8. Bomba vertical de agua de circulación, marca JONSTON, 2 unidades
- 5-9. Bomba reforzadora de extracción de ceniza, marca GOULDS, 1 unidad
- 5-10 Estación de sulfato ferroso compuesta de: 3 estanques, con agitadores marca LFE, 2 Bombas de transferencia, 1 estanque de almacenamiento de sulfato ferroso, 2 Bombas inyectoras a cajas del condensador, marca MILROYAL
- 5-11. Bomba de vacío de caja del condensador, marca NASH, 2 unidades
- 5-12 Bomba para agua de descansos de bombas de Intake, marca GOULDS, 2 unidades.

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 9 “Cálculos de la Eficiencia”

9.1.- Introducción

La idea principal del Cálculo de la Eficiencia de la Caldera es para identificar diferencia producidas mediante las reparaciones generales del 2011. Ya que como se ha mencionado anteriormente se intervinieron los pulverizadores, Quemadores, sistema de Aire tanto Primario como secundario, un lavado químico, etc. Como todo esto se hizo en paralelo va ser imposible de observar cada aporte por separado y por ende se observara una diferencia de eficiencia del conjunto de las reparaciones generales.

Para este cálculo se tuvo que hacer un Short Run el día 03 de enero del 2011 que sería este antes de la RRGG (reparaciones Generales) y otro Short Run posterior que vendría siendo después de las RRGG el día 11 de Abril del 2011 y ve la diferencia de eficiencia como se mostrara mediante un gráfico ya que estos Short Run son a diferentes cargas.

También se hizo un último Short Run el día 26 de junio del 2011 para observar diferencias en el análisis de Carbón y los últimos arreglos implementados a esta Caldera.

9.2.- Metodología para el Cálculo de Eficiencia

Los resultados calculados en esta memoria fueron obtenidos mediante el cálculo de eficiencia por el métodos de la perdidas el ASME PTC 4.1 ya que es el método más común para las termoeléctricas (Generadoras a Carbón). Debido a que en estas Calderas es muy impreciso el dato del Carbón molido.

$$\eta = 100 - \left(\frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{Hf} * 100 + L_5 + L_6 \right)$$

η = Eficiencia de la Caldera

L_1 = Perdida de Calor debido a Gas Seco

$$L_1 = \left(\frac{(11 \cdot CO + 8 \cdot O_2 + 7 \cdot (N_2 + CO))}{300 \cdot (CO_2 + CO)} \right) \cdot \left(C + \frac{3}{8} \cdot S \right) \cdot (cpg) \cdot (Tgs - Tga)$$

Donde CO, CO₂, O₂, N₂ están representados en Porcentaje Volumétricos. El C y S en Porcentajes en Peso, el Calor Especifico del Gas (cpg) en [Kcal/(Kg*°C)], y las Temperaturas de Entrada (temperatura ambiente Tga) y de Salida (Temperatura salida Tgs)

L_2 = Perdida de Calor debido a Humedad en el Combustible

$$L_2 = \frac{H_2O}{100} \cdot (Entalpia de Vapor a 1 psia y Tgs - Entalpia de liquido a Tga)$$

Donde H₂O es un porcentaje en Peso de la Humedad en el Combustible y las entalpias están en las siguientes Unidades [Kcal/Kg]

L_3 = Perdida debido al H₂O a partir de la H₂ en el Combustible

$$L_3 = \frac{9 \cdot H_2}{100} \cdot (Entalpia de Vapor a 1 psia y Tgs - Entalpia de liquido a Tga)$$

Donde H_2 es un porcentaje en Peso del H_2 en el Combustible y las entalpías están en las siguientes Unidades [Kcal/Kg].

$L_4 =$ *Perdida debido Carbón no Quemado*

$L_5 =$ *Perdida debido a la Radiación*

$L_6 =$ *Perdida debido a Desmedida*

$H_f =$ Poder Calorífico Superior del Combustible

Los Datos necesarios para el Cálculo de la Eficiencia de la Caldera según el ASME PTC 4.1 son obtenidos mediante el Short Run tomadas en la Sala de control y las muestras de Carbón tomadas a las Motonaves que posteriormente son analizados en el laboratorio externo PCMLab. Cabe destacar que según el ASME es necesario obtener otros datos que son obtenidos mediante gráficos y tablas que se adjuntaran tanto en este capítulo, como en el anexo del Cálculo de Eficiencia.

- Para el cálculo del Flujo de Vapor Recalentado

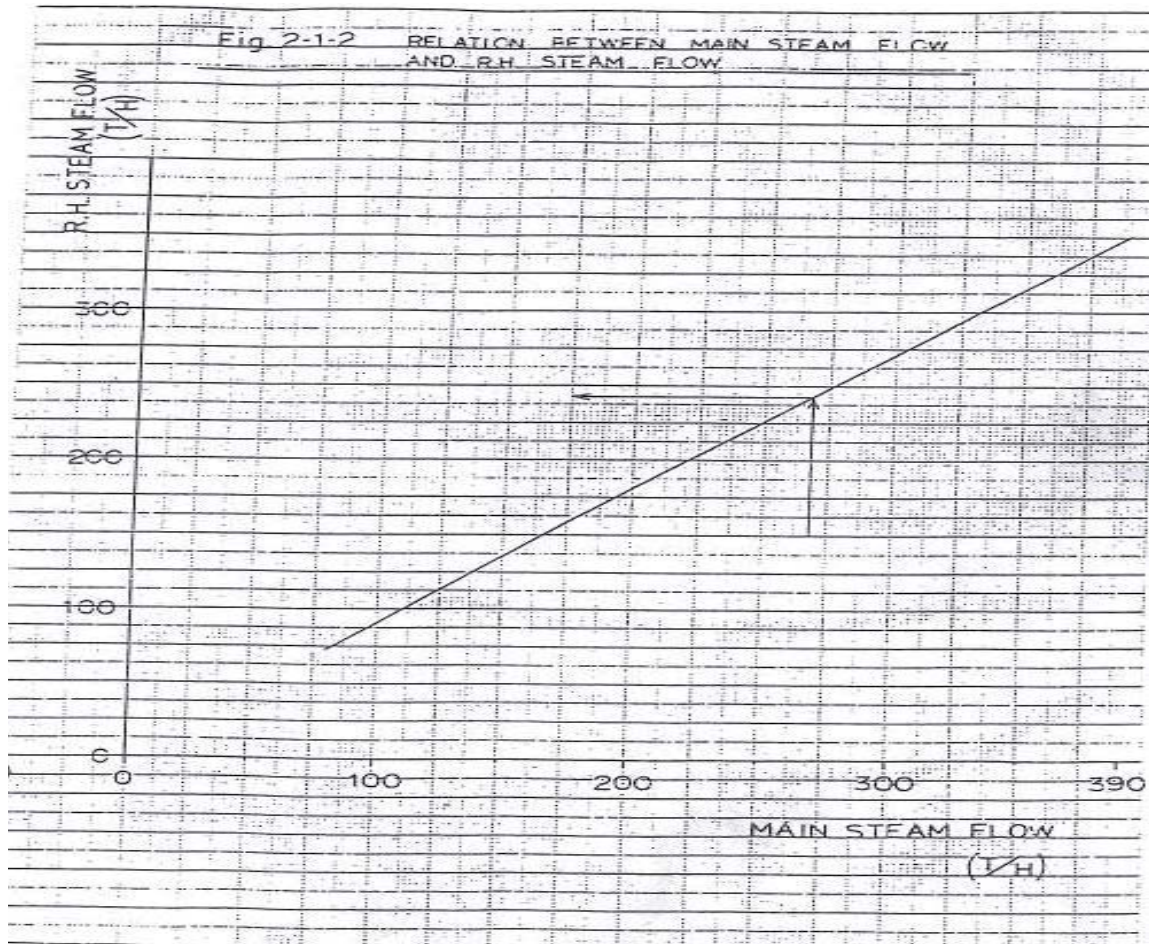


Fig. 48: Grafico Para Obtención de Flujo de Vapor Recalentado

Mediante el Grafico de la Fig. 48 se puede Calcular el Flujo de Vapor Recalentado mediante el Flujo de Vapor Principal. Como se puede observar, el siguiente grafico tendra una curva que en este caso se asume lineal ya que el Vapor principal supera el flujo maximo de esta curva y por ende se calculara la ecuacion de la curva entregando la siguiente ecuación.

$$\text{Flujo de Vapor Recalentado } \left[\frac{TON}{hr} \right] = 0,86 \times (\text{Flujo Vapor Principal}) + 6000$$

➤ Cálculo del Calor Específico del Gas a la Salida del AH

Los cálculos del calor específico del Gas a la Salida del AH se hacen mediante el siguiente gráfico en el cual se ingresa con la temperatura en donde posteriormente se intersecta con la razón C/H obtenidos mediante los datos entregados por el laboratorio PCMLab y nuevamente se intersecta con la misma razón para obtener finalmente el calor específico de este gas como se demuestra en el ejemplo.

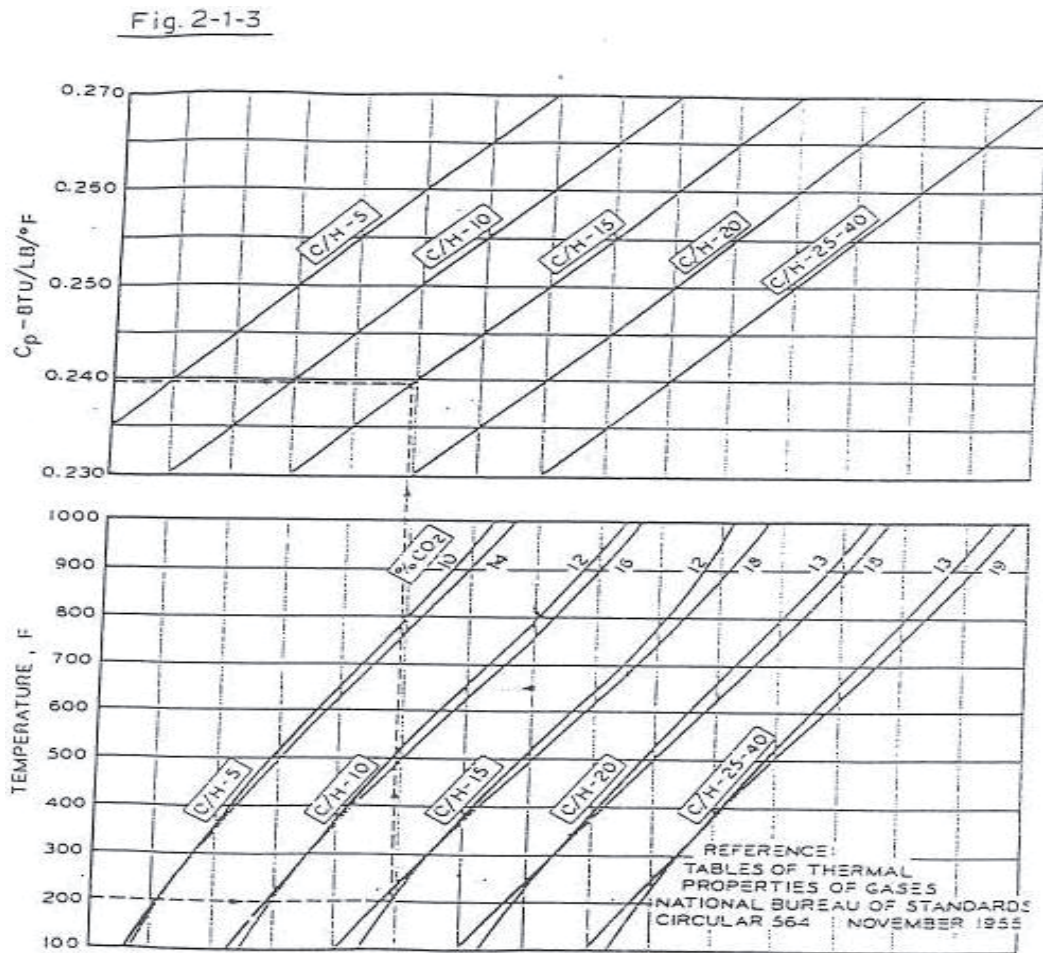


FIG. 7. INSTANTANEOUS SPECIFIC HEAT OF DRY FLUE GAS FOR CARBON HYDROGEN RATIOS (FUEL) = 5 - 40

66

$$T(F) = 1.8 \times T(C) + 32$$

$$1 \text{ (BTU/LB} \cdot \text{°F)} = 1 \text{ (kcal/Kg} \cdot \text{°C)}$$

Fig. 49: Gráfico Para el Cálculo del Calor Específico del Gas a la Salida De los Calentadores de Aire (AH)

➤ Cálculo de entalpía del vapor

Para el cálculo de la entalpía de Vapor es ocupada la temperatura del gas a la Salida del Calentador de Aire (AH) y es buscada en la siguiente tabla. Si no es exacta la temperatura se tendrá que interpolar para obtenerlas exactamente.

Table 2-1-1

Enthalpy of Vapor

P = 0.07at (1psia)

| T [°c] | H [kcal/kg] |
|--------|-------------|
| 50 | 619.4 |
| 60 | 623.9 |
| 70 | 628.4 |
| 80 | 632.9 |
| 90 | 637.5 |
| 100 | 642.0 |
| 110 | 646.5 |
| 120 | 651.1 |
| 130 | 655.6 |
| 140 | 660.2 |
| 150 | 664.8 |
| 160 | 669.4 |
| 170 | 674.0 |
| 180 | 678.6 |
| 190 | 683.2 |

Fig. 50: Tabla de Entalpía de Vapor

➤ Cálculo para la entalpia de líquido saturado

Para el cálculo de la entalpia del Líquido Saturado es ocupada la temperatura de referencia o sea la temperatura ambiental y es buscada en la siguiente tabla. Si no es exacta la temperatura se tendrá que interpolar para obtenerlas exactamente.

Table 2-1-2

Enthalpy of Sat. Liquid

| T [° c] | H [kcal / kg] | T [° c] | H [kcal / kg] |
|---------|---------------|---------|---------------|
| 0 | 0.0 | 20 | 20.0 |
| 1 | 1.0 | 21 | 21.0 |
| 2 | 2.0 | 22 | 22.0 |
| 3 | 3.0 | 23 | 23.0 |
| 4 | 4.0 | 24 | 24.0 |
| 5 | 5.0 | 25 | 25.0 |
| 6 | 6.0 | 26 | 26.0 |
| 7 | 7.0 | 27 | 27.0 |
| 8 | 8.0 | 28 | 28.0 |
| 9 | 9.0 | 29 | 29.0 |
| 10 | 10.0 | 30 | 30.0 |
| 11 | 11.0 | 31 | 31.0 |
| 12 | 12.0 | 32 | 32.0 |
| 13 | 13.0 | 33 | 33.0 |
| 14 | 14.0 | 34 | 34.0 |
| 15 | 15.0 | 35 | 35.0 |
| 16 | 16.0 | 36 | 36.0 |
| 17 | 17.0 | 37 | 37.0 |
| 18 | 18.0 | 38 | 38.0 |
| 19 | 19.0 | 39 | 39.0 |

Fig. 51: Tabla de Entalpia del Líquido Saturado

Todas las demás entalpias obtenidas mediante las presiones y temperaturas necesarias para el cálculo de eficiencia mediante el ASME PTC 4.1 son obtenidas mediante el programa WASP

➤ Cálculo por Pérdida por Radiación

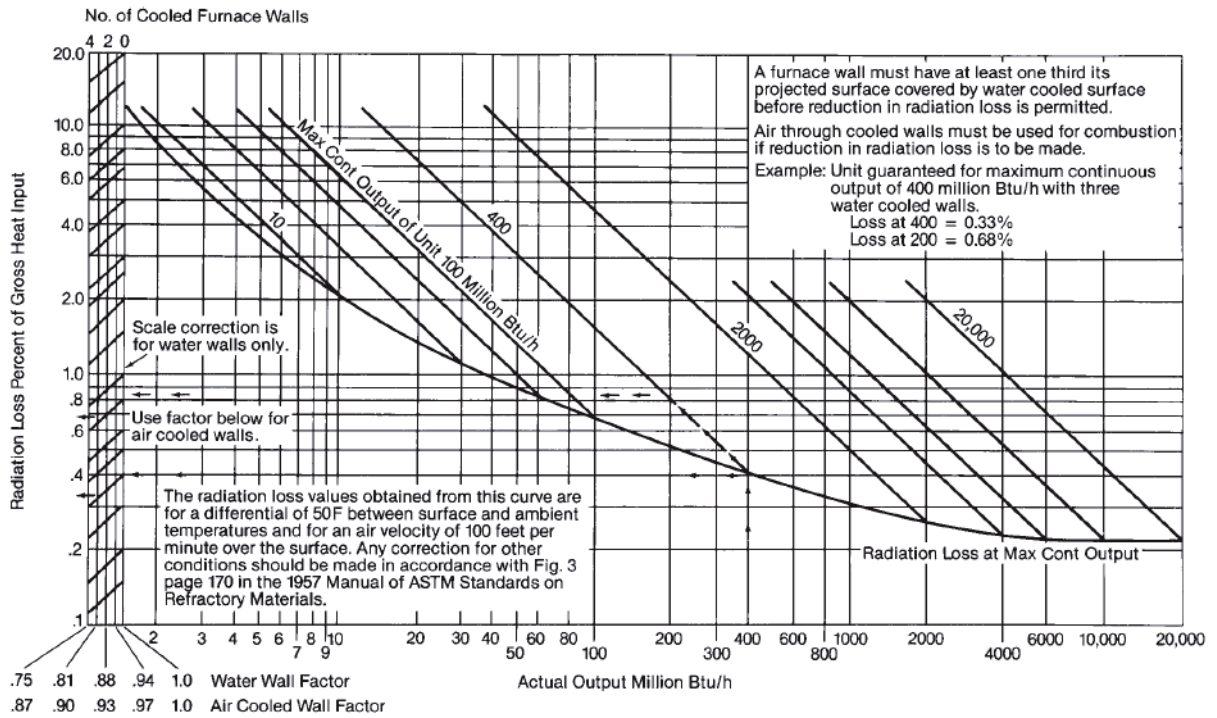


Fig. 52: Grafico Para las Pérdidas por Radiación (9 pág. 518)

9.3.- Cálculo de Eficiencia Antes de las RRGG el 03 de Enero del 2011

Estos Cálculos están hecho en el [Anexo de Cálculo de Eficiencia](#) en donde se adjuntan los análisis de Carbón entregados por PCMLab encargados por AES GENER, además los porcentajes del Carbón utilizado en ese día. También los requisitos que tienen que cumplir esta Mezcla de Carbon según AES GENER Complejo Costas

9.3.1.- Resumen y Requisitos Para la Medición de la Eficiencia del 03-01-11

Datos (Fig. 71)

| | |
|-------------------------|---|
| Tipo de Muestra | 30% Cerrejón D, 40% La Loma y 30% Rolleston |
| Fecha de Muestreo | 03-01-2011 |
| Lugar de Muestreo | Ventanas |
| Análisis Entregados Por | PCMLab |

Tabla 7: Tipo de Muestra de Carbón para Short Run 03 de Enero 2011

Análisis Inmediato

| Análisis Inmediato | | | |
|----------------------------|----------|-----------------|---------------|
| Datos como recibido | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Poder Calorífico Superior | Kcal/Kg | 5,911,60 | 7064 |
| Humedad Total | % | 16,31 | 0,00 |
| Cenizas | % | 7,19 | 8,59 |
| Materia Volátil | % | 32,60 | 38,95 |
| Carbón Fijo | % | 43,90 | 52,46 |
| Azufre | % | 0,59 | 0,62 |
| Total | | 100,00 | 100,00 |
| Humedad Residual | % | 6,59 | 7,87 |
| Cloro | % | 0,00 | 0,00 |
| Flúor | % | 0,00 | 0,00 |
| HGI (Dureza) | | 54,70 | 54,70 |
| Beta | | 0,44 | 0,44 |

Tabla 8: Resumen de Análisis Inmediato de Carbón como Recibido Para Short Run 03 de Enero 2011

Análisis elemental del Carbón

| Análisis Elemental del Carbón | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------|---------------|
| Datos Base Seca | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Carbono | % | 61,51 | 73,50 |
| Hidrogeno | % | 4,07 | 4,86 |
| Oxigeno + error | % | 8,96 | 10,71 |
| Nitrógeno | % | 1,36 | 1,63 |
| S (azufre) | % | 0,51 | 0,62 |
| Total Parcial | | 76,42 | 91,31 |
| Humedad | % | 16,31 | 0,00 |
| Ceniza | % | 7,27 | 8,69 |
| Total | | 100,00 | 100,00 |

Tabla 9: Resumen de Análisis Elemental de Carbón Para Short Run 03 de Enero 2011

Análisis Mineral de la Ceniza

| Análisis Mineral de la Ceniza | | | |
|---|----------|--------------|--------------|
| Datos Base Seca | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Silicio (SiO ₂) | % | 49,85 | 59,57 |
| Aluminio (Al ₂ O ₃) | % | 16,66 | 19,91 |
| Titanio (TiO ₂) | % | 1,04 | 1,24 |
| Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃) | % | 6,20 | 7,41 |
| Calcio (CaO) | % | 2,62 | 3,13 |
| Magnesio (MgO) | % | 1,46 | 1,74 |
| Sodio (Na ₂ O) | % | 0,89 | 1,06 |
| Potasio (K ₂ O) | % | 1,96 | 2,35 |
| Fosforo (P ₂ O ₅) | % | 0,05 | 0,06 |
| Azufre (SO ₃) | % | 2,77 | 3,31 |
| Manganeso (Mn ₃ O ₄) | % | 0,00 | 0,00 |
| Total | % | 83,50 | 99,77 |

Tabla 10: Resumen de Análisis Mineral de la Ceniza Para Short Run 03 de Enero 2011

Temperatura de Fusión

| Temperatura de Fusión | Unidad | Atmsf. Red |
|------------------------------|--------|-------------|
| Deformación Inicial (ID) | °C | 1195 |
| Ablandamiento (ST) | °C | 1231 |
| Hemisférica (HT) | °C | 1274 |
| Fluidez (FT) | °C | 1366 |

Tabla 11: Resumen de Temperaturas de Fusión del Carbón Para Short Run 03 de Enero 2011

Parámetros de Aceptación de Mezcla de Carbón para Caldera de Unidad II de Ventanas

Combustibilidad

| Combustibilidad | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación | Valores Ocupados |
|---------------------------------|---------|---------------|-----------------|---------------|------------------|
| Carbón Fijo/Materia Volátil | | < 2,5 | 1,35 | CUMPLE | Base Seca |
| Carbón Fijo/Hidrogeno | | < 20 | 10,79 | CUMPLE | Base Seca |
| Material Volátil (seca al Aire) | % | > 30 | 36,39 | CUMPLE | como recibido |
| Poder calorífico Superior | Kcal/Kg | 5900 - 7400 | 5.911,60 | CUMPLE | como recibido |

Tabla 12: Combustibilidad de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011

Clasificación de Ceniza

| Clasificación de la Ceniza | valor medido | Situación |
|---|--------------|--------------------------|
| Fe ₂ O ₃ /(CaO+MgO) | 1,52 | Ceniza Bituminosa |

Tabla 13: Clasificación de la Ceniza en la Muestra de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011

Criterio: Si Valor medido es > 1 es Bituminosa de lo contrario Lignítica. Ocupando valores de Base Seca (bs)

Índice de Hardgrove

| Índice de Hardgrove | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---------------------|--------|---------------|--------------|---------------|
| HGI (Dureza) | | > 45 | 55,60 | CUMPLE |

Tabla 14: Índice de Hardgrove de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011

Potencial de Escoramiento (Slagging). Valores medidos en Base Seca

| Potencial de Escoramiento (Slagging) | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---|---------|-----------------|----------------|------------------|
| ST Atmosf. Reduc. | °C | > 1370 | 1230,60 | NO CUMPLE |
| FT - ID Atmosf. Reduc. | °C | > 100 | 170,35 | CUMPLE |
| Razón Ceniza/Pcs | Kg/Gcal | < 25 | 12,16 | CUMPLE |
| Razón Base / Ácido | | < 0,5 | 0,19 | CUMPLE |
| Fe ₂ O ₃ b.s. en la ceniza | % | < 15 | 7,41 | CUMPLE |
| Razón Férrica/Dolomita | | < 0,3 y > 3 | 1,52 | CUMPLE |
| Dolomita (CaO+MgO)/(Fe ₂ O ₃ +CaO+MgO+Na ₂ O+K ₂ O) | % | < 60 | 0,31 | CUMPLE |
| Razón Sílice/Alúmina | | < 2,8 | 2,99 | NO CUMPLE |
| Silicio | % | < 2 | 0,62 | CUMPLE |
| Porcentaje Silicio (SiO ₂ /(SiO ₂ +Fe ₂ O ₃ +CaO+MgO) | % | >78 | 82,91 | CUMPLE |
| Índice de Escoramiento B/A*%S | | < 0,6 | 0,12 | BAJO |

Tabla 15: Potencial de Escoramiento de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011

Potencial de Ensuciamiento (Fouling)

| Potencial de ensuciamiento (Fouling) | Unidad | Requerimiento | Valor medido | Situación |
|--|--------|-----------------|--------------|------------------|
| Na ₂ O+K ₂ O b.s. en la ceniza | % | < 3 | 3,41 | NO CUMPLE |
| Na ₂ O b.s. en la ceniza | % | < 2 | 1,06 | CUMPLE |
| CaO .b .s. en la ceniza | % | < 20 | 3,13 | CUMPLE |
| Cloro | % | < 0,3 | 0,00 | CUMPLE |
| Índice de ensuciamiento B/Ax%Na₂O | | < 0,2 | 0,21 | MEDIO |

Tabla 16: Potencial de Ensuciamiento de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011

Potencial de Erosión

| Potencial de Erosión | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---|---------|---------------|--------------|---------------|
| (SiO ₂ - Al ₂ O ₃) * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 10 | 4,82 | CUMPLE |
| AL ₂ O ₃ * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 8 | 2,42 | CUMPLE |
| (SiO ₂ + 1.5 * Al ₂ O ₃) * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 18 | 10,88 | CUMPLE |

Tabla 17: Potencial de Erosión de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011

Colectividad de Partículas (P.P.E.E)

| Colectividad de partículas (P.P.E.E.) | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---------------------------------------|--------|---------------|--------------|---------------|
| Na ₂ O | % | > 0,1 | 1,06 | CUMPLE |
| K ₂ O | % | > 0,1 | 2,35 | CUMPLE |

Tabla 18: Colectividad de Partículas (P.P.E.E) de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011

Factores que Aumentan el Rendimiento de los (P.P.E.E)

| Factores que aumentan el rendimiento de los P.P.E.E: | | | |
|--|--------|--------------|------------------------------|
| | Unidad | Valor Medido | |
| SO ₃ | % | 3,31 | |
| Na ₂ O | % | 1,06 | |
| K ₂ O | % | 2,35 | |
| Fe ₂ O ₃ | % | 7,41 | Situación |
| Total | % | 14,13 | EMISIONES NO VISIBLES |

Tabla 19: Factores que Aumentan el Rendimiento de los (P.P.E.E) de la Mezcla de Carbón para Short Run 03 de Enero 2011

Potencial de Corrosión

| Potencial de corrosión | | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|-------------------------------|----|--------|---------------|--------------|---------------|
| Cloro | CL | % | < 0,25 | 0,00 | CUMPLE |
| Flúor | F | % | < 0,25 | 0,00 | CUMPLE |
| Azufre | S | % | < 3 | 0,62 | CUMPLE |

Tabla 20: Potencial de Corrosión de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 03 de Enero 2011

9.3.2.- Cálculos de Eficiencia Según ASME PTC 4.1 del 03-01-11

➤ Cálculos y Resultados para la Eficiencia según El ASME PTC 4.1 Caldera Unidad II

| (1)(Cálculos de Combustión) | | | |
|---|---|----------|--------------------|
| Carga | Fórmulas para Cálculos | Unidades | Datos y Resultados |
| Temperatura Ambiente | t0 | °C | 19,00 |
| Presión Atmosférica | P atm | mmHg | 760,20 |
| Humedad Absoluta | $WmA = (0,622 * \Phi * P_s * 10^{-2}) / (P \text{ atm} - \Phi * P_s * 10^{-2})$ | Kg/Kg | 0,00 |
| Combustible | | | |
| Composición | | | |
| Carbón | C | wt% | 61,51 |
| Hidrogeno | H | wt% | 4,07 |
| Azufre | S | wt% | 0,51 |
| Nitrógeno | N | wt% | 1,36 |
| Oxigeno | O | wt% | 8,96 |
| Cenizas | A | wt% | 7,27 |
| Agua | W | wt% | 16,31 |
| Total | | wt% | 100,00 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible HHV | Hf | Kcal/Kg | 5.911,60 |
| HGI | | | 54,70 |
| fineza, malla 200 | | % | 72,00 |
| Carbón no Quemado en la Ceniza de Fondo | UcBash (valor de análisis) | wt% | 13,55 |
| Carbón no Quemado en Bajo Residuo Seco Total | 0,25*UcBash | % | 3,39 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-1 | UcFash1 (valor de análisis) | % | 7,17 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-2 | UcFash2 (valor de análisis) | % | 7,08 |
| Carbón no quemado en Ceniza Volante (Total) | TUcFash=(0,8*UcFash1)+(0,2*UcFash2) | % | 7,15 |

| | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Carbón no Quemado en la Basura Seca Total | $U=(0,25*UcBash+0,75*TUcFash)$ | wt% | 8,75 |
| Perdida de Calor Debido al Carbón No Quemado | $Luc=8100*U/(100-U)*a/100*100/Hf$ | % | 0,96 |
| Perdida de Calor Debido al CO | $Lco=CO/(CO2+CO)*5644*C/100*100/Hf$ | % | 0,00 |
| Perdida de Calor Debido al Carbón No Quemado Total | $L6=Luc + Lco$ | % | 0,96 |
| Perdida de Combustible Solido | $Sc=L6*Hf/8100$ | % | 0,70 |
| Efecto del Combustible No Quemado | $Cf=1-Sc/100$ | % | 0,99 |
| Producto en el Combustible | $F=(100-a-Sc)/Hf*10^4$ | Kg/Gcal | 155,68 |
| Aire Seco Teórico | $Aod=34,48*(C/3+H+(S-O)/8)*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 1.371,62 |
| Aire Seco Teórico Corregido | $WA'=Cf*Aod$ | Kg/Gcal | 1.362,05 |
| Aire Húmedo Teórico Corregido | $Waw=WA'*(1+WmA)$ | Kg/Gcal | 1.362,05 |
| Humedad en el Combustible | $mc=W*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 27,59 |
| Humedad del Hidrogeno | $mh=8,936*H*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 61,49 |
| Humedad en el Combustible (Total) | $mf=mc + mh$ | Kg/Gcal | 89,08 |
| Exceso de Aire a la Salida del Economizador | $Ax = (Orzat \& \text{Calcur. (5)})$ | % | 1,41 |
| Aire de Combustión | $WA=Ax*Waw$ | Kg/Gcal | 1.925,72 |
| producto de combustión | $P=WA+F$ | Kg/Gcal | 2.081,40 |
| Humedad en el Aire | $mA = WmA*WA*Ax$ | Kg/Gcal | 0,00 |
| Humedad Total | $m=mf + mA$ | Kg/Gcal | 89,08 |
| Gas Seco | $Wg =P-m$ | Kg/Gcal | 1.992,31 |
| % EP | EP eff= Especial test | % | 99,90 |
| (2)(Absorción de Calor en la Caldera) | | | |
| Flujo de Vapor Principal | WSH | Kg/h | 533.920,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | PSH | Kg/cm ² | 146,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | TSH | °C | 535,56 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del | hSH (tabla de vapor) | Kcal/kg | 815,73 |

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Sobrecalentador | | | |
| Presión de Vapor en el Domo | PD | Kg/cm ² | 155,81 |
| Temperatura de Saturación (Domo) | TD | °C | 341,40 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | hD | Kcal/kg | 382,80 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | PW | Kg/cm ² | 192,61 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | TW | °C | 180,55 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | hW (tabla de vapor) | Kcal/kg | 184,99 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Psp | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | Tsp | °C | 180,55 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | hsp (tabla de vapor) | Kcal/kg | 184,96 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Wb | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Wsp | Kg/h | 5.360,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | WRh | Kg/h | 465.171,20 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | PRHo | Kg/cm ² | 26,55 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | TRHo | °C | 530,06 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | hRHo (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 842,42 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | PRHi | Kg/cm ² | 30,14 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | TRHi | °C | 335,99 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | hRHi (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 735,66 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Wrp | Kg/h | 9.540,00 |

| | | | |
|--|-------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Prp | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Trp | °C | 180,55 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | hrp (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 183,15 |
| Absorción de Calor en el Vapor Principal | QSH=WSH*(hSH-hW) | Kcal/h | 336.764.700,80 |
| Absorción de Calor en la Purga | Qb=Wb*(hD-hW) | Kcal/h | 0,00 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Qsp=Wsp*(hW-hsp) | Kcal/h | 160,80 |
| Absorción de Calor en el Vapor Recalentado | QRH=WRh*(hRHo-hRHi) | Kcal/h | 49.661.677,31 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Recalentador | Qrp=Wrp*(hRHi-hrp) | Kcal/h | 6.289.435,80 |
| Total de Calor Absorbido | QT=QSH + Qb + Qsp + QRH + Qrp | Kcal/h | 392.715.974,71 |
| (3)(Calculo de la Eficiencia de la Caldera) | | | |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | tg' | °C | 128,00 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | cpg' | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | Ax' | % | 1,87 |
| Flujo de Gas a la Salida de AH | Wg'=Ax'*Waw+F | Kg/Gcal | 2.698,01 |
| Calor del Gas a la Salida del AH | Qg'=Wg'*cpg'*tg' | | 82.537,48 |
| Temperatura de Referencia | tRA | °C | 19,00 |
| Temperatura del Aire a la Salida del SAH | tA | °C | 229,68 |
| Calor Especifico del Aire de Combustión | cpA | Kcal/Kg *°C | 0,25 |
| Fugas en el Flujo de Aire en el AH | W1=(Ax'-Ax)*Waw | Kg/Gcal | 616,61 |
| Fugas de Calor en el Aire en el AH | Q1=W1*cpA*tA | | 35.972,28 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Cpgw | Kcal/Kg | 0,24 |

| | | | |
|---|---|-------------|-----------------|
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (un corr.) | $tg=(Qg'-Q1)/(P*cpgw)$ | °C | 93,61 |
| Temperatura del Gas a la Entrada del Calentador de Aire | t14 (No.91) | °C | 305,85 |
| Porcentaje de Fugas en el Calentador de Aire | % fugas=(% Co2 gas entrada-% gas salida)/% gas salida | % | 32,02 |
| créditos de calor | | | |
| Aire Seco | $WA''=Ax'*WA'$ | Kg/Gcal | 2.542,33 |
| Calor Especifico del Aire Seco | cpA= (de figura 3) | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Créditos de Calor de Aire Seco | $Bae/Hf=WA*cpA*(tA-tRA)/10^6$ | | 0,10 |
| Calor Especifico del Vapor | Cps | Kcal/Kg *°C | 0,45 |
| Créditos de Calor en la Humedad del Aire | $BmAe/Hf=mA*cps*(tA-tRA)/10^6$ | | 0,00 |
| Entalpía de Vapor Saturado | hRv | Kcal/kg | 654,70 |
| Total de Créditos de Calor | $B/Hf=Bae/Hf+BmAe/Hf$ | | 0,10 |
| Perdida de Calor | | | |
| Calor Especifico del Gas Seco | Cpgd | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Entalpia de Vapor en tg y pg | h= tabla de vapor | Kcal/Kg | 654,70 |
| Entalpia de Liquido Saturado | hRw | Kcal/Kg | 19,00 |
| Perdida Debido a Gas Seco | $L1=Wg*cpgd*(tg-tRA)/10^4/(1+B/Hf)$ | % | 3,28 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | L2(D) | % | 1,75 |
| Perdida Debido al Agua por la Combustión del Hidrogeno | $L3=mh*(h-hRw)/10^4/(1+B/Hf)$ | % | 4,36 |
| Perdida Debido al Combustible No Quemado | L4 | % | 0,96 |
| Perdidas Debido a la Radiación | L5=(de Carta ABMA) | % | 0,27 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | L6 | % | 1,5 |
| Pérdidas Totales de Calor | $L=L1+L2+L3+L4+L5+L6+L7+L8$ | % | 12,12 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | $n=100-L$ | % | 87,88 |

| | | | |
|---|--|--------|--------------------------|
| Calor Total de entrada | $Ql=QT*100/n$ | Kcal/h | 446.887.782,70 |
| Entrada de Calor por Combustible | $Qf=Ql/(1+B/Hf)$ | Kcal/h | 405.138.038,07 |
| Consumo de Combustible | $Wfe=Qf/Hf*10^6$ | kg/h | 68.532.721.780,03 |
| (4) exceso de Aire | | | |
| CO2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO2 | vol% | 13,40 |
| CO en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | O2 | vol% | 2,30 |
| N2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | N2 | vol% | 84,30 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 10,15 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,45 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,40 |
| máximo de CO2 | $\max CO2=(1,87*C+0,7*S)*100/(8,89*C+21,1*(H-O/8)+3,33*S+0,8*N)*100$ | vol% | 18,95 |
| exceso de Aire en la entrada del AH | $Ax=\max CO2/CO2$ | % | 1,41 |
| exceso de Aire en la salida del AH | $Ax'=\max CO2/CO2'$ | % | 1,87 |
| fuel C/H | | % | 15,12 |

Tabla 21: Cálculo de Eficiencia del 03 de Enero 2011 Mediante el ASME PTC 4.1

➤ Cálculos y Resultados para la Eficiencia según El ASME PTC 4.1 Caldera Unidad II

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | PSH | Kg/cm ² | 146,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | TSH | °C | 535,56 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | hSH (tabla de vapor) | Kcal/kg | 815,73 |
| Presión de Vapor en el Domo | PD | Kg/cm ² | 155,81 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | hD | Kcal/kg | 382,80 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | PW | Kg/cm ² | 192,61 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | TW | °C | 180,55 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | hW (tabla de vapor) | Kcal/kg | 184,99 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Psp | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | Tsp | °C | 180,55 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | hsp (tabla de vapor) | Kcal/kg | 184,96 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | PRHo | Kg/cm ² | 26,55 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | TRHo | °C | 530,06 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | hRHo (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 842,42 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | PRHi | Kg/cm ² | 30,14 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | TRHi | °C | 335,99 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | hRHi (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 735,66 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Prp | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Trp | °C | 180,55 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | hrp (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 183,15 |
| Flujo de Vapor Principal | WSH | Kg/h | 533.920,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Wsp | Kg/h | 5.360,00 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Wb | Kg/h | 0,00 |

| | | | |
|--|---------------------------------|---------|-----------------------|
| Flujo de Vapor Recalentado | WRh | Kg/h | 465.171,20 |
| Flujo de Agua en el Atemporador (Spray) del Recalentador | Wrp | Kg/h | 9.540,00 |
| Absorción de Calor en el Vapor Principal | $QSH=WSH*(hSH-hW)$ | Kcal/h | 336.764.700,80 |
| Absorción de Calor en el Atemporador (Spray) del Sobrecalentador | $Qsp=Wsp*(hW-hsp)$ | Kcal/h | 160,80 |
| Absorción de Calor en la Purga | $Qb=Wb*(hD-hW)$ | Kcal/h | 0,00 |
| Absorción de Calor en el Vapor Recalentado | $QRH=WRh*(hRHo-hRHh)$ | Kcal/h | 49.661.677,31 |
| Absorción de Calor en el Atemporador (Spray) del Recalentador | $Qrp=Wrp*(hRHo-hrp)$ | Kcal/h | 6.289.435,80 |
| Total de Calor Absorbido | $QT=QSH + Qb + Qsp + QRH + Qrp$ | Kcal/h | 392.715.974,71 |
| Temperatura Ambiente | t0 | °C | 19,00 |
| Carbón | C | wt% | 61,51 |
| Hidrogeno | H | wt% | 4,07 |
| Azufre | S | wt% | 0,51 |
| Nitrógeno | N | wt% | 1,36 |
| Oxigeno | O | wt% | 8,96 |
| Cenizas | A | wt% | 7,27 |
| Agua | W | wt% | 16,31 |
| Total | | wt% | 100,00 |
| fuel C/H | | | 15,12 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible HHV | Hf | Kcal/Kg | 5.911,60 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,45 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 10,15 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,40 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | Ax' | % | 40,52 |
| Gases Secos de Combustión | | Kg/Kg | 15,14 |

| | | | |
|--|-------|-------------------------|------------------------------------|
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | tg' | °C | 128,00 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | cpg' | Kcal/Kg°C | 0,24 |
| Perdidas de Calor Debido al Gas Seco | | Kcal/Kg | 394,37 |
| Perdida Debido a Gas Seco | | % | 6,67 |
| Entalpía de Vapor Saturado | hRv | Kcal/kg | 654,70 |
| Entalpia de Liquido Saturado | hRw | Kcal/Kg | 19,00 |
| Perdida de Calor Debido a la Humedad en el Combustible | | Kcal/Kg | 103,68 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | L2(D) | % | 1,75 |
| Perdida de Calor Debido al Hidrogeno en el Combustible | | Kcal/Kg | 232,75 |
| Perdida Debido al Agua por la Combustión del Hidrogeno | | % | 3,94 |
| Perdidas debido al Combustible No Quemado | | | 0,96 |
| máximo contenido de salida | | 10 ⁴ *Kcal/h | 253,00 |
| máximo contenido de salida | | 10 ⁴ *Btu/h | 1.003,90 |
| actual de salida | | 10 ⁴ *Btu/h | 1.558.296.987,6 6 |
| Perdidas por radiación | | % | 0,27 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | | % | 1,50 |
| Perdidas | | % | 15,09 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | | % | 84,91 |

Tabla 22: Cálculo de Eficiencia del 03 de Enero 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (MITSUBISHI)

9.4.- Cálculo de Eficiencia Después de las RRGG el 11 de Abril del 2011

Estos cálculos están hecho en el [Anexo de Cálculo de Eficiencia](#) en donde se adjuntan los análisis de Carbón entregados por PCMLab encargados por AES GENER, además los porcentajes del Carbón utilizado en ese día. También los requisitos o requisitos que tienen que cumplir estos Carbones son entregados por AES GENER Complejo Costas

9.4.1.- Resumen y Requisitos Para la Medición de la Eficiencia del 11-04-11

Datos

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| Tipo de Muestra | 60% Cerrejón D y 40% La Loma |
| Fecha de Muestreo | 11-04-2011 |
| Lugar de Muestreo | Ventanas |
| Análisis Entregados Por | PCMLab |

Tabla 23: Tipo de Muestra de Carbón para Short Run 11 de Abril 2011

Análisis Inmediato

| Análisis Inmediato | | | |
|---------------------------------|----------|-----------------|---------------|
| Datos Como Recibido (cr) | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Poder Calorífico Superior | Kcal/Kg | 5.970,40 | 7089 |
| Humedad Total | % | 15,78 | 0,00 |
| Cenizas | % | 7,00 | 8,32 |
| Materia Volátil | % | 34,08 | 40,47 |
| Carbón Fijo | % | 43,14 | 51,22 |
| Azufre | % | 0,59 | 0,71 |
| Total | | 100,00 | 100,00 |
| Humedad Residual | % | 6,02 | 7,15 |
| Cloro | % | 0,00 | 0,00 |
| Flúor | % | 0,00 | 0,00 |
| HGI (Dureza) | | 51,00 | 51,00 |
| Beta | | 0,50 | 0,50 |

Tabla 24: Resumen de Análisis Inmediato de Carbón como Recibido Para Short Run 11 de Abril 2011

Análisis elemental del Carbón

| Análisis Elemental del Carbón | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------|--------------|
| Datos Base Seca | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Carbono | % | 61,78 | 73,35 |
| Hidrogeno | % | 4,27 | 5,07 |
| Oxigeno + error | % | 9,28 | 11,01 |
| Nitrógeno | % | 1,25 | 1,49 |
| S (azufre) | % | 0,59 | 0,70 |
| Total Parcial | | 77,17 | 91,62 |
| Humedad | % | 15,78 | 0,00 |
| Ceniza | % | 7,06 | 8,38 |
| Total | | 100,00 | 100 |

Tabla 25: Resumen de Análisis Elemental de Carbón Para Short Run 11 de Abril 2011

Análisis Mineral de la Ceniza

| Análisis Mineral de la Ceniza | | | |
|---|----------|--------------|--------------|
| Datos Base Seca | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Silicio (SiO ₂) | % | 45,07 | 53,51 |
| Aluminio (Al ₂ O ₃) | % | 16,08 | 19,10 |
| Titanio (TiO ₂) | % | 0,93 | 1,11 |
| Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃) | % | 7,98 | 9,48 |
| Calcio (CaO) | % | 2,87 | 3,41 |
| Magnesio (MgO) | % | 1,61 | 1,91 |
| Sodio (Na ₂ O) | % | 1,50 | 1,78 |
| Potasio (K ₂ O) | % | 2,36 | 2,80 |
| Fosforo (P ₂ O ₅) | % | 0,00 | 0,00 |
| Azufre (SO ₃) | % | 0,00 | 0,00 |
| Manganeso (Mn ₃ O ₄) | % | 0,00 | 0,00 |
| Total | | 78,40 | 93,09 |

Tabla 26: Resumen de Análisis Mineral de la Ceniza Para Short Run 11 de Abril 2011

Temperatura de Fusión

| Temperatura de Fusión | Unidad | Atmsf. Red |
|------------------------------|--------|-------------|
| Deformación Inicial (ID) | °C | 1168 |
| Ablandamiento (ST) | °C | 1200 |
| Hemisférica (HT) | °C | 1244 |
| Fluidez (FT) | °C | 1340 |

Tabla 27: Resumen de Temperaturas de Fusión del Carbón Para Short Run 11 de Abril 2011

Parámetros de Aceptación de Mezcla de Carbón para Caldera de Unidad II de Ventanas

Combustibilidad

| Combustibilidad | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación | Valores Ocupados |
|---------------------------------|---------|---------------|-----------------|---------------|------------------|
| Carbón Fijo/Materia Volátil | | < 2,5 | 1,27 | CUMPLE | Base Seca |
| Carbón Fijo/Hidrogeno | | < 20 | 10,10 | CUMPLE | Base Seca |
| Material Volátil (seca al Aire) | % | > 30 | 38,03 | CUMPLE | como recibido |
| Poder calorífico Superior | Kcal/Kg | 5900 - 7400 | 5.970,40 | CUMPLE | como recibido |

Tabla 28: Combustibilidad de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011

Clasificación de Ceniza Valores medidos en Base Seca

| Clasificación de la Ceniza | valor medido | Situación |
|---|--------------|--------------------------|
| Fe ₂ O ₃ /(CaO+MgO) | 1,78 | Ceniza Bituminosa |

Tabla 29: Clasificación de Ceniza de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011

Criterio: Si Valor medido es > 1 es Bituminosa de lo contrario Lignítica. Ocupando valores de Base Seca (bs)

Índice de Hardgrove

| Índice de Hardgrove | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---------------------|--------|---------------|--------------|---------------|
| HGI (Dureza) | | > 45 | 51,00 | CUMPLE |

Tabla 30: Índice de Hardgrove de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de abril 2011

Potencial de Escoramiento (Slagging). Valores medidos en Base Seca

| Potencial de Escoramiento (Slagging) | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|--|---------|-----------------|----------------|------------------|
| ST Atmosf. Reduc. | °C | > 1370 | 1200,20 | NO CUMPLE |
| FT - ID Atmosf. Reduc. | °C | > 100 | 172,00 | CUMPLE |
| Razón Ceniza/Pcs | Kg/Gcal | < 25 | 11,73 | CUMPLE |
| Razón Base / Ácido | | < 0,5 | 0,26 | CUMPLE |
| Fe ₂ O ₃ b.s. en la ceniza | % | < 15 | 9,48 | CUMPLE |
| Razón Férrica/Dolomita | | < 0,3 y > 3 | 1,78 | CUMPLE |
| Dolomita (CaO+MgO)/(Fe ₂ O ₃ +CaO+MgO+Na ₂ O+K ₂ O) | % | < 60 | 0,27 | CUMPLE |
| Razón Sílice/Alúmina | | < 2,8 | 2,80 | NO CUMPLE |
| Silicio | % | < 2 | 0,71 | CUMPLE |
| Porcentaje Silicio (SiO ₂ /(SiO ₂ +Fe ₂ O ₃ +CaO+MgO)) | % | >78 | 78,34 | CUMPLE |
| Índice de Escoramiento B/A*%S | | < 0,6 | 0,19 | BAJO |

Tabla 31: Potencial de Escoramiento de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011

Potencial de Ensuciamiento (Fouling) Valores medidos en Base Seca

| Potencial de ensuciamiento (Fouling) | Unidad | Requerimiento | Valor medido | Situación |
|--|--------|---------------|--------------|------------------|
| Na ₂ O+K ₂ O b.s. en la ceniza | % | < 3 | 4,58 | NO CUMPLE |
| Na ₂ O b.s. en la ceniza | % | < 2 | 1,78 | CUMPLE |
| CaO .b .s. en la ceniza | % | < 20 | 3,41 | CUMPLE |
| Cloro | % | < 0,3 | 0,00 | CUMPLE |
| Índice de ensuciamiento B/Ax%Na ₂ O | | < 0,2 | 0,47 | MEDIO |

Tabla 32: Potencial de Ensuciamiento de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011

Potencial de Erosión Valores medidos en Base Seca

| Potencial de Erosión | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---|---------|---------------|--------------|---------------|
| (SiO ₂ - Al ₂ O ₃) * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 10 | 4,04 | CUMPLE |
| AL ₂ O ₃ * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 8 | 2,24 | CUMPLE |
| (SiO ₂ + 1.5 * Al ₂ O ₃) * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 18 | 9,64 | CUMPLE |

Tabla 33: Potencial de Erosión de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011

Colectividad de Partículas (P.P.E.E) Valores medidos en Base Seca

| Colectividad de partículas (P.P.E.E.) | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---------------------------------------|--------|---------------|--------------|---------------|
| Na ₂ O | % | > 0,1 | 1,78 | CUMPLE |
| K ₂ O | % | > 0,1 | 2,80 | CUMPLE |

Tabla 34: Colectividad de Partículas (P.P.E.E) de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011

Factores que Aumentan el Rendimiento de los (P.P.E.E)

| Factores que aumentan el rendimiento de los P.P.E.E: | | | |
|--|--------|--------------|------------------------------|
| | Unidad | Valor Medido | |
| SO ₃ | % | 0,00 | |
| Na ₂ O | % | 1,78 | |
| K ₂ O | % | 2,80 | |
| Fe ₂ O ₃ | % | 9,48 | Situación |
| Total | % | 14,06 | EMISIONES NO VISIBLES |

Tabla 35: Factores que aumentan el Rendimiento de los (P.P.E.E) Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011

Potencial de Corrosión

| Potencial de corrosión | | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|-------------------------------|----|--------|---------------|--------------|---------------|
| Cloro | CL | % | < 0,25 | 0,00 | CUMPLE |
| Flúor | F | % | < 0,25 | 0,00 | CUMPLE |
| Azufre | S | % | < 3 | 0,71 | CUMPLE |

Tabla 36: Potencial de Corrosión de Mezcla de Carbón Utilizada para Short Run 11 de Abril 2011

9.4.2.- Cálculos de Eficiencia Según ASME PTC 4.1 del 11-04-11

➤ Cálculos y Resultados para la Eficiencia según El ASME PTC 4.1 Caldera Unidad II

| (1)(Cálculos de Combustión) | | | |
|---|---|----------|--------------------|
| Carga | Fórmulas para Cálculos | Unidades | Datos y Resultados |
| Temperatura Ambiente | t0 | °C | 18,00 |
| Presión Atmosférica | P atm | mmHg | 760,20 |
| Humedad Absoluta | $WmA = (0,622 \cdot \Phi \cdot P_s \cdot 10^{-2}) / (P \text{ atm} - \Phi \cdot P_s \cdot 10^{-2})$ | Kg/Kg | 0,00 |
| Combustible | | | |
| Composición | | | |
| Carbón | C | wt% | 61,78 |
| Hidrogeno | H | wt% | 4,27 |
| Azufre | S | wt% | 0,59 |
| Nitrógeno | N | wt% | 1,25 |
| Oxigeno | O | wt% | 9,28 |
| Cenizas | A | wt% | 7,06 |
| Agua | W | wt% | 15,78 |
| Total | | wt% | 100,00 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible HHV | Hf | Kcal/Kg | 5.970,40 |
| HGI | | | 51,00 |
| fineza, malla 200 | | % | 70,00 |
| Carbón no Quemado en la Ceniza de Fondo | UcBash (valor de análisis) | wt% | 13,55 |
| Carbón no Quemado en Bajo Residuo Seco Total | $0,25 \cdot UcBash$ | % | 3,39 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-1 | UcFash1 (valor de análisis) | % | 6,62 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-2 | UcFash2 (valor de análisis) | % | 5,37 |
| Carbón no quemado en Ceniza Volante (Total) | $TUcFash = (0,8 \cdot UcFash1) + (0,2 \cdot UcFash2)$ | % | 6,37 |

| | | | |
|--|-------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Carbón no Quemado en la Basura Seca Total | $U=(0,25*UcBash+0,75*TUcFash)$ | wt% | 8,17 |
| Perdida de Calor Debido al Carbón No Quemado | $Luc=8100*U/(100-U)*a/100*100/Hf$ | % | 0,85 |
| Perdida de Calor Debido al CO | $Lco=CO/(CO2+CO)*5644*C/100*100/Hf$ | % | 0,00 |
| Perdida de Calor Debido al Carbón No Quemado total | $L6=Luc + Lco$ | % | 0,85 |
| Perdida de Combustible Solido | $Sc=L6*Hf/8100$ | % | 0,63 |
| Efecto del Combustible No Quemado | $Cf=1-Sc/100$ | % | 0,99 |
| Producto en el Combustible | $F=(100-a-Sc)/Hf*10^4$ | Kg/Gcal | 154,62 |
| Aire Seco Teórico | $Aod=34,48*(C/3+H+(S-O)/8)*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 1.373,21 |
| Aire Seco Teórico Corregido | $WA'=Cf*Aod$ | Kg/Gcal | 1.364,59 |
| Aire Húmedo Teórico Corregido | $Waw=WA'*(1+WmA)$ | Kg/Gcal | 1.367,36 |
| Humedad en el Combustible | $mc=W*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 26,43 |
| Humedad del Hidrogeno | $mh=8,936*H*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 63,94 |
| Humedad en el Combustible (Total) | $mf=mc + mh$ | Kg/Gcal | 90,36 |
| Exceso de Aire a la Salida del Economizador | $Ax= (Orzat \& \text{Calcur. (5)})$ | | 1,43 |
| Aire de Combustión | $WA=Ax*Waw$ | Kg/Gcal | 1.953,21 |
| producto de combustión | $P=WA+F$ | Kg/Gcal | 2.107,83 |
| Humedad en el Aire | $mA=WmA*WA*Ax$ | Kg/Gcal | 5,65 |
| Humedad Total | $m=mf + mA$ | Kg/Gcal | 96,01 |
| Gas Seco | $Wg=P-m$ | Kg/Gcal | 2.011,82 |
| % EP | EP eff= Especial test | % | 99,90 |
| (2)(Absorción de Calor en la Caldera) | | | |
| Flujo de Vapor Principal | WSH | Kg/h | 566.730,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | PSH | Kg/cm ² | 148,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | TSH | °C | 534,15 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del | hSH (tabla de vapor) | Kcal/kg | 814,29 |

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Sobrecalentador | | | |
| Presión de Vapor en el Domo | PD | Kg/cm ² | 157,51 |
| Temperatura de Saturación (Domo) | TD | °C | 342,05 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | hD | Kcal/kg | 383,89 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | PW | Kg/cm ² | 188,36 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | TW | °C | 180,93 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | hW (tabla de vapor) | Kcal/kg | 185,34 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Psp | Kg/cm ² | 185,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | Tsp | °C | 180,93 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | hsp (tabla de vapor) | Kcal/kg | 185,30 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Wb | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Wsp | Kg/h | 4.310,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | WRh | Kg/h | 493.387,80 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | PRHo | Kg/cm ² | 28,43 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | TRHo | °C | 522,26 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | hRHo (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 837,84 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | PRHi | Kg/cm ² | 31,62 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | TRHi | °C | 337,02 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | hRHi (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 735,41 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Wrp | Kg/h | 12.820,00 |

| | | | |
|--|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Prp | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Trp | °C | 180,93 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | hrp (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 183,55 |
| Absorción de Calor en el Vapor Principal | QSH=WSH*(hSH-hW) | Kcal/h | 356.444.833,50 |
| Absorción de Calor en la Purga | Qb=Wb*(hD-hW) | Kcal/h | 0,00 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Qsp=Wsp*(hW-hsp) | Kcal/h | 172,40 |
| Absorción de Calor en el Vapor Recalentado | QRH=WRh*(hRHo-hRHi) | Kcal/h | 50.537.712,35 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Recalentador | Qrp=Wrp*(hRHi-hrp) | Kcal/h | 8.387.997,80 |
| Total de Calor Absorbido | QT = QSH + Qb + Qsp + QRH + Qrp | Kcal/h | 415.370.717,05 |
| (3)(Calculo de la Eficiencia de la Caldera) | | | |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | tg' | °C | 116,50 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | cpg' | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | Ax' | | 1,90 |
| Flujo de Gas a la Salida de AH | Wg'=Ax'*Waw+F | Kg/Gcal | 2.758,90 |
| Calor del Gas a la Salida del AH | Qg'=Wg'*cpg'*tg' | | 76.817,39 |
| Temperatura de Referencia | tRA | °C | 18,00 |
| Temperatura del Aire a la Salida del SAH | tA | °C | 223,49 |
| Calor Especifico del Aire de Combustión | cpA | Kcal/Kg *°C | 0,25 |
| Fugas en el Flujo de Aire en el AH | W1=(Ax'-Ax)*Waw | Kg/Gcal | 651,48 |
| Fugas de Calor en el Aire en el AH | Q1=W1*cpA*tA | | 36.958,04 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Cpgw | Kcal/Kg | 0,24 |

| | | | |
|---|--|-------------|-----------------|
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (un corr.) | $t_g = (Q_g' - Q_1) / (p \cdot c_{pgw})$ | °C | 79,12 |
| Temperatura del Gas a la Entrada del Calentador de Aire | t14 (No.91) | °C | 302,53 |
| Porcentaje de Fugas en el Calentador de Aire | $\% \text{fugas} = (\% \text{Co}_2 \text{ gas entrada} - \% \text{gas salida}) / \% \text{gas salida}$ | | 33,33 |
| créditos de calor | | | |
| Aire Seco | $W_A'' = A_x' \cdot W_A'$ | Kg/Gcal | 2.599,01 |
| Calor Especifico del Aire Seco | cpA= (de figura 3) | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Créditos de Calor de Aire Seco | $B_{ae}/H_f = W_A \cdot c_{pA} \cdot (t_A - t_{RA}) / 10^6$ | | 0,10 |
| Calor Especifico del Vapor | Cps | Kcal/Kg *°C | 0,45 |
| Créditos de Calor en la Humedad del Aire | $B_{mAe}/H_f = m_A \cdot c_{ps} \cdot (t_A - t_{RA}) / 10^6$ | | 0,00 |
| Entalpía de Vapor Saturado | hRv | Kcal/kg | 649,49 |
| Total de Créditos de Calor | $B/H_f = B_{ae}/H_f + B_{mAe}/H_f$ | | 0,10 |
| Perdida de Calor | | | |
| Calor Especifico del Gas Seco | Cpgd | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Entalpia de Vapor en tg y pg | h= tabla de vapor | Kcal/Kg | 649,49 |
| Entalpia de Liquido Saturado | hRw | Kcal/Kg | 18,00 |
| Perdida Debido a Gas Seco | $L_1 = W_g \cdot c_{pgd} \cdot (t_g - t_{RA}) / 10^4 / (1 + B/H_f)$ | % | 2,72 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | L2(D) | % | 1,67 |
| Perdida Debido al Agua por la Combustión del Hidrogeno | $L_3 = m_h \cdot (h - h_{Rw}) / 10^4 / (1 + B/H_f)$ | % | 4,50 |
| Perdida Debido al Combustible No Quemado | L6 | % | 0,85 |
| Perdidas Debido a la Radiación | L7=(de Carta ABMA) | % | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | L8 | % | 0,18 |
| Pérdidas Totales de Calor | $L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8$ | % | 10,11 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | $n = 100 - L$ | % | 89,89 |

| | | | |
|---|--|--------|--------------------------|
| Calor Total de entrada | $Ql=QT*100/n$ | Kcal/h | 462.070.394,89 |
| Entrada de Calor por Combustible | $Qf=Ql/(1+B/Hf)$ | Kcal/h | 419.115.198,37 |
| Consumo de Combustible | $Wfe=Qf/Hf*10^6$ | kg/h | 70.198.847.375,25 |
| (4) exceso de Aire | | | |
| CO2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO2 | vol% | 13,20 |
| CO en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | O2 | vol% | 1,95 |
| N2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | N2 | vol% | 84,85 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 9,90 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,80 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,30 |
| máximo de CO2 | $\max CO2=(1,87*C+0,7*S)*100/(8,89*C+21,1*(H-O/8)+3,33*S+0,8*N)*100$ | vol% | 18,86 |
| exceso de Aire en la entrada del AH | $Ax=\max CO2/CO2$ | % | 1,43 |
| exceso de Aire en la salida del AH | $Ax'=\max CO2/CO2'$ | % | 1,90 |
| fuel C/H | | % | 14,46 |

Tabla 37: Cálculo de Eficiencia del 11 de Abril 2011 Mediante el ASME PTC 4.1

➤ Cálculos y Resultados para la Eficiencia según El ASME PTC 4.1 Caldera Unidad II

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | PSH | Kg/cm ² | 148,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | TSH | °C | 534,15 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | hSH (tabla de vapor) | Kcal/kg | 814,29 |
| Presión de Vapor en el Domo | PD | Kg/cm ² | 157,51 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | hD | Kcal/kg | 383,89 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | PW | Kg/cm ² | 188,36 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | TW | °C | 180,93 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | hW (tabla de vapor) | Kcal/kg | 185,34 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Psp | Kg/cm ² | 185,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | Tsp | °C | 180,93 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | hsp (tabla de vapor) | Kcal/kg | 185,30 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | PRHo | Kg/cm ² | 28,43 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | TRHo | °C | 522,26 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | hRHo (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 837,84 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | PRHi | Kg/cm ² | 31,62 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | TRHi | °C | 337,02 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | hRHi (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 735,41 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Prp | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Trp | °C | 180,93 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | hrp (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 183,55 |
| Flujo de Vapor Principal | WSH | Kg/h | 566.730,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Wsp | Kg/h | 4.310,00 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Wb | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | WRh | Kg/h | 493.387,80 |

| | | | |
|--|------------------------------|---------|-----------------------|
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Wrp | Kg/h | 12.820,00 |
| Absorción de Calor en el Vapor Principal | $QSH=WSH*(hSH-hW)$ | Kcal/h | 356.444.833,50 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | $Qsp=Wsp*(hW-hsp)$ | Kcal/h | 172,40 |
| Absorción de Calor en la Purga | $Qb=Wb*(hD-hW)$ | Kcal/h | 0,00 |
| Absorción de Calor en el Vapor Recalentado | $QRH=WRh*(hRHo-hRHi)$ | Kcal/h | 50.537.712,35 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Recalentador | $Qrp=Wrp*(hRHo-hrp)$ | Kcal/h | 8.387.997,80 |
| Total de Calor Absorbido | $QT=QSH +Qb + Qsp+ QRH +Qrp$ | Kcal/h | 415.370.716,05 |
| Temperatura Ambiente | t0 | °C | 18,00 |
| Carbón | C | wt% | 61,78 |
| Hidrogeno | H | wt% | 4,27 |
| Azufre | S | wt% | 0,59 |
| Nitrógeno | N | wt% | 1,25 |
| Oxigeno | O | wt% | 9,28 |
| Cenizas | A | wt% | 7,06 |
| Agua | W | wt% | 15,78 |
| Total | | wt% | 100,00 |
| fuel C/H | | | 14,46 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible HHV | Hf | Kcal/Kg | 5.970,40 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,80 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 9,90 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,30 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | Ax' | | 43,76 |
| Gases Secos de Combustión | | Kg/Kg | 15,58 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | tg' | °C | 116,50 |

| | | | |
|--|-------|-------------------------|-------------------------|
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | cpg' | Kcal/Kg°C | 0,24 |
| Perdidas de Calor Debido al Gas Seco | | Kcal/Kg | 366,79 |
| Perdida Debido a Gas Seco | | % | 6,14 |
| Entalpía de Vapor Saturado | hRv | Kcal/kg | 649,49 |
| Entalpía de Liquido Saturado | hRw | Kcal/Kg | 18,00 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | | Kcal/Kg | 99,64 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | L2(D) | % | 1,67 |
| Perdida de Calor Debido al Hidrogeno en el Combustible | | Kcal/Kg | 242,78 |
| Perdida Debido al Agua por la Combustión del Hidrogeno | | % | 4,07 |
| Perdidas debido al Combustible No Quemado | | | 0,85 |
| máximo contenido de salida | | 10 ⁴ *Kcal/h | 253,00 |
| máximo contenido de salida | | 10 ⁴ *Btu/h | 1.003,90 |
| actual de salida | | 10 ⁴ *Btu/h | 1.648.191.001,30 |
| Perdidas por radiación | | % | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | | | 0,18 |
| Perdidas | | | 13,10 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | | | 86,9 |

Tabla 38: Cálculo de Eficiencia del 11 de Abril 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (MITSUBISHI)

9.5.- Cálculo de Eficiencia Después de las RRGG el 23 de Junio del 2011

Estos cálculos están hecho en el [Anexo de Cálculo de Eficiencia](#) en donde se adjuntan los análisis de Carbón entregados por PCMLab encargados por AES GENER, además los porcentajes del Carbón utilizado en ese día. También los requisitos o requisitos que tienen que cumplir estos Carbones son entregados por AES GENER Complejo Costas

9.5.1.- Resumen y Requisitos Para la Medición de la Eficiencia del 23-06-11

Datos

| | |
|-------------------------|-----------------|
| Tipo de Muestra | 100% Cerrajón D |
| Fecha de Muestreo | 23-06-2011 |
| Lugar de Muestreo | Ventanas |
| Análisis Entregados Por | PCMLab |

Tabla 39: Tipo de Muestra de Carbón para Short Run 23 de Junio 2011

Análisis Inmediato

| Análisis Inmediato | | | |
|---------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| Datos Como Recibido (cr) | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Poder Calorífico Superior | Kcal/Kg | 6.038,00 | 7094 |
| Humedad Total | % | 14,88 | 0,00 |
| Cenizas | % | 8,59 | 10,09 |
| Materia Volátil | % | 33,20 | 39,00 |
| Carbón Fijo | % | 43,33 | 50,90 |
| Azufre | % | 0,59 | 0,78 |
| Total | | 100,00 | 100,00 |
| Humedad Residual | % | 6,32 | 7,42 |
| Cloro | % | 0,00 | 0,00 |
| Flúor | % | 0,00 | 0,00 |
| HGI (Dureza) | | 54,00 | 54,00 |

Tabla 40: Resumen de Análisis Inmediato de Carbón como Recibido Para Short Run 23 de Junio 2011

Análisis elemental del Carbón

| Análisis Elemental del Carbón | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------|--------------|
| Datos Base Seca | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Carbono | % | 62,55 | 73,48 |
| Hidrogeno | % | 4,20 | 4,94 |
| Oxigeno + error | % | 7,82 | 9,19 |
| Nitrógeno | % | 1,31 | 1,54 |
| S (azufre) | % | 0,66 | 0,77 |
| Total Parcial | | 76,54 | 89,92 |
| Humedad | % | 14,88 | 0,00 |
| Ceniza | % | 8,58 | 10,08 |
| Total | | 100,00 | 100 |

Tabla 41: Resumen de Análisis Elemental de Carbón Para Short Run 23 de Junio 2011

Análisis Mineral de la Ceniza

| Datos Base Seca | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
|---|----------|--------------|--------------|
| Silicio (SiO ₂) | % | 52,74 | 61,96 |
| Aluminio (Al ₂ O ₃) | % | 17,37 | 20,41 |
| Titanio (TiO ₂) | % | 1,34 | 1,57 |
| Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃) | % | 5,69 | 6,68 |
| Calcio (CaO) | % | 1,56 | 1,83 |
| Magnesio (MgO) | % | 1,78 | 2,09 |
| Sodio (Na ₂ O) | % | 0,66 | 0,77 |
| Potasio (K ₂ O) | % | 1,77 | 2,08 |
| Fosforo (P ₂ O ₅) | % | 0,00 | 0,00 |
| Azufre (SO ₃) | % | 0,00 | 0,00 |
| Manganeso (Mn ₃ O ₄) | % | 0,00 | 0,00 |
| Total | | 82,90 | 97,39 |

Tabla 42: Resumen de Análisis Mineral de la Ceniza Para Short Run 23 de Junio 2011

Temperatura de Fusión

| Temperatura de Fusión | Unidad | Atmsf. Red |
|------------------------------|--------|-------------|
| Deformación Inicial (ID) | °C | 1228 |
| Ablandamiento (ST) | °C | 1290 |
| Hemisférica (HT) | °C | 1325 |
| Fluidez (FT) | °C | 1383 |

Tabla 43: Resumen de Temperaturas de Fusión del Carbón Para Short Run 23 de Junio 2011

Parámetros de Aceptación de Mezcla de Carbón para Caldera de Unidad II de Ventanas

Combustibilidad

| Combustibilidad | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación | Valores Ocupados |
|---------------------------------|---------|---------------|-----------------|---------------|------------------|
| Carbón Fijo/Materia Volátil | | < 2,5 | 1,31 | CUMPLE | Base Seca |
| Carbón Fijo/Hidrogeno | | < 20 | 10,30 | CUMPLE | Base Seca |
| Material Volátil (seca al Aire) | % | > 30 | 36,54 | CUMPLE | como recibido |
| Poder calorífico Superior | Kcal/Kg | 5900 - 7400 | 6.038,00 | CUMPLE | como recibido |

Tabla 44: Combustibilidad de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Clasificación de Ceniza

| Clasificación de la Ceniza | valor medido | Situación |
|---|--------------|--------------------------|
| Fe ₂ O ₃ /(CaO+MgO) | 1,70 | Ceniza Bituminosa |

Tabla 45: Clasificación de Ceniza en la Mezcla de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Criterio: Si Valor medido es > 1 es Bituminosa de lo contrario Lignítica. Ocupando valores de Base Seca (bs)

Índice de Hardgrove

| Índice de Hardgrove | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---------------------|--------|---------------|--------------|---------------|
| HGI (Dureza) | | > 45 | 54,00 | CUMPLE |

Tabla 46: Índice de Hardgrove de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Potencial de Escoramiento (Slagging). Valores medidos en Base Seca

| Potencial de Escoramiento (Slagging) | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|--|---------|-----------------|----------------|------------------|
| ST Atmosf. Reduc. | °C | > 1370 | 1290,00 | NO CUMPLE |
| FT - ID Atmosf. Reduc. | °C | > 100 | 155,00 | CUMPLE |
| Razón Ceniza/Pcs | Kg/Gcal | < 25 | 14,23 | CUMPLE |
| Razón Base / Ácido | | < 0,5 | 0,16 | CUMPLE |
| Fe2O3 b.s. en la ceniza | % | < 15 | 6,68 | CUMPLE |
| Razón Férrica/Dolomita | | < 0,3 y > 3 | 1,70 | CUMPLE |
| Dolomita (CaO+MgO)/(Fe2O3+CaO+MgO+Na2O+K2O) | % | < 60 | 0,29 | CUMPLE |
| Razón Sílice/Alúmina | | < 2,8 | 3,04 | NO CUMPLE |
| Silicio | % | < 2 | 0,78 | CUMPLE |
| Porcentaje Silicio (SiO2)/(SiO2+Fe2O3+CaO+MgO) | % | >78 | 85,39 | CUMPLE |
| Índice de Escoramiento B/A*%S | | < 0,6 | 0,12 | BAJO |

Tabla 47: Potencial de Escoramiento Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Potencial de Ensuciamiento (Fouling)

| Potencial de ensuciamiento (Fouling) | Unidad | Requerimiento | Valor medido | Situación |
|---|--------|-----------------|--------------|---------------|
| Na2O+K2O b.s. en la ceniza | % | < 3 | 2,85 | CUMPLE |
| Na2O b.s. en la ceniza | % | < 2 | 0,77 | CUMPLE |
| CaO .b .s. en la ceniza | % | < 20 | 1,83 | CUMPLE |
| Cloro | % | < 0,3 | 0,00 | CUMPLE |
| Índice de ensuciamiento B/Ax%Na2O | | < 0,2 | 0,12 | BAJO |

Tabla 48: Potencial de Ensuciamiento de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Potencial de Erosión

| Potencial de Erosión | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---|---------|---------------|--------------|---------------|
| (SiO ₂ - Al ₂ O ₃) * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 10 | 5,91 | CUMPLE |
| AL ₂ O ₃ * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 8 | 2,90 | CUMPLE |
| (SiO ₂ + 1.5 * Al ₂ O ₃) * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 18 | 13,17 | CUMPLE |

Tabla 49: Potencial de Erosión de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Colectividad de Partículas (P.P.E.E)

| Colectividad de partículas (P.P.E.E.) | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---------------------------------------|--------|---------------|--------------|---------------|
| Na ₂ O | % | > 0,1 | 0,77 | CUMPLE |
| K ₂ O | % | > 0,1 | 2,08 | CUMPLE |

Tabla 50: Colectividad de Partículas (P.P.E.E) de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Factores que Aumentan el Rendimiento de los (P.P.E.E)

| Factores que aumentan el rendimiento de los P.P.E.E: | | | |
|--|--------|--------------|---------------------------|
| | Unidad | Valor Medido | |
| SO ₃ | % | 0,00 | |
| Na ₂ O | % | 0,77 | |
| K ₂ O | % | 2,08 | |
| Fe ₂ O ₃ | % | 6,68 | Situación |
| Total | % | 9,53 | EMISIONES VISIBLES |

Tabla 51: Factores que Aumentan el Rendimiento de los Partículas (P.P.E.E) de Carbón Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Potencial de Corrosión

| Potencial de corrosión | | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|-------------------------------|----|--------|---------------|--------------|---------------|
| Cloro | CL | % | < 0,25 | 0,00 | CUMPLE |
| Flúor | F | % | < 0,25 | 0,00 | CUMPLE |
| Azufre | S | % | < 3 | 0,78 | CUMPLE |

Tabla 52: Potencial de Corrosión de Carbón Utilizado para Short Run 23 de junio 2011

9.5.2.- Cálculos de Eficiencia Según ASME PTC 4.1 del 23-06-11

➤ Cálculos y Resultados para la Eficiencia según El ASME PTC 4.1 Caldera Unidad II

| (1)(Cálculos de Combustión) | | | |
|---|---|----------|--------------------|
| Carga | Fórmulas para Cálculos | Unidades | Datos y Resultados |
| Temperatura Ambiente | t0 | °C | 16,00 |
| Presión Atmosférica | P atm | mmHg | 760,20 |
| Humedad Absoluta | $WmA = (0,622 * \Phi * Ps * 10^{-2}) / (P \text{ atm} - \Phi * Ps * 10^{-2})$ | Kg/Kg | 0,00 |
| Combustible | | | |
| Composición | | | |
| Carbón | C | wt% | 62,55 |
| Hidrogeno | H | wt% | 4,20 |
| Azufre | S | wt% | 0,66 |
| Nitrógeno | N | wt% | 1,31 |
| Oxigeno | O | wt% | 7,82 |
| Cenizas | A | wt% | 8,58 |
| Agua | W | wt% | 14,88 |
| Total | | wt% | 100,00 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible HHV | Hf | Kcal/Kg | 6.038,00 |
| HGI | | | 54,00 |
| fineza, malla 200 | | % | 69,23 |
| Carbón no Quemado en la Ceniza de Fondo | UcBash (valor de análisis) | wt% | 13,55 |
| Carbón no Quemado en Bajo Residuo Seco Total | $0,25 * UcBash$ | % | 3,39 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-1 | UcFash1 (valor de análisis) | % | 7,13 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-2 | UcFash2 (valor de análisis) | % | 7,57 |
| Carbón no quemado en Ceniza Volante (Total) | $TUcFash = (0,8 * UcFash1) + (0,2 * UcFash2)$ | % | 7,22 |

| | | | |
|--|-------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Carbón no Quemado en la Basura Seca Total | $U=(0,25*UcBash+0,75*TUcFash)$ | wt% | 8,80 |
| Perdida de Calor Debido al Carbón No Quemado | $Luc=8100*U/(100-U)*a/100*100/Hf$ | % | 1,11 |
| Perdida de Calor Debido al CO | $Lco=CO/(CO2+CO)*5644*C/100*100/Hf$ | % | 0,00 |
| Perdida de Calor Debido al Carbón No Quemado Total | $L6= Luc +Lco$ | % | 1,11 |
| Perdida de Combustible Solido | $Sc=L6*Hf/8100$ | % | 0,83 |
| Efecto del Combustible No Quemado | $Cf=1-Sc/100$ | % | 0,99 |
| Producto en el Combustible | $F=(100-a-Sc)/Hf*10^4$ | Kg/Gcal | 150,04 |
| Aire Seco Teórico | $Aod=34,48*(C/3+H+(S-O)/8)*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 1.379,53 |
| Aire Seco Teórico Corregido | $WA'=Cf*Aod$ | Kg/Gcal | 1.368,11 |
| Aire Húmedo Teórico Corregido | $Waw=WA'*(1+WmA)$ | Kg/Gcal | 1.370,88 |
| Humedad en el Combustible | $mc=W*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 24,64 |
| Humedad del Hidrogeno | $mh=8,936*H*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 62,23 |
| Humedad en el Combustible (Total) | $mf= mc + mh$ | Kg/Gcal | 86,88 |
| Exceso de Aire a la Salida del Economizador | $Ax= (Orzat \& \text{Calcur. (5)})$ | % | 1,44 |
| Aire de Combustión | $WA=Ax*Waw$ | Kg/Gcal | 1.976,32 |
| producto de combustión | $P=WA+F$ | Kg/Gcal | 2.126,36 |
| Humedad en el Aire | $mA=WmA*WA*Ax$ | Kg/Gcal | 5,77 |
| Humedad Total | $m=mf + mA$ | Kg/Gcal | 92,65 |
| Gas Seco | $Wg=P-m$ | Kg/Gcal | 2.033,71 |
| % EP | EP eff= Especial test | % | 99,90 |
| (2)(Absorción de Calor en la Caldera) | | | |
| Flujo de Vapor Principal | WSH | Kg/h | 569.000,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | PSH | Kg/cm ² | 138,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | TSH | °C | 534,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del | hSH (tabla de vapor) | Kcal/kg | 816,81 |

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Sobrecalentador | | | |
| Presión de Vapor en el Domo | PD | Kg/cm ² | 159,00 |
| Temperatura de Saturación (Domo) | TD | °C | 341,36 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | hD | Kcal/kg | 382,34 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | PW | Kg/cm ² | 192,62 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | TW | °C | 170,46 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | hW (tabla de vapor) | Kcal/kg | 174,54 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Psp | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | Tsp | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | hsp (tabla de vapor) | Kcal/kg | 174,50 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Wb | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Wsp | Kg/h | 3.960,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | WRh | Kg/h | 495.340,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | PRHo | Kg/cm ² | 28,27 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | TRHo | °C | 520,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | hRHo (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 836,74 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | PRHi | Kg/cm ² | 31,49 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | TRHi | °C | 338,45 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | hRHi (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 736,31 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Wrp | Kg/h | 16.360,00 |

| | | | |
|--|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Prp | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Trp | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | hrp (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 172,60 |
| Absorción de Calor en el Vapor Principal | QSH=WSH*(hSH-hW) | Kcal/h | 365.451.630,00 |
| Absorción de Calor en la Purga | Qb=Wb*(hD-hW) | Kcal/h | 0,00 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Qsp=Wsp*(hW-hsp) | Kcal/h | 158,40 |
| Absorción de Calor en el Vapor Recalentado | QRH=WRh*(hRHo-hRHi) | Kcal/h | 49.746.996,20 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Recalentador | Qrp=Wrp*(hRHi-hrp) | Kcal/h | 10.865.330,40 |
| Total de Calor Absorbido | QT = QSH + Qb + Qsp + QRH + Qrp | Kcal/h | 426.064.115,00 |
| (3)(Calculo de la Eficiencia de la Caldera) | | | |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | tg' | °C | 122,50 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | cpg' | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | Ax' | | 1,88 |
| Flujo de Gas a la Salida de AH | Wg'=Ax'*Waw+F | Kg/Gcal | 2.729,14 |
| Calor del Gas a la Salida del AH | Qg'=Wg'*cpg'*tg' | | 79.902,25 |
| Temperatura de Referencia | tRA | °C | 16,00 |
| Temperatura del Aire a la Salida del SAH | tA | °C | 225,55 |
| Calor Especifico del Aire de Combustión | cpA | Kcal/Kg *°C | 0,25 |
| Fugas en el Flujo de Aire en el AH | W1=(Ax'-Ax)*Waw | Kg/Gcal | 602,78 |
| Fugas de Calor en el Aire en el AH | Q1=W1*cpA*tA | | 34.532,96 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Cpgw | Kcal/Kg | 0,24 |

| | | | |
|---|--|-------------|-----------------|
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (un corr.) | $t_g = (Q_g' - Q_1) / (p \cdot c_{pgw})$ | °C | 89,27 |
| Temperatura del Gas a la Entrada del Calentador de Aire | t14 (No.91) | °C | 303,84 |
| Porcentaje de Fugas en el Calentador de Aire | $\% \text{fugas} = (\% \text{Co}_2 \text{ gas entrada} - \% \text{gas salida}) / \% \text{gas salida}$ | | 30,05 |
| créditos de calor | | | |
| Aire Seco | $W_A'' = A_x' \cdot W_A'$ | Kg/Gcal | 2.573,89 |
| Calor Especifico del Aire Seco | cpA= (de figura 3) | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Créditos de Calor de Aire Seco | $B_{ae}/H_f = W_A \cdot c_{pA} \cdot (t_A - t_{RA}) / 10^6$ | | 0,11 |
| Calor Especifico del Vapor | Cps | Kcal/Kg *°C | 0,45 |
| Créditos de Calor en la Humedad del Aire | $B_{mAe}/H_f = m_A \cdot c_{ps} \cdot (t_A - t_{RA}) / 10^6$ | | 0,00 |
| Entalpía de Vapor Saturado | hRv | Kcal/kg | 652,00 |
| Total de Créditos de Calor | $B/H_f = B_{ae}/H_f + B_{mAe}/H_f$ | | 0,11 |
| Perdida de Calor | | | |
| Calor Especifico del Gas Seco | Cpgd | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Entalpia de Vapor en tg y pg | h= tabla de vapor | Kcal/Kg | 652,00 |
| Entalpia de Liquido Saturado | hRw | Kcal/Kg | 16,00 |
| Perdida Debido a Gas Seco | $L_1 = W_g \cdot c_{pgd} \cdot (t_g - t_{RA}) / 10^4 / (1 + B/H_f)$ | % | 3,28 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | L2(D) | % | 1,57 |
| Perdida Debido al Agua por la Combustión del Hidrogeno | $L_3 = m_h \cdot (h - h_{Rw}) / 10^4 / (1 + B/H_f)$ | % | 4,43 |
| Perdida Debido al Combustible No Quemado | L6 | % | 1,11 |
| Perdidas Debido a la Radiación | L7=(de Carta ABMA) | % | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | L8 | % | 0,18 |
| Pérdidas Totales de Calor | $L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8$ | % | 10,76 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | $n = 100 - L$ | % | 89,24 |

| | | | |
|---|--|--------|--------------------------|
| Calor Total de entrada | $Ql=QT*100/n$ | Kcal/h | 477.427.638,98 |
| Entrada de Calor por Combustible | $Qf=Ql/(1+B/Hf)$ | Kcal/h | 431.764.093,78 |
| Consumo de Combustible | $Wfe=Qf/Hf*10^6$ | kg/h | 71.507.799.565,44 |
| (5) exceso de Aire | | | |
| CO2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO2 | vol% | 13,05 |
| CO en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | O2 | vol% | 2,15 |
| N2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | N2 | vol% | 84,80 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 10,00 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,65 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,35 |
| máximo de CO2 | $\max CO2=(1,87*C+0,7*S)*100/(8,89*C+21,1*(H-O/8)+3,33*S+0,8*N)*100$ | vol% | 18,81 |
| exceso de Aire en la entrada del AH | $Ax=\max CO2/CO2$ | % | 1,44 |
| exceso de Aire en la salida del AH | $Ax'=\max CO2/CO2'$ | % | 1,88 |
| fuel C/H | | % | 14,87 |

Tabla 53: Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mediante el ASME PTC 4.1

➤ Cálculos y Resultados para la Eficiencia según El ASME PTC 4.1 Caldera Unidad II

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | PSH | Kg/cm ² | 138,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | TSH | °C | 534,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | hSH (tabla de vapor) | Kcal/kg | 816,81 |
| Presión de Vapor en el Domo | PD | Kg/cm ² | 159,00 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | hD | Kcal/kg | 382,34 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | PW | Kg/cm ² | 192,62 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | TW | °C | 170,46 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | hW (tabla de vapor) | Kcal/kg | 174,54 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Psp | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | Tsp | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | hsp (tabla de vapor) | Kcal/kg | 174,50 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | PRHo | Kg/cm ² | 28,27 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | TRHo | °C | 520,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | hRHo (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 836,74 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | PRHi | Kg/cm ² | 31,49 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | TRHi | °C | 338,45 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | hRHi (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 736,31 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Prp | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Trp | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | hrp (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 172,60 |
| Flujo de Vapor Principal | WSH | Kg/h | 569.000,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Wsp | Kg/h | 3.960,00 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Wb | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | WRh | Kg/h | 495.340,00 |

| | | | |
|--|-----------------------------|---------|-----------------------|
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Wrp | Kg/h | 16.360,00 |
| Absorción de Calor en el Vapor Principal | $QSH=WSH*(hSH-hW)$ | Kcal/h | 365.451.630,00 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | $Qsp=Wsp*(hW-hsp)$ | Kcal/h | 158,40 |
| Absorción de Calor en la Purga | $Qb=Wb*(hD-hW)$ | Kcal/h | 0,00 |
| Absorción de Calor en el Vapor Recalentado | $QRH=WRh*(hRHo-hRHl)$ | Kcal/h | 49.746.996,20 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Recalentador | $Qrp=Wrp*(hRHo-hrp)$ | Kcal/h | 10.865.330,40 |
| Total de Calor Absorbido | $QT=QSH +Qb +Qsp +QRH +Qrp$ | Kcal/h | 426.064.115,00 |
| Temperatura Ambiente | t0 | °C | 16,00 |
| Carbón | C | wt% | 62,55 |
| Hidrogeno | H | wt% | 4,20 |
| Azufre | S | wt% | 0,66 |
| Nitrógeno | N | wt% | 1,31 |
| Oxigeno | O | wt% | 7,82 |
| Cenizas | A | wt% | 8,58 |
| Agua | W | wt% | 14,88 |
| Total | | wt% | 100,00 |
| fuel C/H | | | 14,87 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible HHV | Hf | Kcal/Kg | 6.038,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,65 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 10,00 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,35 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | Ax' | | 42,34 |
| Gases Secos de Combustión | | Kg/Kg | 15,63 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | tg' | °C | 122,50 |

| | | | |
|--|-------|-------------------------|-------------------------|
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | cpg' | Kcal/Kg°C | 0,24 |
| Perdidas de Calor Debido al Gas Seco | | Kcal/Kg | 397,78 |
| Perdida Debido a Gas Seco | | % | 6,59 |
| Entalpía de Vapor Saturado | hRv | Kcal/kg | 652,00 |
| Entalpía de Liquido Saturado | hRw | Kcal/Kg | 16,00 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | | Kcal/Kg | 94,64 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | L2(D) | % | 1,57 |
| Perdida de Calor Debido al Hidrogeno en el Combustible | | Kcal/Kg | 240,69 |
| Perdida Debido al Agua por la Combustión del Hidrogeno | | % | 3,99 |
| Perdidas debido al Combustible No Quemado | | | 1,11 |
| máximo contenido de salida | | 10 ⁴ *Kcal/h | 253,00 |
| máximo contenido de salida | | 10 ⁴ *Btu/h | 1.003,90 |
| actual de salida | | 10 ⁴ *Btu/h | 1.690.622.408,32 |
| Perdidas por Radiación | | % | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | | | 0,18 |
| Perdidas | | | 13,62 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | | | 86,38 |

Tabla 54: Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (MITSUBISHI)

9.5.3.- Resumen y Requisitos Para la Medición de la Eficiencia del 23-06-11

Análisis del Carbón Cargado a Silo

Datos

| | |
|-------------------------|-----------------|
| Tipo de Muestra | 100% Cerrajón D |
| Fecha de Muestreo | 23-06-2011 |
| Lugar de Muestreo | Ventanas |
| Análisis Entregados Por | PCMLab |

Tabla 55: Tipo de Muestra de Carbón Cargado a Silo para Short Run 23 de Junio 2011

Análisis Inmediato

| Análisis Inmediato | | | |
|---------------------------------|----------|-----------------|---------------|
| Datos Como Recibido (cr) | | | |
| Datos como recibido | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Poder Calorífico Superior | Kcal/Kg | 6.038,00 | 7143 |
| Humedad Total | % | 15,47 | 0,00 |
| Cenizas | % | 8,42 | 9,96 |
| Materia Volátil | % | 32,78 | 38,78 |
| Carbón Fijo | % | 43,33 | 51,26 |
| Azufre | % | 0,59 | 0,69 |
| Total | | 100,00 | 100,00 |
| Humedad Residual | % | 6,02 | 7,12 |
| Cloro | % | 0,00 | 0,00 |
| Flúor | % | 0,00 | 0,00 |
| HGI (Dureza) | | 54,00 | 54,00 |
| Beta | | - | - |

Tabla 56: Resumen de Análisis Inmediato de Carbón como Recibido Cargado a Silo Para Short Run 23 de Junio 2011

Análisis elemental del Carbón

| Análisis Elemental del Carbón | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------|--------------|
| Datos Base Seca | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Carbono | % | 61,92 | 73,25 |
| Hidrogeno | % | 4,20 | 4,97 |
| Oxigeno + error | % | 8,19 | 9,69 |
| Nitrógeno | % | 1,22 | 1,44 |
| S (azufre) | % | 0,58 | 0,69 |
| Total Parcial | | 76,11 | 90,04 |
| Humedad | % | 15,47 | 0,00 |
| Ceniza | % | 8,42 | 9,96 |
| Total | | 100,00 | 100 |

Tabla 57: Resumen de Análisis Elemental de Carbón Cargado a Silo Para Short Run 23 de Junio 2011

Análisis Mineral de la Ceniza

| Datos Base Seca | Unidades | Ponderado cr | Ponderado bs |
|---|----------|--------------|--------------|
| Silicio (SiO ₂) | % | 48,27 | 57,10 |
| Aluminio (Al ₂ O ₃) | % | 17,58 | 20,80 |
| Titanio (TiO ₂) | % | 1,27 | 1,50 |
| Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃) | % | 5,97 | 7,06 |
| Calcio (CaO) | % | 0,87 | 1,03 |
| Magnesio (MgO) | % | 1,52 | 1,80 |
| Sodio (Na ₂ O) | % | 0,54 | 0,64 |
| Potasio (K ₂ O) | % | 2,01 | 2,38 |
| Fosforo (P ₂ O ₅) | % | 0,00 | 0,00 |
| Azufre (SO ₃) | % | 0,00 | 0,00 |
| Manganeso (Mn ₃ O ₄) | % | 0,00 | 0,00 |
| Total | | 78,03 | 92,31 |

Tabla 58: Resumen de Análisis Mineral de la Ceniza Cargada a Silo Para Short Run 23 de Junio 2011

Temperatura de Fusión

| Temperatura de Fusión | Unidad | Atmsf. Red |
|------------------------------|--------|-------------|
| Deformación Inicial (ID) | °C | 1230 |
| Ablandamiento (ST) | °C | 1290 |
| Hemisférica (HT) | °C | 1348 |
| Fluidez (FT) | °C | 1385 |

Tabla 59: Resumen de Temperaturas de Fusión del Carbón Cargada a Silo Para Short Run 23 de Junio 2011

Parámetros de Aceptación de Mezcla de Carbón para Caldera de Unidad II de Ventanas

Combustibilidad

| Combustibilidad | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación | Valores Ocupados |
|---------------------------------|---------|---------------|-----------------|---------------|------------------|
| Carbón Fijo/Materia Volátil | | < 2,5 | 1,32 | CUMPLE | Base Seca |
| Carbón Fijo/Hidrogeno | | < 20 | 10,31 | CUMPLE | Base Seca |
| Material Volátil (seca al Aire) | % | > 30 | 36,44 | CUMPLE | como recibido |
| Poder calorífico Superior | Kcal/Kg | 5900 - 7400 | 6.038,00 | CUMPLE | como recibido |

Tabla 60: Combustibilidad de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Clasificación de Ceniza

| Clasificación de la Ceniza | valor medido | Situación |
|---|--------------|--------------------------|
| Fe ₂ O ₃ /(CaO+MgO) | 2,49 | Ceniza Bituminosa |

Tabla 61: Clasificación de Ceniza de Muestra de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Criterio: Si Valor medido es > 1 es Bituminosa de lo contrario Lignítica. Ocupando valores de Base Seca (bs)

Índice de Hardgrove

| Índice de Hardgrove | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|----------------------------|--------|---------------|--------------|---------------|
| HGI (Dureza) | | > 45 | 54,00 | CUMPLE |

Tabla 62: Índice de Hardgrove de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Potencial de Escoramiento (Slagging). Valores medidos en Base Seca

| Potencial de Escoramiento (Slagging) | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---|---------|-----------------|----------------|------------------|
| ST Atmosf. Reduc. | °C | > 1370 | 1290,00 | NO CUMPLE |
| FT - ID Atmosf. Reduc. | °C | > 100 | 155,00 | CUMPLE |
| Razón Ceniza/Pcs | Kg/Gcal | < 25 | 13,95 | CUMPLE |
| Razón Base / Ácido | | < 0,5 | 0,16 | CUMPLE |
| Fe ₂ O ₃ b.s. en la ceniza | % | < 15 | 7,06 | CUMPLE |
| Razón Férrica/Dolomita | | < 0,3 y > 3 | 2,49 | CUMPLE |
| Dolomita (CaO+MgO)/(Fe ₂ O ₃ +CaO+MgO+Na ₂ O+K ₂ O) | % | < 60 | 0,22 | CUMPLE |
| Razón Sílice/Alúmina | | < 2,8 | 2,75 | CUMPLE |
| Silicio | % | < 2 | 0,69 | CUMPLE |
| Porcentaje Silicio (SiO ₂ /(SiO ₂ +Fe ₂ O ₃ +CaO+MgO) | % | >78 | 85,24 | CUMPLE |
| Índice de Escoramiento B/A*%S | | < 0,6 | 0,11 | BAJO |

Tabla 63: Potencial de Escoramiento de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Potencial de Ensuciamiento (Fouling)

| Potencial de ensuciamiento (Fouling) | Unidad | Requerimiento | Valor medido | Situación |
|--|--------|-----------------|--------------|------------------|
| Na ₂ O+K ₂ O b.s. en la ceniza | % | < 3 | 3,02 | NO CUMPLE |
| Na ₂ O b.s. en la ceniza | % | < 2 | 0,64 | CUMPLE |
| CaO .b .s. en la ceniza | % | < 20 | 1,03 | CUMPLE |
| Cloro | % | < 0,3 | 0,00 | CUMPLE |
| Índice de ensuciamiento B/Ax%Na₂O | | < 0,2 | 0,10 | BAJO |

Tabla 64: Potencial de Ensuciamiento de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Potencial de Erosión

| Potencial de Erosión | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---|---------|---------------|--------------|---------------|
| (SiO ₂ - Al ₂ O ₃) * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 10 | 5,06 | CUMPLE |
| AL ₂ O ₃ * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 8 | 2,90 | CUMPLE |
| (SiO ₂ + 1.5 * Al ₂ O ₃) * Ash / Pcs | Kg/Gcal | < 18 | 12,31 | CUMPLE |

Tabla 65: Potencial de Erosión de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Colectividad de Partículas (P.P.E.E)

| Colectividad de partículas (P.P.E.E.) | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|---------------------------------------|--------|---------------|--------------|---------------|
| Na ₂ O | % | > 0,1 | 0,64 | CUMPLE |
| K ₂ O | % | > 0,1 | 2,38 | CUMPLE |

Tabla 66: Colectividad de Partículas (P.P.E.E) de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Factores que Aumentan el Rendimiento de los (P.P.E.E)

| Factores que aumentan el rendimiento de los P.P.E.E: | | | |
|--|--------|--------------|---------------------------|
| | Unidad | Valor Medido | |
| SO ₃ | % | 0,00 | |
| Na ₂ O | % | 0,64 | |
| K ₂ O | % | 2,38 | |
| Fe ₂ O ₃ | % | 7,06 | Situación |
| Total | % | 10,08 | EMISIONES VISIBLES |

Tabla 67: Factores que Aumento el Rendimiento de los (P.P.E.E) de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

Potencial de Corrosión

| Potencial de corrosión | | Unidad | Requerimiento | Valor Medido | Situación |
|-------------------------------|----|--------|---------------|--------------|---------------|
| Cloro | CL | % | < 0,25 | 0,00 | CUMPLE |
| Flúor | F | % | < 0,25 | 0,00 | CUMPLE |
| Azufre | S | % | < 3 | 0,69 | CUMPLE |

Tabla 68: Potencial de Corrosión de Carbón Cargado a Silo Utilizado para Short Run 23 de Junio 2011

9.5.4.- Cálculos de Eficiencia Según ASME PTC 4.1 del 23-06-11 Análisis del Carbón cargado a Silo

➤ Cálculos y Resultados para la Eficiencia según El ASME PTC 4.1 Caldera Unidad II

| (1)(Cálculos de Combustión) | | | |
|---|---|----------|--------------------|
| Carga | Fórmulas para Cálculos | Unidades | Datos y Resultados |
| Temperatura Ambiente | t0 | °C | 16,00 |
| Presión Atmosférica | P atm | mmHg | 760,20 |
| Humedad Absoluta | $WmA = (0,622 * \Phi * Ps * 10^{-2}) / (P \text{ atm} - \Phi * Ps * 10^{-2})$ | Kg/Kg | 0,00 |
| Combustible | | | |
| Composición | | | |
| Carbón | C | wt% | 61,92 |
| Hidrogeno | H | wt% | 4,20 |
| Azufre | S | wt% | 0,58 |
| Nitrógeno | N | wt% | 1,22 |
| Oxigeno | O | wt% | 8,19 |
| Cenizas | A | wt% | 8,42 |
| Agua | W | wt% | 15,47 |
| Total | | wt% | 100,00 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible HHV | Hf | Kcal/Kg | 6.038,00 |
| HGI | | | 54,00 |
| fineza, malla 200 | | % | 69,23 |
| Carbón no Quemado en la Ceniza de Fondo | UcBash (valor de análisis) | wt% | 13,55 |
| Carbón no Quemado en Bajo Residuo Seco Total | $0,25 * UcBash$ | % | 3,39 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-1 | UcFash1 (valor de análisis) | % | 7,13 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-2 | UcFash2 (valor de análisis) | % | 7,57 |
| Carbón no quemado en Ceniza Volante (Total) | $TUcFash = (0,8 * UcFash1) + (0,2 * UcFash2)$ | % | 7,22 |

| | | | |
|--|-------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Carbón no Quemado en la Basura Seca Total | $U=(0,25*UcBash+0,75*TUcFash)$ | wt% | 8,80 |
| Perdida de Calor Debido al Carbón No Quemado | $Luc=8100*U/(100-U)*a/100*100/Hf$ | % | 1,09 |
| Perdida de Calor Debido al CO | $Lco=CO/(CO2+CO)*5644*C/100*100/Hf$ | % | 0,00 |
| Perdida de Calor Debido al Carbón No Quemado Total | $L6= Luc +Lco$ | % | 1,09 |
| Perdida de Combustible Solido | $Sc=L6*Hf/8100$ | % | 0,81 |
| Efecto del Combustible No Quemado | $Cf=1-Sc/100$ | % | 0,99 |
| Producto en el Combustible | $F=(100-a-Sc)/Hf*10^4$ | Kg/Gcal | 150,33 |
| Aire Seco Teórico | $Aod=34,48*(C/3+H+(S-O)/8)*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 1.364,21 |
| Aire Seco Teórico Corregido | $WA'=Cf*Aod$ | Kg/Gcal | 1.353,13 |
| Aire Húmedo Teórico Corregido | $Waw=WA'*(1+WmA)$ | Kg/Gcal | 1.355,87 |
| Humedad en el Combustible | $mc=W*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 25,62 |
| Humedad del Hidrogeno | $mh=8,936*H*10^4/Hf$ | Kg/Gcal | 62,23 |
| Humedad en el Combustible (Total) | $mf= mc + mh$ | Kg/Gcal | 87,80 |
| Exceso de Aire a la Salida del Economizador | $Ax= (Orzat \& \text{Calcur. (5)})$ | % | 1,44 |
| Aire de Combustión | $WA=Ax*Waw$ | Kg/Gcal | 1.955,08 |
| producto de combustión | $P=WA+F$ | Kg/Gcal | 2.105,41 |
| Humedad en el Aire | $mA=WmA*WA*Ax$ | Kg/Gcal | 5,71 |
| Humedad Total | $m=mf + mA$ | Kg/Gcal | 93,51 |
| Gas Seco | $Wg=P-m$ | Kg/Gcal | 2.011,90 |
| % EP | EP eff= Especial test | % | 99,90 |
| (2)(Absorción de Calor en la Caldera) | | | |
| Flujo de Vapor Principal | WSH | Kg/h | 569.000,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | PSH | Kg/cm ² | 138,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | TSH | °C | 534,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del | hSH (tabla de vapor) | Kcal/kg | 816,81 |

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Sobrecalentador | | | |
| Presión de Vapor en el Domo | PD | Kg/cm ² | 159,00 |
| Temperatura de Saturación (Domo) | TD | °C | 341,36 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | hD | Kcal/kg | 382,34 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | PW | Kg/cm ² | 192,62 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | TW | °C | 170,46 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | hW (tabla de vapor) | Kcal/kg | 174,54 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Psp | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | Tsp | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | hsp (tabla de vapor) | Kcal/kg | 174,50 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Wb | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Wsp | Kg/h | 3.960,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | WRh | Kg/h | 495.340,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | PRHo | Kg/cm ² | 28,27 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | TRHo | °C | 520,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | hRHo (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 836,74 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | PRHi | Kg/cm ² | 31,49 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | TRHi | °C | 338,45 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | hRHi (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 736,31 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Wrp | Kg/h | 16.360,00 |

| | | | |
|--|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Prp | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Trp | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | hrp (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 172,60 |
| Absorción de Calor en el Vapor Principal | QSH=WSH*(hSH-hW) | Kcal/h | 365.451.630,00 |
| Absorción de Calor en la Purga | Qb=Wb*(hD-hW) | Kcal/h | 0,00 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Qsp=Wsp*(hW-hsp) | Kcal/h | 158,40 |
| Absorción de Calor en el Vapor Recalentado | QRH=WRh*(hRHo-hRHi) | Kcal/h | 49.746.996,20 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Recalentador | Qrp=Wrp*(hRHi-hrp) | Kcal/h | 10.865.330,40 |
| Total de Calor Absorbido | QT = QSH + Qb + Qsp + QRH + Qrp | Kcal/h | 426.064.115,00 |
| (3)(Calculo de la Eficiencia de la Caldera) | | | |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | tg' | °C | 122,50 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | cpg' | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | Ax' | | 1,88 |
| Flujo de Gas a la Salida de AH | Wg'=Ax'*Waw+F | Kg/Gcal | 2.701,71 |
| Calor del Gas a la Salida del AH | Qg'=Wg'*cpg'*tg' | | 79.902,25 |
| Temperatura de Referencia | tRA | °C | 16,00 |
| Temperatura del Aire a la Salida del SAH | tA | °C | 225,55 |
| Calor Especifico del Aire de Combustión | cpA | Kcal/Kg *°C | 0,25 |
| Fugas en el Flujo de Aire en el AH | W1=(Ax'-Ax)*Waw | Kg/Gcal | 596,30 |
| Fugas de Calor en el Aire en el AH | Q1=W1*cpA*tA | | 34.161,81 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Cpgw | Kcal/Kg | 0,24 |

| | | | |
|---|--|-------------|-----------------|
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (un corr.) | $t_g = (Q_g' - Q_1) / (p \cdot c_{pgw})$ | °C | 89,30 |
| Temperatura del Gas a la Entrada del Calentador de Aire | t14 (No.91) | °C | 303,84 |
| Porcentaje de Fugas en el Calentador de Aire | $\% \text{fugas} = (\% \text{Co}_2 \text{ gas entrada} - \% \text{gas salida}) / \% \text{gas salida}$ | | 30,50 |
| créditos de calor | | | |
| Aire Seco | $W_A'' = A_x' \cdot W_A'$ | Kg/Gcal | 2.546,22 |
| Calor Especifico del Aire Seco | cpA= (de figura 3) | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Créditos de Calor de Aire Seco | $B_{ae}/H_f = W_A \cdot c_{pA} \cdot (t_A - t_{RA}) / 10^6$ | | 0,10 |
| Calor Especifico del Vapor | Cps | Kcal/Kg *°C | 0,45 |
| Créditos de Calor en la Humedad del Aire | $B_{mAe}/H_f = m_A \cdot c_{ps} \cdot (t_A - t_{RA}) / 10^6$ | | 0,00 |
| Entalpía de Vapor Saturado | hRv | Kcal/kg | 652,00 |
| Total de Créditos de Calor | $B/H_f = B_{ae}/H_f + B_{mAe}/H_f$ | | 0,10 |
| Perdida de Calor | | | |
| Calor Especifico del Gas Seco | Cpgd | Kcal/Kg *°C | 0,24 |
| Entalpia de Vapor en tg y pg | h= tabla de vapor | Kcal/Kg | 652,00 |
| Entalpia de Liquido Saturado | hRw | Kcal/Kg | 16,00 |
| Perdida Debido a Gas Seco | $L_1 = W_g \cdot c_{pgd} \cdot (t_g - t_{RA}) / 10^4 / (1 + B/H_f)$ | % | 3,25 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | L2(D) | % | 1,63 |
| Perdida Debido al Agua por la Combustión del Hidrogeno | $L_3 = m_h \cdot (h - h_{Rw}) / 10^4 / (1 + B/H_f)$ | % | 4,42 |
| Perdida Debido al Combustible No Quemado | L6 | % | 1,09 |
| Perdidas Debido a la Radiación | L7=(de Carta ABMA) | % | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | L8 | % | 0,18 |
| Pérdidas Totales de Calor | $L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8$ | % | 10,76 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | $n = 100 - L$ | % | 89,24 |

| | | | |
|---|--|--------|-------------------------------|
| Calor Total de entrada | $Ql=QT*100/n$ | Kcal/h | 477.433.923, 79 |
| Entrada de Calor por Combustible | $Qf=Ql/(1+B/Hf)$ | Kcal/h | 432.213.843, 57 |
| Consumo de Combustible | $Wfe=Qf/Hf*10^6$ | kg/h | 71.582.286.1 15,52 |
| (5) exceso de Aire | | | |
| CO2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO2 | vol% | 13,05 |
| CO en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | O2 | vol% | 2,15 |
| N2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | N2 | vol% | 84,80 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 10,00 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,65 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,35 |
| máximo de CO2 | $\max CO2=(1,87*C+0,7*S)*100/(8,89*C+21,1*(H-O/8)+3,33*S+0,8*N)*100$ | vol% | 18,81 |
| exceso de Aire en la entrada del AH | $Ax=\max CO2/CO2$ | % | 1,44 |
| exceso de Aire en la salida del AH | $Ax'=\max CO2/CO2'$ | % | 1,88 |
| fuel C/H | | % | 14,87 |

Tabla 69: Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (Medición del Carbón Cargado a Silo)

➤ Cálculos y Resultados para la Eficiencia según El ASME PTC 4.1 Caldera Unidad II

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | PSH | Kg/cm ² | 138,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | TSH | °C | 534,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | hSH (tabla de vapor) | Kcal/kg | 816,81 |
| Presión de Vapor en el Domo | PD | Kg/cm ² | 159,00 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | hD | Kcal/kg | 382,34 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | PW | Kg/cm ² | 192,62 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | TW | °C | 170,46 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | hW (tabla de vapor) | Kcal/kg | 174,54 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Psp | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | Tsp | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | hsp (tabla de vapor) | Kcal/kg | 174,50 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | PRHo | Kg/cm ² | 28,27 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | TRHo | °C | 520,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | hRHo (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 836,74 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | PRHi | Kg/cm ² | 31,49 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | TRHi | °C | 338,45 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | hRHi (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 736,31 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Prp | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Trp | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | hrp (tabla de vapor) | Kcal/Kg | 172,60 |
| Flujo de Vapor Principal | WSH | Kg/h | 569.000,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Wsp | Kg/h | 3.960,00 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Wb | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | WRh | Kg/h | 495.340,00 |

| | | | |
|--|-----------------------------|---------|-----------------------|
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Wrp | Kg/h | 16.360,00 |
| Absorción de Calor en el Vapor Principal | $QSH=WSH*(hSH-hW)$ | Kcal/h | 365.451.630,00 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | $Qsp=Wsp*(hW-hsp)$ | Kcal/h | 158,40 |
| Absorción de Calor en la Purga | $Qb=Wb*(hD-hW)$ | Kcal/h | 0,00 |
| Absorción de Calor en el Vapor Recalentado | $QRH=WRh*(hRHo-hRHl)$ | Kcal/h | 49.746.996,20 |
| Absorción de Calor en el Atempador (Spray) del Recalentador | $Qrp=Wrp*(hRHo-hrp)$ | Kcal/h | 10.865.330,40 |
| Total de Calor Absorbido | $QT=QSH +Qb +Qsp +QRH +Qrp$ | Kcal/h | 426.064.115,00 |
| Temperatura Ambiente | t0 | °C | 16,00 |
| Carbón | C | wt% | 61,92 |
| Hidrogeno | H | wt% | 4,20 |
| Azufre | S | wt% | 0,58 |
| Nitrógeno | N | wt% | 1,22 |
| Oxigeno | O | wt% | 8,19 |
| Cenizas | A | wt% | 8,42 |
| Agua | W | wt% | 15,47 |
| Total | | wt% | 100,00 |
| fuel C/H | | | 14,74 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible HHV | Hf | Kcal/Kg | 6.038,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,65 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 10,00 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,35 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | Ax' | | 42,34 |
| Gases Secos de Combustión | | Kg/Kg | 15,46 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | tg' | °C | 122,50 |

| | | | |
|--|-------|-------------------------|-------------------------|
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | cpg' | Kcal/Kg°C | 0,24 |
| Perdidas de Calor Debido al Gas Seco | | Kcal/Kg | 393,63 |
| Perdida Debido a Gas Seco | | % | 6,52 |
| Entalpía de Vapor Saturado | hRv | Kcal/kg | 652,00 |
| Entalpía de Liquido Saturado | hRw | Kcal/Kg | 16,00 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | | Kcal/Kg | 98,39 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | L2(D) | % | 1,63 |
| Perdida de Calor Debido al Hidrogeno en el Combustible | | Kcal/Kg | 240,47 |
| Perdida Debido al Agua por la Combustión del Hidrogeno | | % | 3,98 |
| Perdidas debido al Combustible No Quemado | | | 1,09 |
| máximo contenido de salida | | 10 ⁴ *Kcal/h | 253,00 |
| máximo contenido de salida | | 10 ⁴ *Btu/h | 1.003,90 |
| actual de salida | | 10 ⁴ *Btu/h | 1.690.622.408,32 |
| Perdidas por Radiación | | % | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | | | 0,18 |
| Perdidas | | | 13,59 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | | | 86,41 |

Tabla 70: Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 Mediante el ASME PTC 4.1 (MITSUBISHI) Medición del Carbón Cargado a Silo

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

**Capítulo 10 “Selección de alternativas para el
mejoramiento de la Granulometría”**

10.1.- Introducción

En este Capítulo se Calculara y Analizara los datos Calculados para el Retensado en Servicio obtenidos de la Sala de Control para los 5 Pulverizadores, para posteriormente poder concluir o decidir en qué periodo se tendrá que hacer esté procedimiento para lograr una mejor granulometría del grano que en condiciones iniciales los pulverizadores parte entregando una molienda con una fineza del 70 % por malla de 200 lo cual es lo ideal. Que posteriormente que se va disminuyendo debido al desgaste de bola, cubeta, etc. Pero que en nuestro caso solamente nos centraremos a las Toneladas Molidas V/S desgaste de bola.

10.2.- Retensado en Servicio

En el año 2008-2009 se realizaron pruebas de Granulometría en el Pulverizador 2-E, en donde a este se le instalo un clasificador contratado por la firma SAS de EEUU durante el 2008. Las principales ventajas que entregaba este equipo eran las siguientes:

- Posibilidad de Regular externamente los ángulos de entrada del carbón pulverizado al sistema de Quemado sin detener el Pulverizador.
- Optimizar la Granulometría del Carbón Pulverizado de acuerdo con los parámetros establecidos por B&W

La clasificación garantizada por SAS era de un 95,5% por malla de 50 y 72% que pasaba por una malla de 200, en masa para el pesaje de Carbón Pulverizado. Por lo mencionado a fines del 2008 y principios del 2009 la firma SAS midió las Granulometría obtenidas con los nuevos Clasificadores, de lo cual los valores obtenidos fueron menores a los valores garantizados (12)

Figure 2:

Mill 2E Fineness Summary

| 12/15/2008 | | Passing 50 | Passing 100 | Passing 200 |
|---------------------------|---------|------------|-------------|-------------|
| Post rebuild Pos 8 PA 40 | Mill 2E | 99.1% | 90.8% | 60.8% |
| Post rebuild Pos 8 PA 30 | Mill 2E | 99.3% | 91.7% | 62.4% |
| Post rebuild Pos 8 PA 25 | Mill 2E | 99.4% | 91.9% | 62.8% |
| Post rebuild Pos 8 PA 20 | Mill 2E | 99.6% | 94.1% | 69.5% |
| Post rebuild Pos 10 PA 30 | Mill 2E | 99.0% | 87.4% | 58.5% |
| Post rebuild Pos 10 PA 25 | Mill 2E | 99.2% | 88.7% | 59.4% |

Fig. 53: Tabla de Granulometría Obtenidas por SAS (12)

Como se puede apreciar en la Fig. 53 la Granulometría de los Pulverizadores no cumplió con los valores garantizados y por ende la firma SAS entregó las siguientes Recomendaciones.

1. Tensión de Resortes por las especificaciones de **OEM** (119,9 mm)
2. Continúe con la ejecución del molino con el Aire Primario recomendado por SAS (Medido por SAS)
3. Instalar un Baffle en frente de la tabla lateral del alimentador para eliminar la posibilidad que entre carbón no molido a la descarga del carbón pulverizado.

2 y 3 se cumplieron, sin obtener mejoras medibles de la Granulometría y la primera recomendación no se cumplió conforme a la decisión/orientación de Central Ventanas (125mm).

Además se verificaron diversos temas, tales como:

- Instrumental de toma de muestras de carbón y metodología, estas están fuera de Norma pero se corrigió.

El procedimiento era introducir un tubo que tiene graduado puntos en que se va a tomar la muestra (5 segundos por cada punto), esta pasa a través de un separador Ciclónico hacia un depósito. La Muestra se efectúa dos veces para cada tubo de carbón ya que existen dos toberas separadas en 90° y como se puede observar en la Fig. 54 este es el nuevo instrumento de toma de muestra que está en Norma

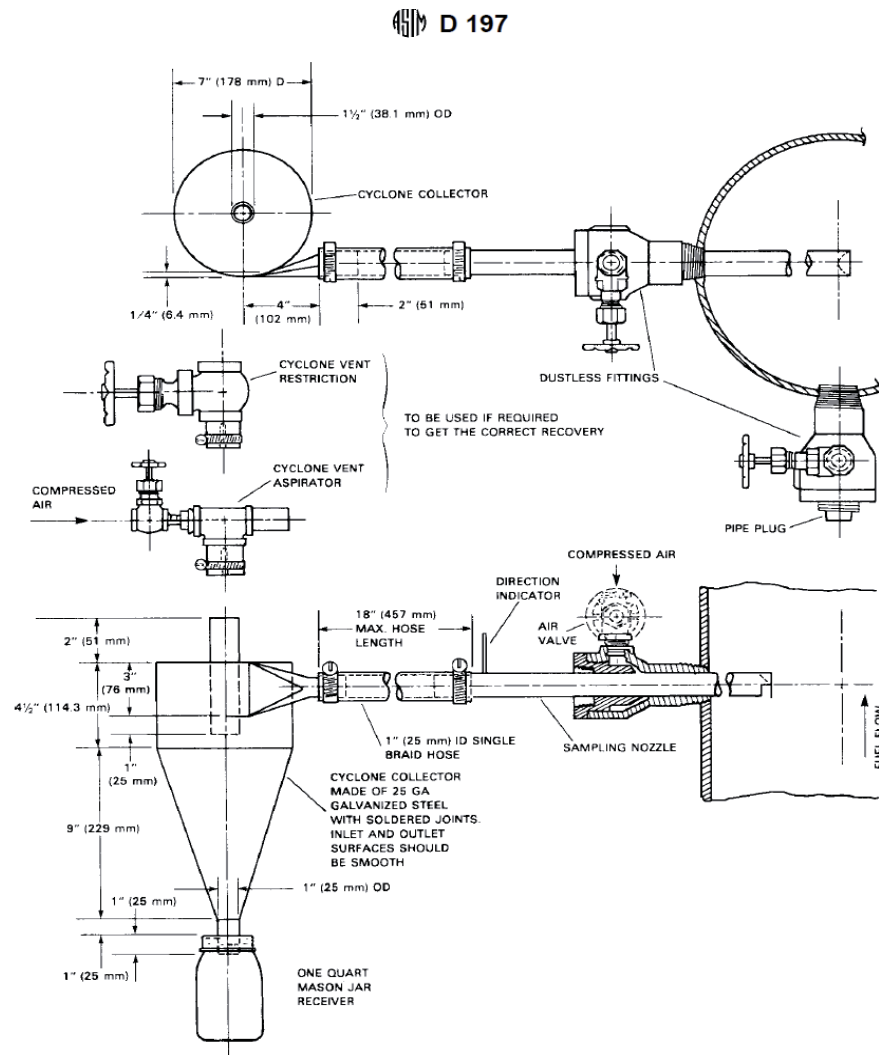


Fig. 54: Equipo de Toma de Muestra de Carbón Pulverizado (En Norma)

Una vez tomada la muestra, quiere decir 8 toma de muestras ya que son 4 tubos por cada pulverizador y dos tomas por cada tubo. La muestra es pesada y tamizada. El método usado para analizar las muestras es el especificado en la norma ASME E-11 con respecto al diseño de las mallas, las muestras obtenidas es puesta de análisis apiladas en orden a su capacidad de filtrado (50-100-200). Estas son puestas en una maquina vibratoria durante 30 minutos. La relación entre el carbón pulverizado atrapado en la malla, y el peso de este es expresada en porcentajes con respecto a la muestra total.

- La Regulación de Apriete de los resortes (cantidad 6) que se ejecuta actualmente es de 125mm conforme a las especificaciones de **OEM** debe ser de 119,9mm (4"23/32")
- Tolerancias excesivas entre diámetros de cono y Cabbage del pulverizador y ausencia de chute de caída de carbón al interior del pulverizador como se puede observar en la siguiente figura

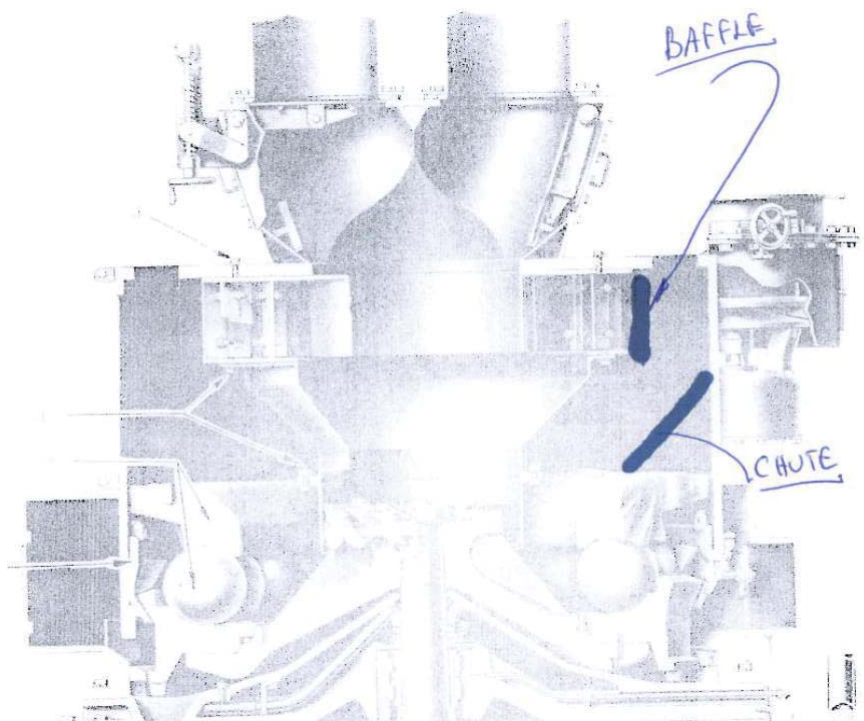


Fig. 55: Esquema de Instalación de un Baffle y un Chute en los Pulverizadores (7)

Por lo tanto OCCC, realizo medidas extraoficiales de dureza y tensión versus desplazamiento en los resorte actuales, encontrándose valore solo de 46% a lo indicado en el manual de operación del Pulverizador estos valores están demasiado bajos, lo que impiden obtener o acercarse a los valores garantizados por SAS.

| Resorte II° 1 | | | | | |
|--|--|-------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|
| | Medición de Dureza | | 30 Rc | Debiera ser entre 43 y 50 Rc. | |
| | Kg. | mm. | | valor K | |
| 1 | 100 | 12,31 | | | |
| 2 | 200 | 19,59 | | 7,28 | mm/100Kg |
| 3 | 300 | 25,79 | | 6,2 | mm/100Kg |
| 4 | 400 | 33,04 | | 7,25 | mm/100Kg |
| 5 | 500 | 40,82 | | 7,78 | mm/100Kg |
| | inicio | 13,34 | | | mm/100Kg |
| 6 | 600 | 19,55 | | 6,21 | mm/100Kg |
| 7 | 700 | 27,35 | | 7,8 | mm/100Kg |
| 8 | 800 | 34,27 | | 6,92 | mm/100Kg |
| 9 | 900 | 41,07 | | 6,8 | mm/100Kg |
| | inicio | 13,07 | | | mm/100Kg |
| 10 | 1000 | 20,84 | | 7,77 | mm/100Kg |
| 11 | 1100 | 28,91 | | 8,07 | mm/100Kg |
| 12 | 1200 | 41,05 | | 12,14 | mm/100Kg |
| | | | Suma | 84,22 | |
| | | | promedio | 7,66 | mm/100Kg |
| | | | | 84,22 | |
| 12 | Distancia entre centros de espiras | | | 51 mm. | |
| Resorte II° 2 | | | | | |
| 1 | 100 | 16,03 | | 6,89 | mm/100Kg |
| 2 | 200 | 22,92 | | 5,75 | mm/100Kg |
| 3 | 300 | 28,67 | | 6,24 | mm/100Kg |
| 4 | 400 | 34,91 | | 5,98 | mm/100Kg |
| 5 | 500 | 40,89 | | | |
| | inicio | | | | |
| 6 | 600 | 20,1 | | 7,24 | mm/100Kg |
| 7 | 700 | 27,34 | | 6,47 | mm/100Kg |
| 8 | 800 | 33,81 | | 7,32 | mm/100Kg |
| 9 | 900 | 41,13 | | | mm/100Kg |
| | inicio | 11,91 | | 10,76 | mm/100Kg |
| 10 | 1000 | 22,67 | | 12 | mm/100Kg |
| 11 | 1100 | 34,67 | | | |
| 12 | 1200 | | Suma | 68,65 | |
| | | | promedio | 7,63 | mm/100Kg |
| Separación de espiras máxima, 90 mm. | | | | | |
| Por lo tanto , para la medición numero 12, ya el resorte está a 6 mm de tocarse, y tiene una tensión máxima de 1200 kg. Debiera tener: | | | | | |
| | (35000/6)*0,4536 Kg. | | igual a | 2646 kg | 2646 |
| | o sea están presionando sólo un 1200/2646, | | | | 45,4 % aprox. |
| Diseño de referencia GENER VTMEM -021 rev 0 | | | | | |

Fig. 56: Tabla de Valores Obtenidos por SAS a los Resortes (12)

Debido a esto se recomienda lo establecido por el manual de operación como se puede apreciar en la siguiente figura

THE BABCOCK & WILCOX COMPANY
POWER GENERATION DIVISION

9F1
6R133
7A3
29/9-4-68

PULVERIZED FUEL SYSTEM

TYPE EL PULVERIZER
OPERATING INSTRUCTIONS

VII. OUT-OF-SERVICE MAINTENANCE (Cont'd)
A. (Cont'd)

Once the rate of wear is established and so long as the coal does not change, spring adjustments may be made while the pulverizer is in service. One counter-clockwise turn of the spring adjustment nut compresses the spring 1/8 inch. The threads on the spring adjustment bolts should be thoroughly wire-brushed before the adjustment nuts are turned. Consideration must be given to the spring knee clearance. If there is any doubt as to whether this clearance is less than the minimum (5/8 inch) adjustment should be made with actual measurements of the spring, with the pulverizer out of service.

Fig. 57: Recomendaciones del Manual de Operaciones del Pulverizador De la B&W (7)

Esto se refiere a una tasa de desgaste con condiciones de que el carbón no haya cambiado se recomienda un Retensado en servicio con los datos mencionados en la figura 57.

Además hay otros requerimientos, tales como requisitos del combustible. Ya que el tamaño de grano admitido al alimentador del pulverizador no debería ser mayor a un cuarto de pulgada. También requisitos presentados en la figura

10.3.- Mantenciones del Pulverizador

El cálculo para las mantenciones de un pulverizador, se estima en directa relación con el tonelaje de carbón molido. Estas mantenciones dependen del diámetro medido obtenido en las últimas mantenciones de pulverizador y las toneladas molidas hasta esa fecha, estos datos son ingresados a una planilla “Control de elementos de molienda en los Pulverizadores” la que arroja una fecha estimativa de cuando se debe realizar la siguiente mantención.

Procedimiento

- Apertura del pulverizador mediante herramientas de torque neumáticas
- Realizar mediciones de temperatura al interior del pulverizador
- Medir presencia de gases en interior del pulverizador
- Medición de bolas, resortes y desgaste total una vez enfriado el pulverizador, deberá medir el desgaste del equipo de molienda
- Levantar la cubeta superior por medio de tres teclas de cadena de tres toneladas cada uno
- estado de fijación de resortes tensores
- verificación en apriete de pernos de fijación superior e inferior
- Estado de resortes tensores
- Verificación en desgaste en curvas de fijación superior e inferior
- Cubeta superior (Verificación de posibles daños estructurales o fisuras)
- Cubeta inferior (Verificación de elementos atrapados)
- Estado de bolos, Control de dimensión, Verificar geometría de bolos

En caso de Relleno de Bolas (Pulverizador fuera de Servicio)

- Soltar pernos tensores
- Instalar cáncamo interior de la carcaza
- Montar tecla palanca en cáncamo interior
- Levantar cubeta superior
- Instalar goma en cubeta inferior para depositar nuevas bolas
- Montaje de bolas (realizado con grúa horquilla y por personal AES Gener
- Destensar maniobra
- Bajar cubetas
- Medición y Retensado de pernos tensores (dejar en 120 mmm)
- Prueba de hermeticidad del pulverizador

10.3.1.- Pulverizador 2-D

Como se puede apreciar en el Anexo de Cálculos de los Pulverizadores. Se Calculó un tendencia mediante Excel la cual entrega un R^2 factor de fiabilidad muy aceptable. Cabe señalar que esta tendencia fue creada de los puntos tomados del juego 20 que comprende de datos tomados del 15-04-2009 al 27-11-2010 como se presenta en la (Tabla 108) del anexo mencionado anteriormente.

También no hay que dejar de mencionar que 20-03-2011 se parte con un juego nuevo de datos ya que se hicieron mantenciones en las reparaciones generales a todos los equipos de la Unidad II. Cabe mencionar que cuando se habla de un juego nuevo esto quiere decir que se cambiaron Bolas y “Cubetas” si es necesario y se tensaron los Resortes a lo establecido en el manual de operaciones de la Babcock & Wilcox esta tensión será de (120 mm) y por todo esto mencionado del juego nuevo es que no se puede calcular una línea de tendencia y se tendrá que estimar según la línea de tendencia del juego 20.

Tendencias

Pulverizador 2.-D-20

$$Y = -4 \cdot 10^{-10} \cdot x^2 - 0,0003 \cdot x + 311,14$$

$$R^2 = 0,9997$$

Con esta tendencia que es un polinomio de grado 2 el cual tiene un R^2 aceptable se estimaran las toneladas de molienda V/S el desgaste de bola para hacer un Retensado en servicio esto se podrá observar mediante la siguiente Tabla 71 la cual entrega valores de toneladas molida (X) y desgaste de bola (Y). Además se puede apreciar que al comparar los diámetros medidos y los estimados estos tienen un error no mayor al 0,6% como se puede apreciar en la (Tabla 108) ya que aquí esta los valores estimativos de cuando se podría hacer un Retensado en servicio y cuando hay que decidir si saltarse un Retensado para hacer un relleno de bolas que vendrían siendo los datos que están en rojo (esto depende de sala de

control) los puntos donde se tienen que hacer relleno de bola se muestra en el grafico del pulverizador 2-D.20-21 a pesar que los valores son estándar para todos los pulverizadores y estos son: 285,8 mm, 266,7 mm, 250,8 mm, 235 mm, 215,9 mm

| X | Y | X | Y |
|---------|----------|---------|----------|
| 19.000 | 305,2956 | 110.000 | 273,3 |
| 20.000 | 304,98 | 111.000 | 272,9116 |
| 30.000 | 301,78 | 118.000 | 270,1704 |
| 31.000 | 301,4556 | 119.000 | 269,7756 |
| 40.000 | 298,5 | 126.000 | 266,9896 |
| 41.000 | 298,1676 | 127.000 | 266,5884 |
| 49.000 | 295,4796 | 134.000 | 263,7576 |
| 50.000 | 295,14 | 135.000 | 263,35 |
| 58.000 | 292,3944 | 142.000 | 260,4744 |
| 59.000 | 292,0476 | 143.000 | 260,0604 |
| 67.000 | 289,2444 | 149.000 | 257,5596 |
| 68.000 | 288,8904 | 150.000 | 257,14 |
| 76.000 | 286,0296 | 157.000 | 254,1804 |
| 77.000 | 285,6684 | 158.000 | 253,7544 |
| 85.000 | 282,75 | 164.000 | 251,1816 |
| 86.000 | 282,3816 | 165.000 | 250,75 |
| 93.000 | 279,7804 | 171.000 | 248,1436 |
| 94.000 | 279,4056 | 172.000 | 247,7064 |
| 102.000 | 276,3784 | | |
| 103.000 | 275,9964 | | |

Tabla 71: Estimaciones para Un Retensado en Servicio para el Pulverizador 2.D-21

10.3.2.-Pulverizador 2-E

Lo mismo que el Pulverizador 2-D. Su tendencia fue creada de los puntos tomados del juego 20 que comprende de datos tomados del 20-11-2008 al 26-10-2010 como se presenta en la (Tabla 110) del anexo. Hay que mencionar que el 26-06-2010 es el último punto del juego 20 y posterior a eso no se tiene fecha del siguiente punto, que vendría siendo el punto inicial del siguiente juego, se parte con un juego nuevo de datos ya que se hicieron mantenciones. Cabe mencionar que cuando se habla de un juego nuevo esto quiere decir que se cambiaron bolas y cubetas si es necesario y se tensaron los Resortes a lo establecido en el manual de operaciones de la Babcock & Wilcox esta tensión será de (120 mm). Como este juego nuevo (2-E.21) tiene 4 puntos se podrá hacer una tendencia muy pequeña pero solo para comparar los datos mencionados anteriormente ya que al ingresar un nuevo dato medido esto me provoca un error de aproximadamente un 19% con respecto de esta tendencia correspondiente al juego 21. Y no así ocupando la tendencia del juego 20 ya que esta me arroja un error de 1,75% con respecto al valor real medido. Las tendencias son las siguientes

Pulverizador 2.-E-20

$$Y = -2 \cdot 10^{-19} \cdot x^4 + 6 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 - 7 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot x + 312,31$$

$$R^2 = 0,996$$

Pulverizador 2.-E-21

$$Y = 7 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 - 4 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 + 0,0003 \cdot x + 312$$

$$R^2 = 1$$

Con lo calculado en el anexo de cálculo de Retensado de los pulverizadores se puede apreciar en la tabla x y es las estimaciones de la tabla y que en este pulverizador no se podría tener un criterio de Retensado posterior a los 100.000 ton de molienda ya que superior a esto me arrojan porcentajes superiores al 8% de error y por ende este pul se tendría que analizar de una forma diferente o ver las causas que provocan este error.

10.3.3.-Pulverizador 2-F

Lo mismo que en los demás Pulverizador. Su tendencia fue creada de los puntos tomados del juego 19 que comprende de datos tomados del 07-06-2009 al 12-11-2010 como se presenta en la (Tabla 112) del anexo correspondiente

También no hay que dejar de mencionar que 20-03-2011 se parte con un juego nuevo de datos ya que se hicieron mantenciones en las reparaciones generales a todos los equipos de la Unidad II, obteniendo solamente dos datos. Y reiterando lo mismo que el pulverizador 2-D se tendrá que estimar según la línea de tendencia del juego 19.

Tendencias

Pulverizador 2.-F-19

$$Y = -2 \cdot 10^{-20} \cdot x^4 + 10^{-14} \cdot x^3 - 2 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 0,0002 \cdot x + 312,01$$

$$R^2 = 0,999$$

Con esta tendencia que es un polinomio de grado 4 el cual tiene un R^2 aceptable se estimaran las toneladas de molienda V/S el desgaste de bola para hacer un Retensado en servicio esto se podrá observar mediante la siguiente Tabla 72 la cual entrega valores de toneladas molida (X) y desgaste de bola (Y). Además se puede apreciar que al comparar los diámetros medidos y los estimados estos tienen un error no mayor al 3% como se puede apreciar en la (Tabla 112) ya que aquí esta los valores estimativos de cuando se podría hacer un Retensado en servicio y cuando hay que decidir si saltarse un Retensado para hacer un relleno de bolas que vendrían siendo los datos que están en rojo (esto depende de sala de control) los puntos donde se tienen que hacer relleno de bola se muestra en el grafico del pulverizador 2-F.19-20 a pesar que los valores son estándar para todos los pulverizadores y estos son: 285,8 mm, 266,7 mm, 250,8 mm, 235 mm, 215,9 mm

| X | Y | X | Y |
|--------|--------|---------|--------|
| 21.000 | 307,02 | 104.000 | 278,49 |
| 22.000 | 306,74 | 105.000 | 278,11 |
| 32.000 | 303,87 | 112.000 | 275,42 |
| 33.000 | 303,57 | 113.000 | 275,04 |
| 42.000 | 300,76 | 121.000 | 271,96 |
| 43.000 | 300,44 | 129.000 | 268,86 |
| 52.000 | 297,46 | 130.000 | 268,47 |
| 53.000 | 297,12 | 137.000 | 265,74 |
| 61.000 | 294,36 | 138.000 | 265,35 |
| 62.000 | 294,01 | 145.000 | 262,61 |
| 70.000 | 291,16 | 146.000 | 262,21 |
| 71.000 | 290,80 | 153.000 | 259,45 |
| 79.000 | 287,88 | 154.000 | 259,05 |
| 80.000 | 287,51 | 161.000 | 256,26 |
| 87.000 | 284,91 | 162.000 | 255,86 |
| 88.000 | 284,54 | | |
| 96.000 | 281,53 | | |
| 97.000 | 281,15 | | |

Tabla 72: Estimaciones para Un Retensado en Servicio para el Pulverizador 2.F-19

10.3.4.-Pulverizador 2-H

Lo mismo que lo anterior. Su tendencia fue creada de los puntos tomados del juego 20 que comprende de datos tomados del 09-06-2008 al 07-12-2009 como se presenta en la (Tabla 114) del anexo

Hay que mencionar que 24-02-2010 se parte con un juego nuevo de datos ya que se hicieron mantenciones por el periodo de tiempo en desuso. Cabe mencionar que cuando se habla de un juego nuevo esto quiere decir que se cambiaron bolas y cubetas si es necesario y se tensaron a lo establecido en el manual de operaciones de la Babcock & Wilcox esta tensión será de (120 mm). Como este juego nuevo (2-H.21) tiene varios puntos y podrá hacer una tendencia pero solo para comparar los datos mencionados anteriormente ya que la tendencia del juego 21 al ingresar datos, estos arrojan un error superior al 5% lo cual no es válido. Para este procedimiento porque un Retensado a destiempo provocaría un rompimiento de cubetas. Pero al ocupar la tendencia del juego 20 no hay problema hasta los 130.000 ton de molienda después de esto arroja errores superiores al 5% en pocas palabras este pulverizador tendrá que ser analizado con más detalle.

Tendencia

Pulverizador 2.-H-20

$$Y = -4 \cdot 10^{-20} \cdot x^4 + 2 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 - 3 \cdot 10^{-9} - 0,0002 \cdot x + 312,16$$

$$R^2 = 0,9999$$

Tendencia

Pulverizador 2.-H-21

$$Y = 7 \cdot 10^{-19} \cdot x^4 - 2 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 + 2 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 - 0,0007 \cdot x + 309,91$$

$$R^2 = 0,9981$$

10.3.5.-Pulverizador 2-G

Como se puede apreciar en el anexo de Cálculos de los Pulverizadores. Se Calculó un tendencia mediante Excel la cual entrega un R^2 (factor de fiabilidad) muy aceptable. Cabe señalar que esta tendencia fue creada de los puntos tomados del juego 20 que comprende de datos tomados del 26-04-2008 al 14-11-2010 como se presenta en la (Tabla 116) del anexo mencionado anteriormente.

También no hay que dejar de mencionar que 26-02-2011 se parte con un juego nuevo de datos ya que se hicieron mantenciones en las reparaciones generales a todos los equipos de la Unidad II. Cabe mencionar que cuando se habla de un juego nuevo esto quiere decir que se cambiaron bolas y cubetas si es necesario y se tensaron a lo establecido en el manual de operaciones de la Babcock & Wilcox esta tensión será de (120 mm) y por todo esto mencionado del juego nuevo es que no se puede calcular una línea de tendencia y se tendrá que estimar según la línea de tendencia del juego 15.

Tendencias

Pulverizador 2.-G-15

$$Y = 5 \cdot 10^{-25} \cdot x^5 - 7 \cdot 10^{-20} \cdot x^4 - 3 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 + 5 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 0,0004 \cdot x + 307,54$$

$$R^2 = 0,999$$

Pulverizador 2.-G-16

$$Y = -5 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 + 7 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 0,0005 \cdot x + 311,02$$

$$R^2 = 0,9986$$

Con esta tendencia que es un polinomio de grado 5 el cual tiene un R^2 aceptable se estimaran las toneladas de molienda V/S el desgaste de bola para hacer un Retensado en servicio esto se podrá observar mediante la siguiente Tabla 73 la cual entrega valores de toneladas molida (X) y desgaste de bola (Y). Además se puede apreciar que al comparar los diámetros medidos y los estimados estos tienen un error no mayor al 1% como se puede

apreciar en la (Tabla 116) ya que aquí esta los valores estimativos de cuando se podría hacer un Retensado en servicio y cuando hay que decidir si saltarse un Retensado para hacer un relleno de bolas que vendrían siendo los datos que están en rojo(estos depende de sala de control) los puntos donde se tienen que hacer relleno de bola se muestra en el grafico del pulverizador 2-G.15-16 a pesar que los valores son estándar para todos los pulverizadores y estos son: 285,8 mm, 266,7 mm, 250,8 mm, 235 mm, 215,9 mm

| X | Y1 | X | Y1 |
|---------|--------|---------|--------|
| 7.000 | 304,97 | 141.000 | 266,65 |
| 8.000 | 304,64 | 142.000 | 266,07 |
| 19.000 | 301,53 | 146.000 | 263,72 |
| 20.000 | 301,29 | 147.000 | 263,12 |
| 34.000 | 298,47 | 151.000 | 260,72 |
| 35.000 | 298,30 | 152.000 | 260,11 |
| 55.000 | 295,28 | 156.000 | 257,67 |
| 56.000 | 295,14 | 157.000 | 257,05 |
| 75.000 | 291,98 | 162.000 | 253,99 |
| 88.000 | 289,06 | 163.000 | 253,38 |
| 89.000 | 288,80 | 167.000 | 250,96 |
| 99.000 | 285,87 | 168.000 | 250,36 |
| 100.000 | 285,54 | 172.000 | 248,01 |
| 108.000 | 282,69 | 173.000 | 247,43 |
| 109.000 | 282,31 | 178.000 | 244,64 |
| 116.000 | 279,42 | 179.000 | 244,10 |
| 117.000 | 278,98 | 184.000 | 241,55 |
| 123.000 | 276,21 | 185.000 | 241,07 |
| 124.000 | 275,73 | 191.000 | 238,45 |
| 129.000 | 273,22 | 192.000 | 238,06 |
| 130.000 | 272,70 | 202.000 | 235,10 |
| 135.000 | 270,02 | 203.000 | 234,91 |
| 136.000 | 269,47 | | |

Tabla 73: Estimaciones para Un Retensado en Servicio para el Pulverizador 2.G-15

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 11 “Recomendación de Equipos Auxiliares”

11.1.- Introducción

En este capítulo nos centraremos en la selección de equipos auxiliares para la medición en línea de flujo de masa de carbón pulverizado (combustible), análisis de partícula (granulometría), medición en flujo de aire de combustión, carbón no quemado, etc.

Además una vez recomendado los siguientes equipos auxiliares estos entregarán unos gráficos de ejemplo para ver las diferencias producidas al implementar el sistema propuesto por MECONTROL, también nos recomienda tener en cuenta las 13 reglas de oro para obtener una combustión eficiente en el cual la unidad tiene que estar en óptimas condiciones tales como quedaron mediante las reparaciones generales que se realizaron en la Unidad II.

Cabe mencionar que las cotizaciones de estos equipos auxiliares fueron pedidos de forma informal al proveedor, y debido a esto solo se logró un catálogo para cada uno de estos equipos requeridos, más las cotizaciones respectivas para cada uno de estos equipos auxiliares

11.2.- Sistema de Aplicación para la Optimización de la Caldera

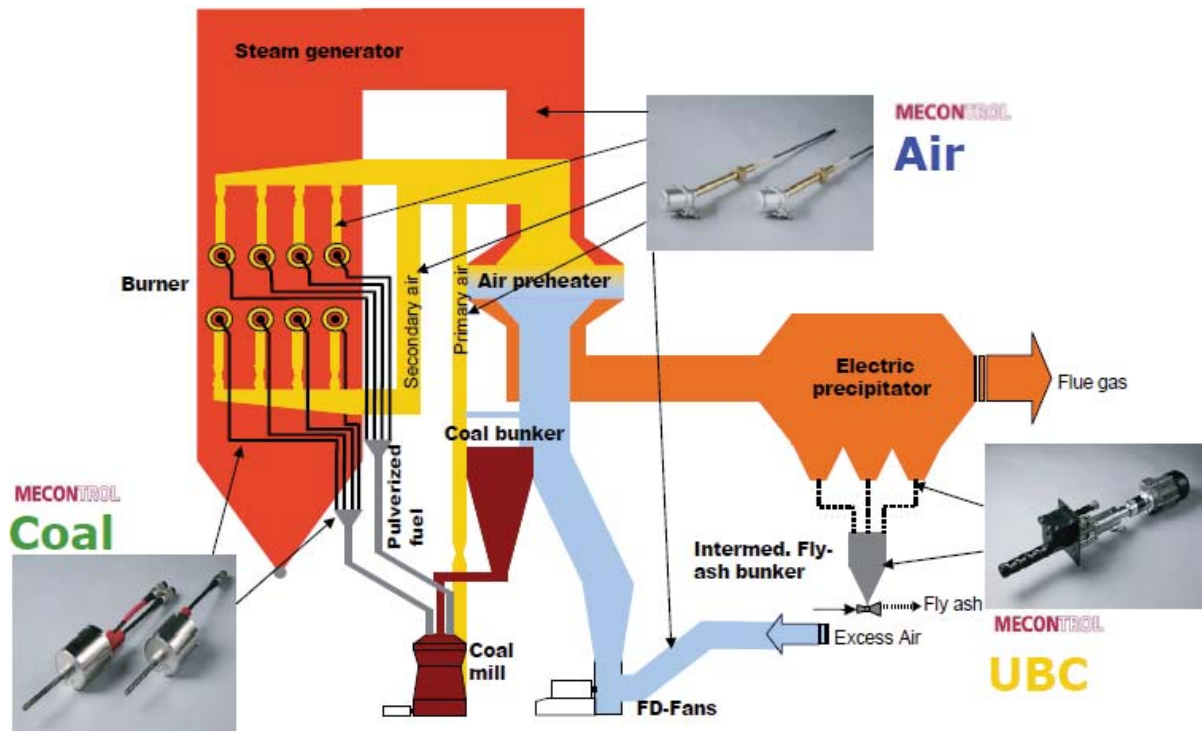


Fig. 58: Sistema de aplicación de Instrumentación por medio de PROMECON

11.2.1- Mecontrol UBC, Medición en línea del carbón No quemado en la Ceniza Volante

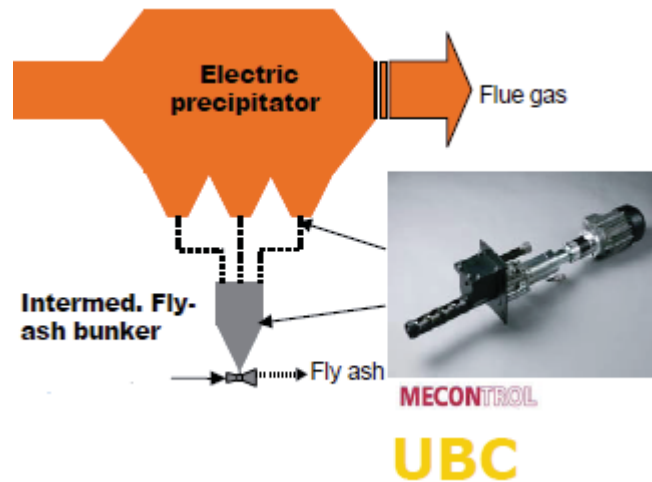


Fig. 59: MECONTROL UBC

El principio de medición de este instrumento es medir el contenido de Carbón No Quemado. La constante dieléctrica de la Ceniza Volante es una función del contenido de Carbón. Esto miden el desplazamiento en la frecuencia de una resonancia (Δf) por lo tanto el contenido de carbón puede ser medido.

$$UBC = A + B \cdot \Delta f$$

A y B son los Coeficientes de Calibración

11.2.2- Mecontrol Coal PSA, Medición en línea del Flujo de masa de Carbón entre el Pulverizador y el Quemador

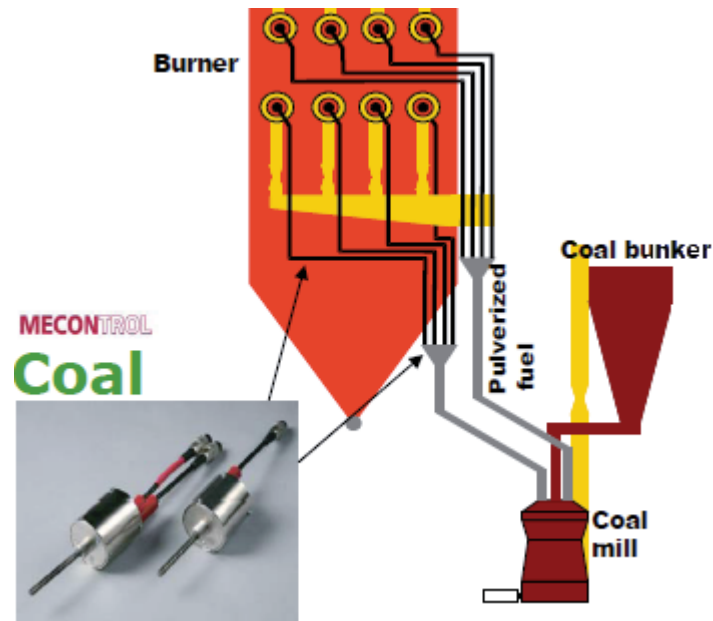


Fig. 60: MECONTROL Coal

El Principio de medición, es la Densidad. (Mediciones de micro-onda) 2 Sensores son puesto en una tubería para medir la concentración de carbón en todo el rango del área transversal de la tubería en las siguientes figuras se verá este principio.

Measurement Principle: Velocity

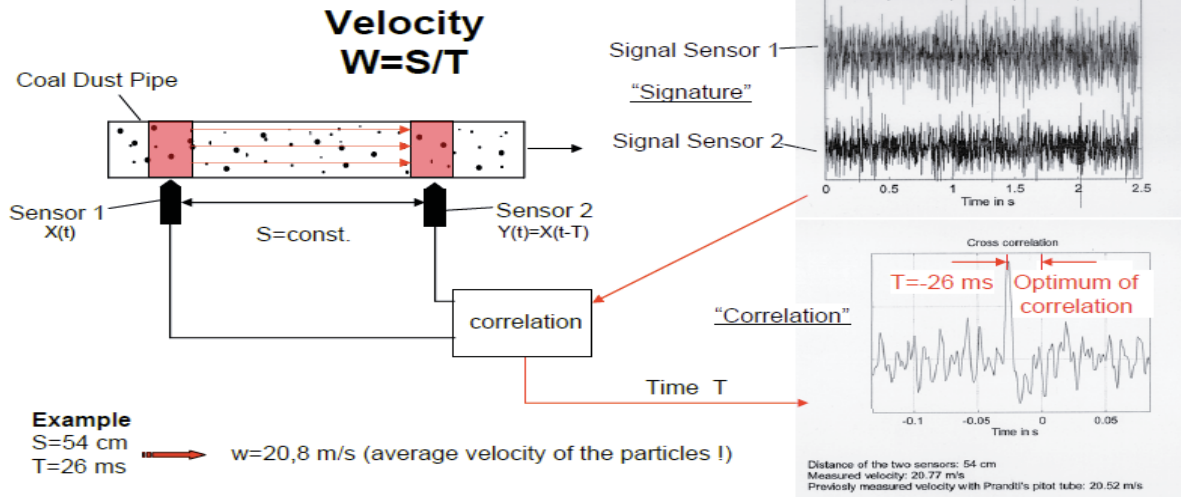


Fig. 61: Principio de medición "velocidad" respecto a Mecontrol Coal

Flujos de Masa y Velocidad Absoluta

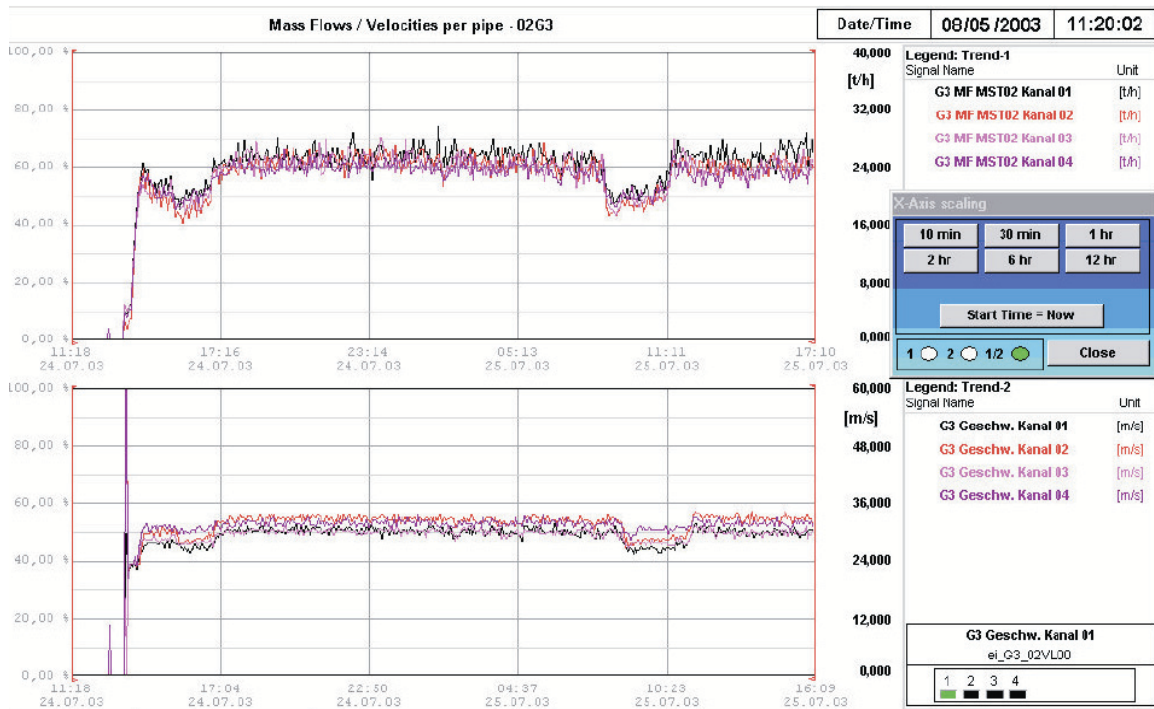


Fig. 62: Gráficos De Flujo de Masa y Velocidad respecto a Mecontrol Coal

11.2.3- Equipo de Medición de partículas en línea

Análisis de Tamaño de Partícula

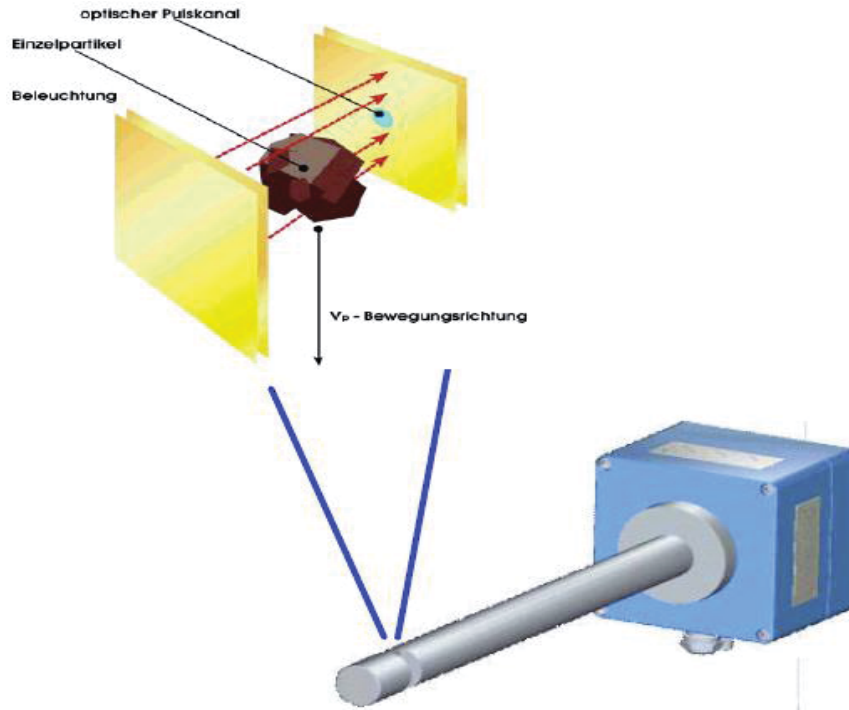


Fig. 63: Equipo de Medición de Partículas en Línea

Como se puede apreciar en la figura 63, es un equipo auxiliar en donde se podrá observar en línea el funcionamiento de los pulverizadores y con este ayuda se podrá crear una mejor tendencia de trabajo para cada pulverizador y obtener un menor error al momento de implementar el Retensado en Servicio

11.2.4- MECONTROL AIR, Medición de flujo en línea de exceso de aire precalentado o gases de combustión

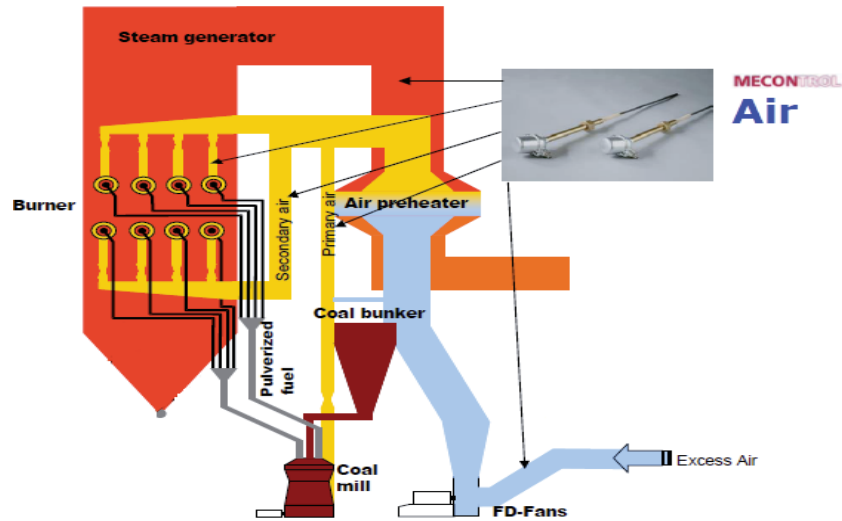


Fig. 64: MECONTROL AIR

11.2.5- 13 Reglas de Oro para una Combustión Eficiente

➤ Preparación del Combustible

Regla 1: El Combustible deberá ajustarse en Tamaño y Calidad

Regla 2: El Combustible deberá ser apto para la Alimentación al Pulverizador por medio de un Alimentador preciso

Regla 3: El Combustible pulverizado será 75 % inferior a $70\mu\text{m}$ y menos del 0,1% mayor a $200\mu\text{m}$

Consistencia del Tamaño de Partícula

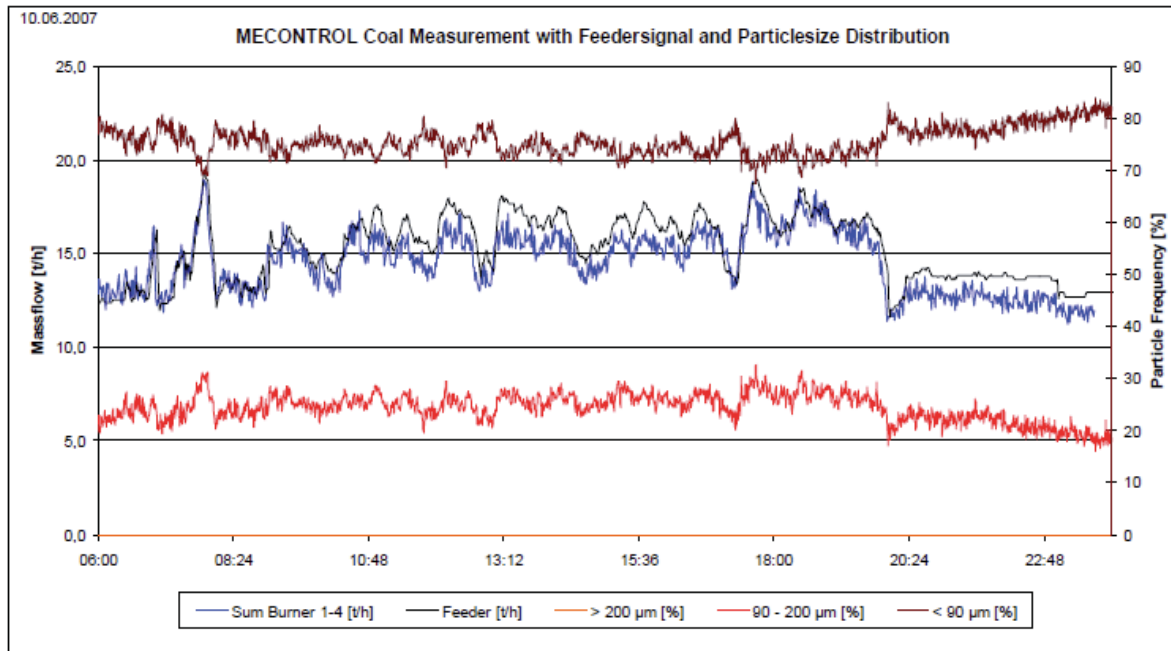


Fig. 65: Grafico de Medición de Tamaño de Partícula y Flujo Másico

- Transporte de Combustible al Quemador

Regla 4: El flujo de Aire primario necesita ser medido y controlado con una tolerancia del 3% del Valor Final.

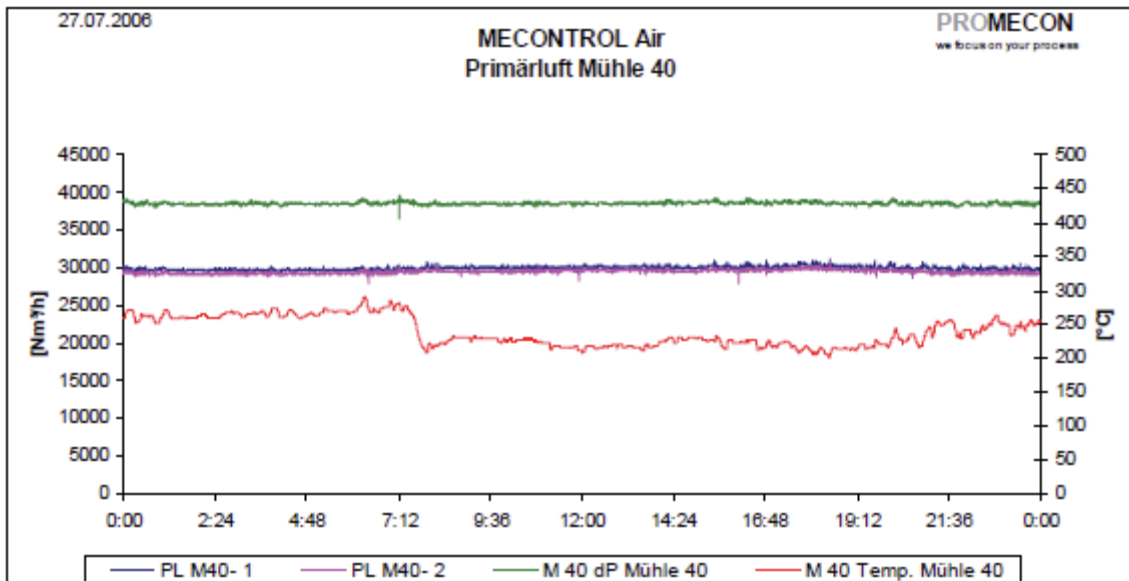


Fig. 66: Grafico de medición de Flujo de Aire Primario a la Entrada del Pulverizador

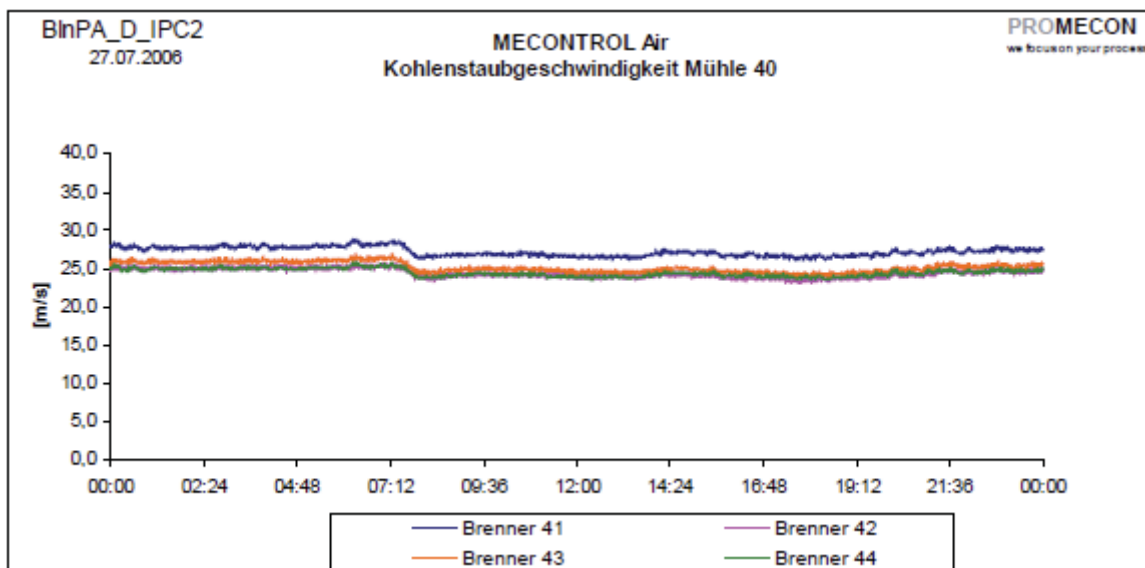


Fig. 67: Grafico de medición de Velocidades de Aire Primario a la Salida del Pulverizador

Regla 5: La Velocidad del Combustible siempre será superior a 23m/seg

Regla 6: Las Velocidades se equilibraran a 2m/seg

Regla 7: La temperatura de Salida de los Pulverizadores será uniforme y controlada con una tolerancia de 5 K

Regla 8: La tasa de pulsación del flujo de masa de Carbón deberá ser inferior al 5% (variación del valor real con el valor promedio)

Regla 9: La distribución del flujo de masa de Carbón debe estar dentro de una tolerancia del 5%

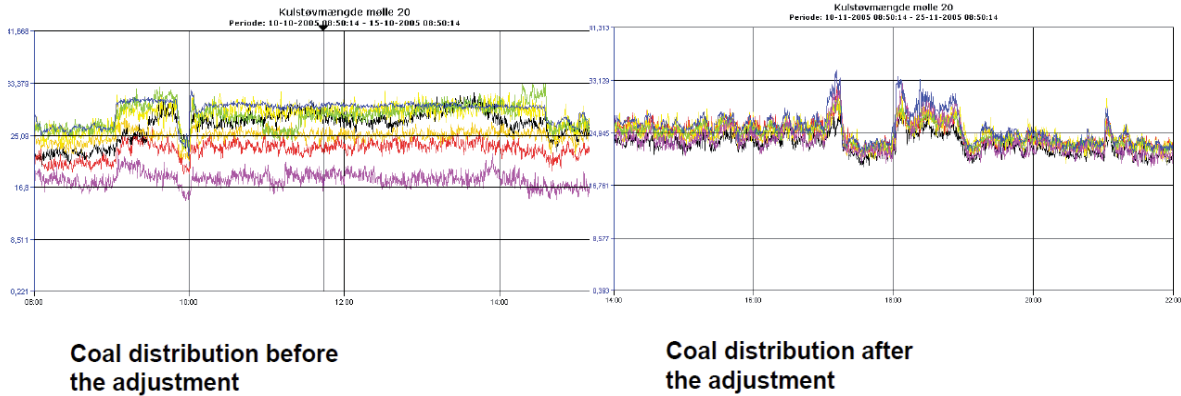


Fig. 68: Gráficos de Flujo de Masa antes y Después de implementación de PROMECON

➤ Combustión

Regla 10: La distribución de Aire Secundario debe ser controlada con una tolerancia del 5%

Regla 11: OverFire Air (OFA) controlada con una tolerancia del 5% (UNIDAD II NO tiene)

Regla 12: Ajuste de Turbulencia de aire controlado con una tolerancia del 5%

Regla 13 Reducción del nivel de Exceso de Aire hasta el punto que los LOI se encuentren por debajo del valor (Usualmente 5%)

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 12 “Estudio Económico”

Estudio Económico

Este estudio económico será analizado mediante el método del Tiempo de Recuperación del Dinero, mediante el Procedimiento de Retensado en Servicio y la implementación de Nuevos equipos auxiliares de mediciones en Línea del Carbón Pulverizado, Tamaño de Partículas, Carbón No Quemado (LOI), Flujo de Aire.

Para este Estudio Económico se utilizara los datos recopilados de las carpetas de los pulverizadores, que en este caso serán los 5 pulverizadores de la Unidad II. De estos datos se estimara las toneladas molidas durante todo el periodo del 2010 en funcionamiento. Además se hará variar los porcentajes de Ceniza contenida en el Carbón y el porcentaje de Carbón No Quemado que fue analizado una vez llegado a puerto o en algunos casos cuando es cargado a Silo. Los equipos cotizados fueron hechos a una empresa Alemana Llamada PROMECON GmbH. Especialista en mediciones de Carbón No Quemado, Flujos, temperatura del Carbón pulverizado. En el cual mediante esta Instrumentación se podrá lograr una optimización de la combustión de la caldera ya que se observara una mejor visión o medición de la combustión en la caldera

Datos y Cálculos

Mediante los datos obtenidos de Sala de Control y mencionados en Anexo de Cálculo y Cotizaciones de los Pulverizadores se diseñaran diferentes tipos de tablas para obtener la Razón Beneficio/Costo.

La siguiente tabla muestra las toneladas molidas por cada pulverizador en los meses correspondiente

| | Pulverizador 2-D [Ton/mes] | Pulverizador 2-E [Ton/mes] | Pulverizador 2-F [Ton/mes] | Pulverizador 2-H [Ton/mes] | Pulverizador 2-G [Ton/mes] |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Junio 2011 | 12.077,00 | 12.560,00 | 11.665,00 | 10.475,00 | 12.652,00 |
| Mayo 2011 | 12.248,00 | 11.400,00 | 12.128,00 | 11.973,00 | 13.675,00 |
| Promedio | 12.162,50 | 11.980,00 | 11.896,50 | 11.224,00 | 13.163,50 |

Tabla 74: Toneladas Molidas en los Pulverizadores de la Unidad II en Meses de Mayo y Junio 2011

Con estos datos se estimara que el promedio mensual de molienda para un pulverizador cualquiera es de 12.085,30 [ton/mes].

Por lo tanto se puede asumir los siguientes:

| | |
|--|---------------------|
| Promedio Mensual De Molienda | 12.085,30 [Ton/mes] |
| Meses de Trabajo | 11 [Meses] |
| Toneladas molidas por Pulverizador | 132.938,3[Ton] |
| toneladas Molidas por los 5 Pulverizadores | 664.691,5,00 [Ton] |

Tabla 75: Promedio de Toneladas Molidas en los Pulverizadores de la Unidad II

Cabe destacar que se asumen 11 meses de trabajo, debido a que todos los años hay reparaciones generales o mantenciones periódicas.

Otros datos importantes son los porcentajes de Ceniza y de Combustible No Quemado, estos datos fueron obtenidos para el cálculo de Eficiencia de la Caldera los cuales Fueron Analizados por el Laboratorio Independiente PCMLab

| Fechas | % ASH | % No Quemado |
|------------|-------|--------------|
| 03-01-2011 | 7,27 | 8,75 |
| 11-04-2011 | 7,07 | 8,17 |
| 23-06-2011 | 8,58 | 8,80 |
| Promedio | 7,64 | 8,57 |

Tabla 76: Porcentajes Promedio de Ceniza y LOI Obtenidos de los Short Run

La siguiente tabla mostrara los valores de Toneladas Molidas por los cinco pulverizadores en los cuales se aplicaran una variación + - de 2% al valor estimado

| Variación | Toneladas Molidas | % ASH | % No Quemado |
|-----------|-------------------|-------|--------------|
| -34,00 | 438.696,39 | 5,04 | 5,66 |
| -32,00 | 451.990,22 | 5,20 | 5,83 |
| -30,00 | 465.284,05 | 5,35 | 6,00 |
| -28,00 | 478.577,88 | 5,50 | 6,17 |
| -26,00 | 491.871,71 | 5,65 | 6,34 |
| -24,00 | 505.165,54 | 5,81 | 6,52 |
| -22,00 | 518.459,37 | 5,96 | 6,69 |
| -20,00 | 531.753,20 | 6,11 | 6,86 |
| -18,00 | 545.047,03 | 6,26 | 7,03 |
| -16,00 | 558.340,86 | 6,42 | 7,20 |
| -14,00 | 571.634,69 | 6,57 | 7,37 |
| -12,00 | 584.928,52 | 6,72 | 7,54 |
| -10,00 | 598.222,35 | 6,88 | 7,72 |
| -8,00 | 611.516,18 | 7,03 | 7,89 |
| -6,00 | 624.810,01 | 7,18 | 8,06 |
| -4,00 | 638.103,84 | 7,33 | 8,23 |
| -2,00 | 651.397,67 | 7,49 | 8,40 |
| 0,00 | 664.691,50 | 7,64 | 8,57 |
| 2,00 | 677.985,33 | 7,79 | 8,74 |

| | | | |
|-------|------------|-------|-------|
| 4,00 | 691.279,16 | 7,95 | 8,92 |
| 6,00 | 704.572,99 | 8,10 | 9,09 |
| 8,00 | 717.866,82 | 8,25 | 9,26 |
| 10,00 | 731.160,65 | 8,40 | 9,43 |
| 12,00 | 744.454,48 | 8,56 | 9,60 |
| 14,00 | 757.748,31 | 8,71 | 9,77 |
| 16,00 | 771.042,14 | 8,86 | 9,95 |
| 18,00 | 784.335,97 | 9,02 | 10,12 |
| 20,00 | 797.629,80 | 9,17 | 10,29 |
| 22,00 | 810.923,63 | 9,32 | 10,46 |
| 24,00 | 824.217,46 | 9,47 | 10,63 |
| 26,00 | 837.511,29 | 9,63 | 10,80 |
| 28,00 | 850.805,12 | 9,78 | 10,97 |
| 30,00 | 864.098,95 | 9,93 | 11,15 |
| 32,00 | 877.392,78 | 10,08 | 11,32 |
| 34,00 | 890.686,61 | 10,24 | 11,49 |

Tabla 77: Variaciones de Toneladas Molidas, % ASH y % No Quemado

Estos valores son obtenidos dejando como constante las toneladas Molidas en los cinco Pulverizadores 664.691,50 [Ton], el porcentaje de Ceniza 7,64%. Para el caso del carbón este dato fue obtenido en los gráficos de los indicadores económicos para el carbón utilizado en la Unidad II en el Anexo de cálculo y cotizaciones de Equipos, punto indicadores del cual su promedio es el siguiente 122,5 US/Ton de Carbón.

Con estos datos hacemos variar el % de Carbón No Quemado de la tabla 77 y fijo el valor de toneladas de ASH como se mencionó anteriormente y con este valor obtenemos las toneladas de no quemado en la Unidad II, y con su valor obtenemos las pérdidas anuales de Carbón No Quemado (LOI) como se puede apreciar en la siguiente tabla.

| % No Quemado | toneladas de ASH | Ton de No Quemado | Perdidas en \$ por LOI |
|--------------|------------------|-------------------|------------------------|
| 5,66 | 50.782,43 | 2.873,47 | 352.000,45 |
| 5,83 | 50.782,43 | 2.960,55 | 362.667,13 |
| 6,00 | 50.782,43 | 3.047,62 | 373.333,81 |
| 6,17 | 50.782,43 | 3.134,70 | 384.000,49 |
| 6,34 | 50.782,43 | 3.221,77 | 394.667,17 |
| 6,52 | 50.782,43 | 3.308,85 | 405.333,85 |
| 6,69 | 50.782,43 | 3.395,92 | 416.000,53 |
| 6,86 | 50.782,43 | 3.483,00 | 426.667,21 |
| 7,03 | 50.782,43 | 3.570,07 | 437.333,89 |
| 7,20 | 50.782,43 | 3.657,15 | 448.000,57 |
| 7,37 | 50.782,43 | 3.744,22 | 458.667,25 |
| 7,54 | 50.782,43 | 3.831,30 | 469.333,93 |
| 7,72 | 50.782,43 | 3.918,37 | 480.000,61 |
| 7,89 | 50.782,43 | 4.005,45 | 490.667,29 |
| 8,06 | 50.782,43 | 4.092,52 | 501.333,97 |
| 8,23 | 50.782,43 | 4.179,60 | 512.000,65 |
| 8,40 | 50.782,43 | 4.266,67 | 522.667,33 |
| 8,57 | 50.782,43 | 4.353,75 | 533.334,01 |
| 8,74 | 50.782,43 | 4.440,82 | 544.000,69 |
| 8,92 | 50.782,43 | 4.527,90 | 554.667,37 |
| 9,09 | 50.782,43 | 4.614,97 | 565.334,05 |
| 9,26 | 50.782,43 | 4.702,05 | 576.000,73 |
| 9,43 | 50.782,43 | 4.789,12 | 586.667,42 |
| 9,60 | 50.782,43 | 4.876,20 | 597.334,10 |
| 9,77 | 50.782,43 | 4.963,27 | 608.000,78 |

| | | | |
|-------|-----------|----------|------------|
| 9,95 | 50.782,43 | 5.050,35 | 618.667,46 |
| 10,12 | 50.782,43 | 5.137,42 | 629.334,14 |
| 10,29 | 50.782,43 | 5.224,50 | 640.000,82 |
| 10,46 | 50.782,43 | 5.311,57 | 650.667,50 |
| 10,63 | 50.782,43 | 5.398,65 | 661.334,18 |
| 10,80 | 50.782,43 | 5.485,72 | 672.000,86 |
| 10,97 | 50.782,43 | 5.572,80 | 682.667,54 |
| 11,15 | 50.782,43 | 5.659,87 | 693.334,22 |
| 11,32 | 50.782,43 | 5.746,95 | 704.000,90 |

Tabla 78: Variación de % No Quemado y de Dólares Perdidos

Con esto tendremos una tabla de datos en donde se puede apreciar el dinero perdido anualmente por Carbón No Quemado (LOI), en donde se trabajó con porcentajes reales de (LOI) que se generan teniendo sus pick de 11.32 cuando el pulverizador no se le ha hecho un Retensado fuera de Servicio o como se recomienda en esta memoria un Retensado en Servicio.

Teniendo estos datos se pasara a la parte de adquisición de los Equipos Auxiliares mencionados anteriormente y entregando un resumen de las cotizaciones realizadas adjuntas en Anexo de Cálculo y Cotizaciones de Equipos para el Retensado en el punto de cotizaciones. Cave mencionar que las cotizaciones fueron realizadas a una empresa alemana, por ende fue realizado en Euros y estos a su vez llevados a Dólares.

| Cotización Equipos Auxiliares | Precios |
|--------------------------------------|------------------|
| MECONTROL UBC | 443.130 |
| MECONTROL COAL | 299.510 |
| MECONTROL COAL Medidor de Partículas | 45.000 |
| MECONTROL AIR | 70.375 |
| Total EURO | 858.015 |
| Total Dólar | 1.118.894 |

Tabla 79: Cotizaciones de Equipos Auxiliares para el Retensado en Servicio

| Especialistas (Mano de Obra) | Días Hombre | Valor Por Día | Valor Total |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Técnico MECONTROL UBC | 5 | 800 | 4.000 |
| Técnico MECONTROL COAL | 5 | 800 | 4.000 |
| Técnico MECONTROL AIR | 7 | 800 | 5.600 |
| Ingeniero MECONTROL UBC | 3 | 1.300 | 3.900 |
| Ingeniero MECONTROL COAL | 3 | 1.300 | 3.900 |
| Ingeniero MECONTROL AIR | 7 | 1.300 | 9.100 |
| Total EURO | | | 30.500 |
| Total Dólar | | | 39.774 |

Tabla 80: Cotización de Mano de Obra para la Instalación de Equipos Auxiliares para el Retensado en Servicio

| Varios | Cantidad | Precio | Precio Total |
|----------------------|-----------------|---------------|---------------------|
| Vuelo (Ida y Vuelta) | 6 | 1.300 | 7.800 |
| Estadía (Hotel) | 30 | 90 | 2.700 |
| Locomoción | 7 | 100 | 700 |
| Comida | 30 | 50 | 1.500 |
| Total Dólar | | | 12.700 |

Tabla 81: Cotizaciones de Varios para la Instalación de Equipos Auxiliares para el Retensado en Servicio

| Gastos Totales Implementación Equipos Auxiliares | Precio |
|---|------------------|
| Cotización Equipos Auxiliares | 1.118.894 |
| Especialistas (Mano de Obra) | 39.774 |
| Varios | 12.700 |
| Total US\$ | 1.171.368 |

Tabla 82: Resumen de Cotizaciones y Mano de Obra para Implementación de Equipos Auxiliares

Con las tablas 78 y 82 se podrá hacer un pequeño estudio económico mediante el método del Tiempo de Recuperación del Dinero, en donde se tomara como punto fijo el % del Carbón no Quemado que vendría siendo un 8,57% el cual fue obtenido de un promedio de varias muestras realizadas el 2011. Además MECONTROL nos ofrece una disminución de Carbón No Quemado de aproximadamente un 35%. Con este dato más los datos entregados en la Tabla 78 suponemos un ahorro de dinero (Flujo de Efectivo) de 181.334 Dólares anuales. Y con los datos entregados mediante las cotizaciones reflejados en la Tabla 82 se procese a realizar el siguiente Método.

| Año | Flujo de Efectivo US | Flujo de Efectivo Acumulado US |
|------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 0 | -1.171.368 | -1.171.368 |
| 1 | 181.334 | -990.034 |
| 2 | 181.334 | -808.700 |
| 3 | 181.334 | -627.366 |
| 4 | 181.334 | -446.032 |
| 5 | 181.334 | -264.698 |
| 6 | 181.334 | -83.364 |
| 7 | 181.334 | 97.970 |

Tabla 83: Estudio Económico mediante el Método, Tiempo de Recuperación del Dinero

**Optimización en la Caldera Ventanas II de la central Termoeléctrica
Ventanas**

Capítulo 13 “Análisis de Resultado y Conclusión”

Análisis

| | | | | | |
|--|----|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Perdida Debido al Gas Seco | % | 3,28 | 2,72 | 3,28 | 3,25 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | % | 1,75 | 1,67 | 1,57 | 1,63 |
| Perdida Debido al Agua del Hidrogeno en el Combustible | % | 4,36 | 4,50 | 4,43 | 4,42 |
| Perdida Debido al Combustible No Quemado | % | 0,96 | 0,85 | 1,11 | 1,09 |
| Perdidas Debido a la Radiación | % | 0,27 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | % | 1,5 | 0,18 | 0,18 | 0,18 |
| Pérdidas Totales de Calor | % | 12,12 | 10,11 | 10,76 | 10,76 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | % | 87,88 | 89,89 | 89,24 | 89,24 |
| Generación | MW | 206 | 219 | 218 | 218 |
| Fecha Short Run | | 03-01-11 | 11-04-11 | 23-06-11 | 23-06-11* |

Tabla 84: Resumen de Cálculo de Eficiencia por Método de la Perdidas (ASME PTC 4.1)

Observando los datos ocupados según el ASME correspondiente, se observan pequeñas variaciones en las presiones de los flujos de Vapor principal teniendo un delta no mayor a 2 [bar] entre las dos primeras mediciones pero para la última medición se observa un delta de 10 [bar] con respecto a la segunda medición. Cabe destacar que la presión de Vapor Principal esta medida por un manómetro que esta defectuoso y se reparado o calibrado en innumerables ocasiones.

Para el caso de las temperaturas relacionadas esta son muy parecidas, no superando un delta de 2 °C entre ellas a excepción de la temperatura de entrada al economizador, teniendo un delta no mayor a 8 °C. En el caso de los flujos, estos fueron en aumento en el caso del vapor principal y por ende lo mismo para el vapor recalentado, ya que este es una relación del Vapor principal.

Si comparamos los Flujos en relación a la generación se podría decir que a mayor flujo más generación se producirá, pero por lo visto no es así debido al comparar los dos últimos datos entregados en los Short Run el flujo es mayor que en el anterior pero su presión es menor teniendo un delta de 10 bares aproximadamente.

Por lo tanto se podrá mencionar que mediante este cálculo de eficiencia pro el ASME PTC 4.1 es más sensible al tipo de carbón que se ocupa ya que juegan un papel importante el % de Humedad, % de Carbón fijo, Calor de combustión superior que tiene el carbón o la mezcla, etc. También los gases de combustión tales como CO₂, CO, O₂, N₂. Para el caso de los LOI (Combustible No Quemado) entran otros factores que se recomendaran posteriormente.

Las diferencias de eficiencia en los diferentes puntos están en un rango muy pequeño. Estas curvas se diferencian por ser una antes de las reparaciones y mantenencias generales y otra posterior a ella en las dos primeras mediciones se observa una diferencia considerable en las perdidas debido a la Perdida por Radiación y Perdidas por desmedida, estos valores fueron calculados en tablas y comparadas en bibliografía por ejemplo en el caso de las Perdidas por Radiación esta antes de las mediciones tenían un porcentaje de más meno 0,27% y después de las RRGG estas serán de 0,19%, esta diferencia no es tan considerable ya que se maneja en un rango no mayor a 0,08%. Pero para las Perdidas por Desmedida estas eran de 1,5% antes de las RRGG y de 0,18% después de las RRGG y la variación es considerable para el rango en que se mueve la eficiencia.

Las otras perdidas entregan valores muy cercanos entre si, pero siempre considerable debido al rango en cual se mueve esta eficiencia por este método y mayoritariamente va a depender de las diferencias entre los tipos de carbón que se ocupan.

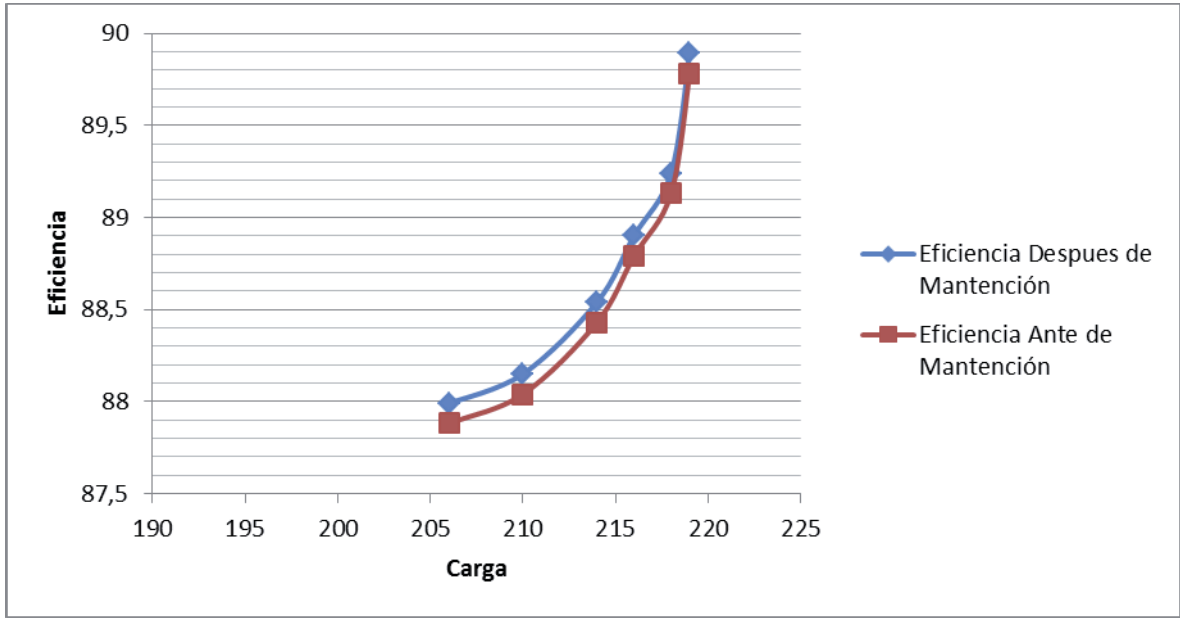


Fig. 69: Grafica de Eficiencia Calculada por ASME PTC 4.1 v/s Carga

| | | | | | |
|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Perdida Debido al Gas Seco | % | 6,67 | 6,14 | 6,59 | 6,52 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | % | 1,75 | 1,67 | 1,57 | 1,63 |
| Perdida Debido al Hidrogeno en el Combustible | % | 3,94 | 4,07 | 3,99 | 3,98 |
| Perdidas debido al Combustible No Quemado | % | 0,96 | 0,85 | 1,11 | 1,09 |
| Perdidas por radiación | % | 0,27 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | % | 1,5 | 0,18 | 0,18 | 0,18 |
| Perdidas | % | 15,09 | 13,10 | 13,62 | 13,69 |
| Eficiencia de la Caldera Basado en HHV | % | 84,91 | 86,90 | 86,38 | 86,41 |
| Generación | % | 206 | 219 | 218 | 218 |
| Fecha Short Run | | 03-01-11 | 11-04-11 | 23-06-11 | 23-06-11* |

Tabla 85: Resumen de Cálculo de Eficiencia por Método de la Perdidas (ASME PTC 4.1) Mitsubishi

Este es un método similar al anterior ya que es por el método de las Perdidas según el ASME PTC 4.1 (Mitsubishi) y ocupa los mismos valores recopilados en los Short Run. Cabe destacar que este método además es similar al método de perdida según Babcock & Wilcox lo único cambios o valores diferentes es las Perdidas debido al Gas Seco, Humedad en el Combustible y la formación de agua debido al H₂ presente en el combustible

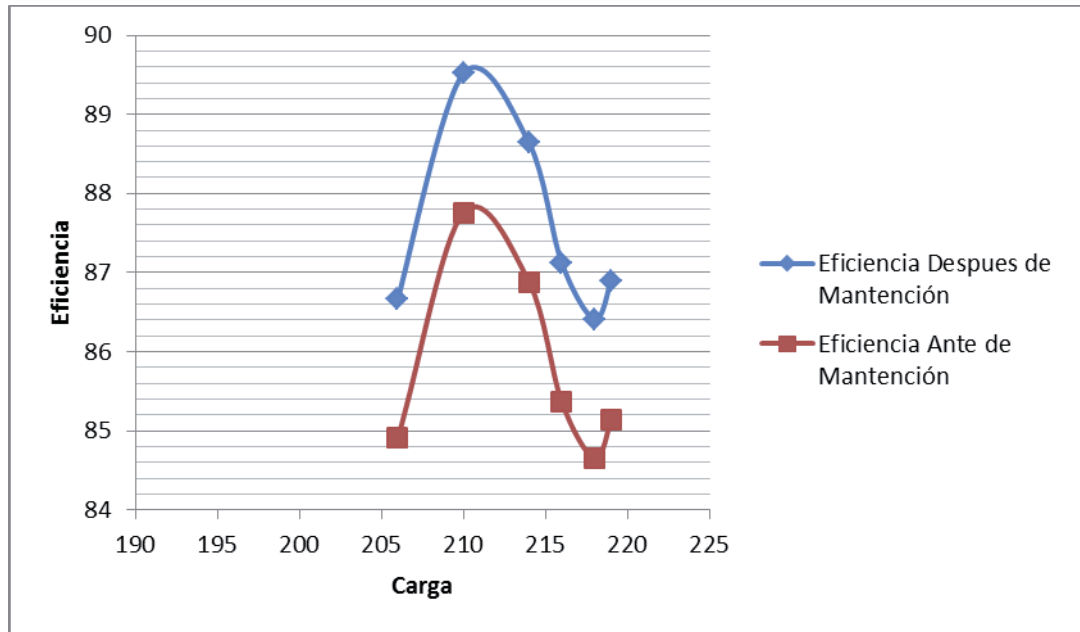


Fig. 70: Grafica de Eficiencia Calculada por ASME PTC 4.1 (Mitsubishi) v/s Carga

Para el caso de los pulverizadores y el sistema de Aire Primario y Secundario se analiza lo siguiente.

➤ Pulverizador 2-D

Según lo observado en anexo de Sistema de Aire y Gases se puede observar que este Pulverizador tiene un desequilibrio en el flujo de Aire Sucio variando de 13,7% a -10,8% con una desviación máxima de 24,5%. Por lo cual se puede decir que este pulverizador esta fuera de norma de la empresa ya que su normativa de aceptación es de $\pm 5\%$ para el flujo de Aire Sucio. Para el caso del flujo de carbón este tiene un desequilibrio de 4,9% a -4,8% con una desviación máxima de 9,8% lo cual sería aceptado por la empresa ya que su desviación es de $\pm 10\%$ como aceptable. Por lo tanto el promedio de la relación aire/combustible para alimentar este pulverizador es de 2,22/1

Pasando al tema del análisis del Retensado en Servicio este Pulverizador arroja una tendencia muy aceptable, encontrando errores no superiores al 0,6% en el desgaste de bola. Con estos datos se podría calcular o observar de forma estimativa como se comportaría el juego 21. Para el caso de este pulverizador se midieron las bolas el 02 de Julio del 2011 en el

cual arroja un desgaste promedio de 7mm, dejando como diámetro promedio en 305mm y para este desgaste tienen una molienda de 37.585 [ton] en las fechas del 20 de marzo al 02 de Julio del 2011.

Al comparar esto con las estimaciones de la línea de tendencia, las toneladas para ese desgaste tendrían que haber sido alrededor de 20.000 [ton] y la fecha para su primer Retensado en Servicio tendría que haber sido el 20 de Mayo del 2011 aproximadamente. Ahora al observar nuevamente las toneladas molidas el 16 de agosto de 2011 se observa que se lleva más de 56.000 [ton] y al comparar el desgaste según la tendencia del juego 20 tendríamos que tener 20 mm de desgaste y haber hecho 5 Retensado aprox. En el cual solo se retensó cuando se midieron las bola. A pesar de todo lo mencionado la línea de tendencia no cumple ya que el error es del 1,869% con respecto al diámetro de desgaste lo cual me arroja una desviación importante en las toneladas molidas.

➤ Pulverizador 2-E

Según lo observado en anexo de Sistema de Aire y Gases se puede observar que este Pulverizador tiene un desequilibrio en el flujo de Aire Sucio variando de 11,2% a -8,8% con una desviación máxima de 19,9%. Por lo cual se puede decir que este pulverizador está fuera de norma de la empresa ya que su normativa de aceptación es de $\pm 5\%$ para el flujo de Aire Sucio. Para el caso del flujo de carbón este tiene un desequilibrio de 1,6% a -2,8% con una desviación máxima de 4,4% lo cual sería aceptado por la empresa ya que su desviación es de $\pm 10\%$ como aceptable. Por lo tanto el promedio de la relación aire/combustible para alimentar este pulverizador es de 2,41/1

Pasando al tema de análisis de Retensado, al ingresar el quinto dato este arroja un error superior al 1,75% con respecto al desgaste de bola el cual es pequeño, pero si se lleva a las toneladas molidas la desviación es demasiado grande. Además esta línea de tendencia se hace inconsistente pasada las 100.000 [ton] molidas por ende no se podría hacer un seguimiento a este pulverizador

➤ Pulverizador 2-F

Según lo observado en anexo de Sistema de Aire y Gases se puede observar que este Pulverizador tiene un desequilibrio en el flujo de Aire Sucio variando de 2,5% a -2,0% con una desviación máxima de 4,4%. Por lo cual se puede decir que este pulverizador está dentro de norma de la empresa ya que su normativa de aceptación es de $\pm 5\%$ para el flujo de Aire Sucio. Para el caso del flujo de carbón este tiene un desequilibrio de 14,5% a -7,4% con una desviación máxima de 21,9% lo cual sería fuera de norma por la empresa ya que su desviación es de $\pm 10\%$ como aceptable. Por lo tanto el promedio de la relación aire/combustible para alimentar este pulverizador es de 2,38/1

Pasando al tema de análisis de Retensado, este pulverizador está un poco critico debido a su porcentaje de error con respecto a la línea de tendencia del juego 19 ya que llega a un 3%, lo cual es demasiado porque al compararlo con las toneladas molidas, estas tienen una desviación considerable que hace imposible de predecir cuándo hacer un Retensado. Al Observar los últimos datos de este pulverizador se observó que a la fecha del 16 de agosto de 2011 había molido 55.000 [ton] y según esto, los diámetros promedios estarían en 296,4mm por lo tanto tendría que haberse hecho 3 Retensado

➤ Pulverizador 2-G

Según lo observado en anexo de Sistema de Aire y Gases se puede observar que este Pulverizador tiene un desequilibrio en el flujo de Aire Sucio variando de 5,2% a -10,2% con una desviación máxima de 15,4%. Por lo cual se puede decir que este pulverizador esta fuera de norma de la empresa ya que su normativa de aceptación es de $\pm 5\%$ para el flujo de Aire Sucio. Para el caso del flujo de carbón este tiene un desequilibrio de 8,0% a -10,8% con una desviación máxima de 18,8% lo cual sería fuera de norma por la empresa ya que su desviación es de $\pm 10\%$ como aceptable. Por lo tanto el promedio de la relación aire/combustible para alimentar este pulverizador es de 4,06/1

Pasando al tema de análisis de Retensado, este pulverizador tiene un porcentaje de error no mayor al 1,3% con respecto al diámetro promedio, lo cual es aceptable.

Pero al momento de analizar las toneladas molidas a la fecha de 16 de agosto de 2011 este molino llevaría moliendo 149.000 [ton] aproximadamente lo cual tendría según la tendencia correspondiente un diámetro promedio lo cual implicaría haber hecho 4 Retensado en Servicio

➤ Pulverizador 2-H

Según lo observado en anexo de Sistema de Aire y Gases se puede observar que este Pulverizador tiene un desequilibrio en el flujo de Aire Sucio variando de 1,8% a -1,8% con una desviación máxima de 3,6%. Por lo cual se puede decir que este pulverizador está dentro de norma de la empresa ya que su normativa de aceptación es de $\pm 5\%$ para el flujo de Aire Sucio. Para el caso del flujo de carbón este tiene un desequilibrio de 5,9% a -3,8% con una desviación máxima de 9,7% lo cual estaría dentro de norma por la empresa ya que su desviación es de $\pm 10\%$ como aceptable. Por lo tanto el promedio de la relación aire/combustible para alimentar este pulverizador es de 1,98/1

Pasando al tema de análisis de Retensado, este pulverizador es muy variado y por lo tanto muy difícil de predecir usando las líneas de tendencia. Pudiendo ser comprobado al revisar los datos del 01 de Agosto de 2011 en donde se confirmó que tenía un desgaste de 16mm en el cual implica 5 Retensado en servicio y no se hizo ninguno debido a esto.

Con respecto al análisis del estudio económico se puede decir que a pesar de tener solamente unos catálogos y sus respectivas cotizaciones, más los datos obtenidos en sala de control y sala de carbón de la Unidad II con respecto al Tipo de Carbón, Toneladas de Carbón, Porcentajes de ASH (cenizas) y Carbón No Quemado (LOI) utilizados por la Unidad II en un año de trabajo, se logró obtener un periodo corto de tiempo la recuperación del dinero mediante el estudio económico realizado según el Método de Tiempo de Recuperación de Dinero que fueron entre 6 a 7 años la recuperación de la totalidad de la inversión total.

Conclusiones

Partiendo por el cálculo de la Eficiencia antes y después de las RRRG (Reparaciones Generales) se puede observar un incremento en el porcentaje de eficiencia para ambos métodos, pero sin poder identificar en cuanto aporfo cada reparación. Como se ha mencionado anteriormente las reparaciones fueron en todos los equipos principales de la Caldera de la Unidad II, partiendo por Pulverizadores, Quemadores, Regulación de Aire Primario y Secundario, Lavado Químico, etc. Estas reparaciones fueron hechas principalmente con la idea de evitar Trip en los equipo ya que debido a esto la Unidad podría dejar de generar por un periodo de tiempo, según amerite el problema.

Cabe señalar que estas reparaciones no fueron realizadas con la idea principal de mejorar su eficiencia sino más bien para evitar Trip como se mencionó anteriormente, ya que por el momento el objetivo principal es Generar debido a que el precio de los Nudos está en un muy buen Precio.

Pasando al tema del Retensado en Servicio, no se puede dejar de mencionar que es un Método recomendado en el manual de la Babcock & Wilcox para estos Pulverizadores el cual no se está haciendo debido a que hace mucho tiempo atrás, cuando se hacia este Retensado en Servicio se rompían muchas cubetas. Por eso mismo se trató de implementar una tendencia para cada Pulverizador usando solo dos factores que serían el diámetro medido (desgaste de Bola) y las toneladas molidas. En algunos Pulverizadores se logró errores inferiores al 1% con respecto al desgaste de Bolas, pero al compararlo con la toneladas molidas la variación supera los 10.000 [ton] de molienda por ende no se podría predecir cuándo hacer un Retensado ya que un pequeño error provocaría la rotura de cubeta y eso implicaría la salida de un Pulverizador en servicio y la disminución en la Generación debido a la reducción de la carga.

Por lo tanto se puede recomendar hacer un ajuste a esta tendencia, interviniéndola en varios factores tales como: tipo de carbón que se está alimentando, tamaño del carbón que llega al Pulverizador, Dureza de Cubetas y de Bolas en paralelo al comportamiento de desgaste, debido a que no es uniforme, diámetro promedio medido, debido a que estas son medidas en un solo punto y con un grado de dificultad considerable, etc. Con todo esto

mencionado se podrá obtener a futuro una mejor Fineza y por ende una disminución de los No Quemados.

Otra alternativa para poder visualizar cuando hacer un Retensado en Servicio para mejorar la eficiencia de la Caldera de la Unidad II y disminuir los LOI y NO_x, es la incorporación de Instrumentación de última generación que nos ofrece PROMECON hoy en día. Ya que con esta instrumentación podremos visualizar en línea el tamaño de partícula y observar en paralelo el porcentaje de No Quemado (LOI). Además esta empresa nos ofrece la medición en línea del flujo de Carbón y de Aire y con esto mejorar la relación Aire/(Flujo de Carbón) que según las pruebas realizadas por SAS tendría que ser (1,8 a 2)/1.

Con respecto al estudio económico realizado mediante el método Tiempo de Recuperación del Dinero este se logra en un periodo corto de tiempo, que a pesar de ser una inversión considerable, que supera el millón de dólares y actualmente no es de suma importancia la implementación inmediata de esta tecnología. Se recomienda hacer dicha inversión ya que la recuperación es menos de 7 años y los beneficios continúan. También hay que tener en cuenta que según los indicadores el precio del carbon tendrá un aumento considerable en las próximas décadas debido a la demanda y condiciones climáticas que vivimos actualmente.

Además de un ámbito económico se visualiza para la optimización en la quema de combustible ya que con estos equipos se ayudaría a trabajar en forma paralela con el Retensado en Servicio, el cual nos disminuiría el porcentaje del Carbón No Quemado (LOI) como se ha mencionado anteriormente.

Bibliografía

1. **Arancibia C., Marco.** Gerencia Ingenieria Costa y MA, AES Gener Complejo Costa. Ruta F-30-E s.n, Ventanas, Puchuncavi, Chile Fono +5626868491 Cel +56981572573, Correo electronico: marancibiac@aes.com
2. **Perez A., Pompilio.** Gerencia Ingenieria Costa y MA, AES Gener Complejo Costa. Ruta F-30-E s.n, Ventanas, Puchuncavi, Chile Fono +5626868492, Correo electronico: ppereza@aes.com
3. AES. [En línea] [20 de Enero de 2011.] www.aes.com.
<http://www.aesgener.cl/AESGenerWebNeo/index.aspx?channel=635>.
4. aesgener. [En línea] [25 de Enero de 2011.]
<http://www.aesgener.cl/AESGenerWebNeo/index.aspx?channel=6139>.
5. *Memoria Anual Gener 2010. AES, Gener.* 2011, págs. 35-48.
6. **AES, Gener y Larrain Vial.** *Resultados 2010.* Págs. 9-25
7. **Babcock & Wilcox.** *Operating Instructions Caldera Unidad II.* 1977.
8. **Perez A, Pompilio.** *Low NOx Coal Burner.* Febrero de 2011.
9. **Babcock & Wilcox Company.** *Steam its generation and use 41st. edition.* Barberton, Ohio, U.S.A : John B. Kitto and Steven C. Stultz, 2005.
10. **Wilcox, Babcock &.** *Principio de Generacion Unidad II.* 1977.
11. **Smith, J.M.** *Introduccion a la Termodinamica en Ingenieria Quimica, 6st edición.* s.l. : Mc Graw Hill, 2006. pág. 341.
12. **SAS.** *Clasificador SAS.* 2008-209. Págs. 18-38

Anexo De Cálculo de Eficiencia

Datos Otorgados por AES Gener y PCMLab del Carbón el 03-01-11

- Informe de Toneladas y Porcentajes de Carbón Cargado a Silo el 03-01-11

Gerencia de Combustibles

AES
la energía de ser grúbalos

INFORME DIARIO DE ABASTECIDO

de 00 a 24 HRS.

| | |
|--------------|----------------------------|
| FECHA | lunes, 03 de enero de 2011 |
|--------------|----------------------------|

CARBON CARGADO A SILOS

| UNIDAD N° 1 | |
|--------------|---------------|
| SILO | TONELADAS |
| 1A | 375 |
| 1B | 313 |
| 1C | 232 |
| TOTAL | 920,00 |

| UNIDAD N° 2 | |
|--------------|-----------------|
| SILO | TONELADAS |
| 2D | 427 |
| 2E | 355 |
| 2F | 305 |
| 2G | 246 |
| 2H | 309 |
| TOTAL | 1.642,00 |

| MEZCLA CARGADA A SILOS UNIDAD N° 1 | | | | |
|------------------------------------|--------------|----------------|-----------|---------------|
| % | NAVE | TIPO DE CARBON | Lote | TONELADAS |
| | | | | 0,00 |
| 40% | Diamond seas | Cerrejon DM | 2010E4648 | 368,00 |
| 40% | Genco Knight | La Loma | 2010E4652 | 368,00 |
| 20% | Kesarla | Rollestone | 2010E4645 | 184,00 |
| 100% | | TOTAL | | 920,00 |

| MEZCLA CARGADA A SILOS UNIDAD N° 2 | | | | |
|------------------------------------|--------------|----------------|-----------|----------------|
| % | NAVE | TIPO DE CARBON | Lote | TONELADAS |
| | | | | 0,00 |
| 30% | Diamond seas | Cerrejon DM | 2010E4648 | 492,60 |
| 40% | Genco Knight | La Loma | 2010E4652 | 656,80 |
| 30% | Kesarla | Rollestone | 2010E4645 | 492,60 |
| 100% | | TOTAL | | 1642,00 |

| | | | |
|-------------------------|------------------------|------------------|----------|
| MOTONAVE: | MIN " SEA OF HARVEST " | | |
| ORIGEN: | PTO BOLIVAR COLOMBIA | | |
| TIPO DE CARBON: | CERREJON DM | Lectura inicial | 2206697 |
| MANIFIESTO: | 60.945,00 | Lectura Final | 2209259 |
| DESCARGA DIARIA: | 9.443,90 | Total Abastecido | 2.562,00 |
| TOTAL ACUMULADO: | 36.283,90 | | |

| | | ABASTECIDO UNIDAD N°1 | | |
|-------------------------------|------------|-----------------------|---------|-------|
| | | INICIO | TERMINO | TOTAL |
| EXISTENCIA ANTERIOR | 112.013,30 | | | |
| TOTAL RECEPCION NAVIERA | 9.443,90 | | | |
| TOTAL ABASTECIDO UNIDAD N°3 | 2.316,50 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| TOTAL ABASTECIDOS A SILOS C.V | 2.562,00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| TOTAL RECEPCION | 0,00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| EXISTENCIA ACTUAL | 116.578,70 | | Total | 0:00 |

| ABASTECIDO UNIDAD N°2 | | |
|-----------------------|---------|-------|
| INICIO | TERMINO | TOTAL |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| | Total | 0:00 |

Informe Valido

Fig. 71: Informe Diario de Abastecimiento de Carbón el Día 03 de Enero 2011

➤ Análisis de Carbón Cerrajón D Cargado a Silo el 03-01-11 (Diamond Seas)


| | | | | | |
|---|---|-----------------------|--|-----------------------------------|----------------------------|
|  | PCM Lab Laboratorio de Combustibles Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcm.cl Padre Orellana 1421 - Santiago Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000 En proceso de implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005 | | ISO 9001-2000 Nro Certificado: 3774 - Año 2008 Bruno Velasco | | |
| | CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3367 | | | | |
| Santiago, 4 de enero de 2011 | | | | | |
| | | | # Documento | 18508 | |
| | | | # O. C. Cliente: | Abierta | |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodriguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 30/11/2010 | Fecha de Muestreo | 23 al 27 de Noviembre 2010 | | |
| ID PCM | 18908 | Tipo de Muestra | Carbón Cerrajón D Modificado | | |
| ID Cliente | Motonave Diamond Seas Composito | Fecha Análisis | 30/12/2010 | | |
| Representatividad | 58978 | Lugar de Muestreo | Ventanas | | |
| RESULTADOS DEL ANÁLISIS | | | | | |
| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca | | |
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 13,52 | | | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 3,77 | | | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 8,34 | 9,64 | | |
| Azufre (%) | ASTM D 4239 | 0,63 | 0,73 | | |
| Carbono (%) | ASTM D 5373 | 64,12 | 74,15 | | |
| Hidrógeno (%) | ASTM D 5373 | 5,90 | 5,07 | | |
| Nitrógeno (%) | ASTM D 5373 | 1,37 | 1,59 | | |
| Oxígeno (%) | ASTM D 3180 | 19,63 | 8,81 | | |
| As (ppm) | ASTM D 4606 | <1 | <1 | | |
| Se (ppm) | ASTM D 4606 | <1 | <1 | | |
| Hg (ppm) | ASTM D 3684 | <0,5 | <0,5 | | |
| Punto de Fusión de Cenizas | Atmósfera | Reductora | Oxidante | | |
| Temperatura de Deformación Inicial | | 1.210 °C | | | |
| Temperatura de Ablandamiento | | 1.268 °C | | | |
| Temperatura de Semiesfera | | 1.310 °C | | | |
| Temperatura de Fluidez | | 1.360 °C | | | |
| NORMA: ASTM D 1857 | | | | | |
| Análisis Químico de Cenizas - Elementos Mayores y Menores | | | | | |
| SiO ₂ (%) | 60,20 | CaO (%) | 1,54 | P ₂ O ₅ (%) | 0,14 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 22,96 | Na ₂ O (%) | 1,13 | SO ₃ (%) | 2,13 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 6,73 | K ₂ O (%) | 2,54 | V ₂ O ₅ (%) | 0,02 |
| MgO (%) | 1,71 | TiO ₂ (%) | 0,82 | MnO (%) | NS |
| Pb (ppm) | <50 | Cu (ppm) | 120 | Cr (ppm) | 70 |
| Cd (ppm) | <50 | Ni (ppm) | 90 | Be (ppm) | <50 |
| Zn (ppm) | 270 | Mn (ppm) | 560 | | |
| NORMA: ASTM D 3682 - 3683 | | | | | |

Fig. 72: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (Cerrajón DM) 1

➤ Análisis de Carbón Cerrajón D Cargado a Silo el 03-01-11 (Diamond Seas)



PCM Ltda.
 Laboratorio de Combustibles
 Fono 551 89 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.tie.cl
 Padre Orellana 1421 - Santiago
 Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000
 En proceso de Implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2000
 Nro Certificado: 3774 - Año 2008
 Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3367

Santiago, 4 de enero de 2011

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------|--|--------|----------------------------|
| | | # Documento | 18568 | | |
| | | # O.C. Cliente: | Abierta | | |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2798148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 30/11/2010 | Fecha de Muestreo | 23 al 27 de Noviembre 2010 | | |
| ID PCM | 18908 | Combustible | Carbón Cerrajón D Modificado | | |
| ID Cliente | Motonave Diamond Seas Compósito | Fecha Análisis | 10/12/2010 | | |
| Representatividad | 58978 ton. | Lugar de Muestreo | Ventanas | | |

RESULTADOS DEL COMPÓSITO CALCULADO

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|---------------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 13,76 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 4,03 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 8,24 | 9,55 |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 33,45 | 38,79 |
| Carbono Fijo (%) | ASTM D 3172 | 44,54 | 51,65 |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,63 | 0,73 |
| Poder Calorífico Sup. (kcal/kg) | ASTM D 5865 | 6.205 | 7.195 |
| HGI | ASTM D 409 | 57 | |

CARACTERÍSTICAS DE VARIACIÓN DE LOS LOTES

| Parámetro | Máximo | Promedio | Mínimo | Rango |
|--------------------|--------|----------|--------|-------|
| H. Total (%) | 14,03 | 13,76 | 13,35 | 0,68 |
| H. Residual (%) | 4,98 | 4,04 | 3,69 | 1,29 |
| Cenizas b.s (%) | 10,01 | 9,54 | 8,83 | 1,18 |
| M. Volátil b.s (%) | 38,97 | 38,80 | 38,45 | 0,52 |
| Azufre b.s (%) | 0,75 | 0,73 | 0,70 | 0,06 |
| PCS b.s (kcal/kg) | 7.251 | 7.196 | 7.151 | 99 |

Fig. 73: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (Cerrajón DM) 2

➤ Análisis de Carbón La Loma Cargado a Silo el 03-01-11 (Genco Knight)



PCM Lab.
Laboratorio de Combustibles
Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmab.cl
Padre Orellana 1421 - Santiago
Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000
En proceso de implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2000
Nro Certificado: 3774 - Año 2008
Buenas Veritas

CERTIFICADO DE ANALISIS N° CV-3464

Santiago, 4 de febrero de 2011

| | |
|-----------------|---------|
| # Documento | 18833 |
| # O.C. Cliente: | Abierta |

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

| | | | | | |
|-----------|--|--------------------|--|--------|----------------------------|
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodriguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sanchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

| | | | |
|-------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------|
| Fecha Recepción | 04-01-2011 | Fecha de Muestreo | 27 al 30 de Dic 2010 |
| ID PCM | 19173 | Tipo de Muestra | Carbón La Loma |
| ID Cliente | Motonave Genco Knight Compósito | Fecha Análisis | 01-02-2011 |
| Representatividad | 58640 | Lugar de Muestreo | Ventanas |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|----------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 15,38 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 6,64 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 6,45 | 7,62 |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,48 | 0,57 |
| Carbono (%) | ASTM D 5373 | 61,98 | 73,25 |
| Hidrógeno (%) | ASTM D 5373 | 5,97 | 5,02 |
| Nitrógeno (%) | ASTM D 5373 | 1,23 | 1,45 |
| Oxígeno (%) | ASTM D 3180 | 23,90 | 12,10 |
| As (ppm) | ASTM D 4606 | 8,2 | 9,6 |
| Se (ppm) | ASTM D 4606 | <1,0 | <1,0 |
| Hg (ppm) | ASTM D 3684 | <0,5 | <0,5 |

| Punto de Fusión de Cenizas | Atmósfera | Reductora | Oxidante |
|------------------------------------|-----------|-----------|----------|
| Temperatura de Deformación Inicial | | 1.183 °C | |
| Temperatura de Ablandamiento | | 1.200 °C | |
| Temperatura de Semiesfera | | 1.245 °C | |
| Temperatura de Fluidéz | | 1.370 °C | |

NORMA: ASTM D 1857

Análisis Químico de Cenizas - Elementos Mayores y Menores

| | | | | | |
|-----------|-------|----------|------|----------|------|
| SiO2 (%) | 59,05 | CaO (%) | 4,43 | P2O5 (%) | NS |
| Al2O3 (%) | 17,41 | Na2O (%) | 1,01 | SO3 (%) | 4,27 |
| Fe2O3 (%) | 7,96 | K2O (%) | 2,19 | V2O5 (%) | 0,01 |
| MgO (%) | 1,77 | TiO2 (%) | 1,58 | MnO (%) | NS |
| Pb (ppm) | 20 | Cu (ppm) | 210 | Cr (ppm) | 130 |
| Cd (ppm) | <50 | Ni (ppm) | 260 | Be (ppm) | 10 |
| Zn (ppm) | 580 | Mn (ppm) | 110 | | |

NORMA: ASTM D 3682 - 3683

Fig. 74: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (La Loma) 1

➤ Análisis de Carbón La Loma Cargado a Silo el 03-01-11 (Genco Knight)



PCM Ltda.
 Laboratorio de Combustibles
 Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.cl
 Padre Orellana 1421 - Santiago
 Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000
 En proceso de Implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2000
 Nro Certificado: 3774 - Año 2008
 Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3464

Santiago, 4 de febrero de 2011

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------|--|--------|----------------------------|
| | | # Documento | 18833 | | |
| | | # O.C. Cliente: | Abierta | | |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 04-01-2011 | Fecha de Muestreo | 27 al 30 de Dic 2010 | | |
| ID PCM | 19173 | Combustible | Carbón La Loma | | |
| ID Cliente | Motonave Genco Knight Compósito | Fecha Análisis | 01-02-2011 | | |
| Representatividad | 58640 ton. | Lugar de Muestreo | Ventanas | | |

RESULTADOS DEL COMPÓSITO CALCULADO

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|---------------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 15,44 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 6,71 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 6,37 | 7,53 |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 35,34 | 41,80 |
| Carbono Fijo (%) | ASTM D 3172 | 42,85 | 50,68 |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,48 | 0,56 |
| Poder Calorífico Sup. (kcal/kg) | ASTM D 5865 | 5.980 | 7.072 |
| HGI | ASTM D 409 | 49 | |

CARACTERÍSTICAS DE VARIACIÓN DE LOS LOTES

| Parámetro | Máximo | Promedio | Mínimo | Rango |
|--------------------|--------|----------|--------|-------|
| H. Total (%) | 16,51 | 15,44 | 14,74 | 1,77 |
| H. Residual (%) | 7,30 | 6,70 | 6,24 | 1,06 |
| Cenizas b.s (%) | 8,22 | 7,50 | 6,31 | 1,91 |
| M. Volátil b.s (%) | 42,35 | 41,80 | 41,52 | 0,83 |
| Azufre b.s (%) | 0,61 | 0,56 | 0,54 | 0,07 |
| PCS b.s (kcal/kg) | 7.151 | 7.074 | 7.030 | 120 |

Fig. 75: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (La Loma) 2

➤ Análisis de Carbón Rollestone Cargado a Silo el 03-01-11 (Kesaria)



PCM *l* *ab*
 Laboratorio de Combustibles
 Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcm.cl
 Padre Orellana 1421 - Santiago
 Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000
 En proceso de Implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2000
 N° Certificado: 3774 - Año 2008
 Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3293

Santiago, 2 de diciembre de 2010

| | |
|----------------|---------|
| # Documento | 18396 |
| # O.C. Cliente | Abierta |

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

| | | | | | |
|-----------|--|--------------------|--|--------|----------------------------|
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

| | | | |
|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Fecha Recepción | 11/11/2010 | Fecha de Muestreo | 05 al 10 de Noviembre 2010 |
| ID PCM | 18736 | Combustible | Carbón Rollestone |
| ID Cliente | Motonave Kesaria Compósito | Fecha Análisis | |
| Representatividad | 70800 ton. | Lugar de Muestreo | Ventanas |

RESULTADOS DEL COMPÓSITO ANALIZADO

ANÁLISIS ELEMENTAL

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|----------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 20,01 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 9,01 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 7,33 | 9,17 |
| Carbono (%) | ASTM D 5373 | 58,54 | 73,18 |
| Hidrógeno (%) | ASTM D 5373 | 5,79 | 4,44 |
| Nitrógeno (%) | ASTM D 5373 | 1,53 | 1,91 |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,45 | 0,56 |
| Oxígeno (%) | ASTM D 3180 | 26,36 | 10,74 |

Fig. 76: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (Rollestone) 1

➤ Análisis de Carbón Rollestone Cargado a Silo el 03-01-11 (Kesaria)



PCM Lab.
Laboratorio de Combustibles
Fono 551 89 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.tie.cl
Padre Orellana 1421 - Santiago
Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000
En proceso de Implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2000
Nro Certificado: 3774 - Año 2008
Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3293

Santiago, 2 de diciembre de 2010

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------|--|-----------------|----------------------------|
| | | | | # Documento: | 18396 |
| | | | | # O.C. Cliente: | Abierta |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 84.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 11/11/2010 | Fecha de Muestreo | 05 al 10 de Noviembre 2010 | | |
| ID PCM | 18738 | Combustible | Carbón Rollestone | | |
| ID Cliente | Motonave Kesaria Compósito | Fecha Análisis | | | |
| Representatividad | 70800 ton. | Lugar de Muestreo | Ventanas | | |

RESULTADOS DEL COMPÓSITO CALCULADO

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|---------------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 20,02 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 8,99 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 7,23 | 9,03 |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 28,10 | 35,13 |
| Carbono Fijo (%) | ASTM D 3172 | 44,66 | 55,84 |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,45 | 0,56 |
| Poder Calorífico Sup. (kcal/kg) | ASTM D 5865 | 5.527 | 6.910 |
| HGI | ASTM D 409 | 60 | |

CARACTERÍSTICAS DE VARIACIÓN DE LOS LOTES

| Parámetro | Máximo | Promedio | Mínimo | Rango |
|--------------------|--------|----------|--------|-------|
| H. Total (%) | 20,69 | 20,01 | 19,25 | 1,44 |
| H. Residual (%) | 11,34 | 8,95 | 6,94 | 4,40 |
| Cenizas b.s (%) | 9,54 | 9,03 | 8,63 | 0,91 |
| M. Volátil b.s (%) | 35,75 | 35,13 | 34,48 | 1,28 |
| Azufre b.s (%) | 0,61 | 0,56 | 0,52 | 0,09 |
| PCS b.s (kcal/kg) | 6.950 | 6.910 | 6.870 | 81 |

Fig. 77: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 03 de Enero del 2011 (Rollestone) 2

➤ Datos de % volumétrico de Gases de Combustión del 03 de Enero del 2011



Fig. 78: Análisis de Gases para el 03 de Enero del 2011

Cálculos del Carbón Cargado a Silo el 03-01-11

➤ Calculo de Análisis Inmediato de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 03-01-11

(Tipo de Muestra: 30% Cerrajón D, 40% La Loma, 30% Rollestone)

| Análisis Inmediato | | Kesaria | Diamond Seas | Genco Knight | | |
|---------------------------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| Datos Como Recibido (cr) | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Poder Calorífico Superior | Kcal/Kg | 5.527 | 6.205 | 5.980 | 5.911,60 | 7064 |
| Humedad Total | % | 20,02 | 13,76 | 15,44 | 16,31 | 0,00 |
| Humedad Inherente | % | 8,99 | 4,03 | 6,71 | 6,59 | 7,87 |
| Ceniza | % | 7,23 | 8,24 | 6,37 | 7,19 | 8,59 |
| Materia Volátil | % | 28,10 | 33,45 | 35,34 | 32,60 | 38,95 |
| Carbono Fijo | % | 44,66 | 44,54 | 42,85 | 43,90 | 52,46 |
| Azufre | % | 0,45 | 0,63 | 0,48 | 0,52 | 0,62 |
| Cloro | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Flúor | | | | | 0,00 | 0,00 |
| HGI | | 60 | 60 | 49 | 54,70 | 54,70 |
| Beta | | 0,41 | 57,00 | 0,51 | 0,44 | 0,44 |

Tabla 86: Calculo de Análisis Inmediato de Carbón para el 03 de Enero del 2011

- Cálculo de Análisis Elemental de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 03-01-11
(Tipo de Muestra: 30% Cerrajón D, 40% La Loma, 30% Rolleston)

| Análisis Elemental del Carbón | | Kesaria | Diamond Seas | Genco Knight | | |
|-------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Datos Base Seca | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Carbono | % | 73,18 | 74,15 | 73,25 | 61,51 | 73,50 |
| Hidrógeno | % | 4,44 | 5,07 | 5,02 | 4,07 | 4,86 |
| Oxígeno + Error | % | 10,74 | 8,81 | 12,10 | 8,96 | 10,71 |
| Nitrógeno | % | 1,91 | 1,59 | 1,45 | 1,36 | 1,63 |
| S (Azufre) | % | 0,56 | 0,73 | 0,57 | 0,51 | 0,62 |
| Total Parcial | % | 90,8 | 90,4 | 92,4 | | |
| Ceniza | % | 9,17 | 9,64 | 7,62 | 7,27 | 8,69 |
| Humedad | | | | | 16,31 | 0,00 |
| Total | % | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,00 | 100,00 |

Tabla 87: Cálculo de Análisis Elemental del Carbón para el 03 de Enero del 2011

- Cálculo de Análisis Mineral de la Ceniza de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 03-01-11
(Tipo de Muestra: 30% Cerrajón D, 40% La Loma, 30% Rollestone)

| Análisis Mineral de la Ceniza | | | Kesaria | Diamond Seas | Genco Knight | | |
|-------------------------------|--------------------------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Datos Base Seca | | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Silicio | SiO ₂ | % | 59,63 | 60,20 | 59,05 | 49,85 | 59,57 |
| Aluminio | Al ₂ O ₃ | % | 20,19 | 22,96 | 17,41 | 16,66 | 19,91 |
| Titanio | TiO ₂ | % | 1,20 | 0,82 | 1,58 | 1,04 | 1,24 |
| Óxido Férrico | Fe ₂ O ₃ | % | 7,35 | 6,73 | 7,96 | 6,20 | 7,41 |
| Calcio | CaO | % | 2,99 | 1,54 | 4,43 | 2,62 | 3,13 |
| Magnesio | MgO | % | 1,74 | 1,71 | 1,77 | 1,46 | 1,74 |
| Sodio | Na ₂ O | % | 1,07 | 1,13 | 1,01 | 0,89 | 1,06 |
| Potasio | K ₂ O | % | 2,37 | 2,54 | 2,19 | 1,96 | 2,35 |
| Fósforo | P ₂ O ₅ | % | 0,07 | 0,14 | 0,00 | 0,05 | 0,06 |
| Azufre | SO ₃ | % | 3,20 | 2,13 | 4,27 | 2,77 | 3,31 |
| Manganeso | Mn ₃ O ₄ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | | | 99,79 | 99,90 | 99,67 | 83,50 | 99,77 |

Tabla 88: Cálculo de Análisis Mineral de la Ceniza para el 03 de Enero del 2011

- Cálculo de la Temperatura de Fusión de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 03-01-11 (30%, 30%, 40% Respectivamente)

| Temperatura de Fusión | | | Kesaria | Diamond Seas | Genco Knight | |
|-----------------------|--------|--------|------------|--------------|--------------|-------------|
| | | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado |
| Deformación Inicial | (ID) | °C | 1.197 | 1.210 | 1.183 | 1195 |
| Ablandamiento | (ST) | °C | 1.234 | 1.268 | 1.200 | 1231 |
| Hemisférica | (HT) | °C | 1.278 | 1.310 | 1.245 | 1274 |
| Fluidez | (FT) | °C | 1.365 | 1.360 | 1.370 | 1366 |

Tabla 89: Cálculo de Temperatura de Fusión del Carbón para el 03 de Enero del 2011

➤ Análisis de Ceniza tomados en los P.E el 03-01-11


| | | | | | |
|---|--|---|--|---|----------------------------|
|  | | PCM Ltda. Laboratorio de Combustibles Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcm.cl Padre Orellana 1421 - Santiago Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000 En proceso de implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005 | | ISO 9001-2000 Nro Certificado: 3774 - Año 2008 Bureau Veritas | |
| CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3476 | | | | | |
| Santiago, 12 de enero de 2011 | | | | | |
| | | | | # Documento | 18863 |
| | | | | # O.C. Cliente | 3138 |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodriguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 06-01-2011 | Fecha de Muestreo | 03 de Ene 2011 15:00 hrs. | | |
| ID PCM | 19203 | Tipo de Muestra | Ceniza | | |
| ID Cliente | Unidad N° 2 | Fecha Análisis | 10-01-2011 | | |
| Representatividad | ND | Lugar de Muestreo | Tolva 2A 1er. Campo Sur | | |
| RESULTADOS DEL ANÁLISIS | | | | | |
| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca | | |
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 0,35 | | | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 0,35 | | | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 92,50 | 92,83 | | |
| Material Combustible (%) | ASTM D 3174 | 7,15 | 7,17 | | |

Fig. 79: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2A el 03 de Enero del 2011


| | | | | | |
|--|--|---|--|---|----------------------------|
|  | | PCM Ltda. Laboratorio de Combustibles Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcm.cl Padre Orellana 1421 - Santiago Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000 En proceso de implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005 | | ISO 9001-2000 Nro Certificado: 3774 - Año 2008 Bureau Veritas | |
| CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3477 | | | | | |
| Santiago, 12 de enero de 2011 | | | | | |
| | | | | # Documento | 18864 |
| | | | | # O.C. Cliente | 3138 |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodriguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 06-01-2011 | Fecha de Muestreo | 03 de Ene 2011 15:10 hrs. | | |
| ID PCM | 19204 | Tipo de Muestra | Ceniza | | |
| ID Cliente | Unidad N° 2 | Fecha Análisis | 10-01-2011 | | |
| Representatividad | ND | Lugar de Muestreo | Tolva 2B 1er. Campo Sur | | |
| RESULTADOS DEL ANÁLISIS | | | | | |
| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca | | |
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 0,11 | | | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 0,11 | | | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 92,82 | 92,92 | | |
| Material Combustible (%) | ASTM D 3174 | 7,07 | 7,08 | | |

Fig. 80: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2B el 03 de Enero del 2011

- Datos Para el Cálculo de la Eficiencia de la Caldera de la Unidad II Según el ASME PTC 4.1 (obtenidos del Short Run en la fecha que se ha mencionado)

| Carga | Unidades | Datos |
|---|-----------------------------|-------------------|
| Temperatura Ambiente | °C | 19,00 |
| Presión Atmosférica | mmHg | 760,20 |
| Carbón | wt% | 61,51 |
| Hidrogeno | wt% | 4,07 |
| Azufre | wt% | 0,51 |
| Nitrógeno | wt% | 1,36 |
| Oxígeno | wt% | 8,96 |
| Cenizas | wt% | 7,27 |
| Agua | wt% | 16,31 |
| Poder Calorífico Superior (como recibido) HHV | Kcal/Kg | 5.911,60 |
| HGI | | 54,70 |
| finza, malla 200 | % | 72,00 |
| Carbón no Quemado en la Ceniza de Fondo | UcBash (valor de análisis) | 13,55 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-1 | UcFash1 (valor de análisis) | 7,17 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-2 | UcFash2 (valor de análisis) | 7,08 |
| exceso de Aire a la salida del economizador | Ax= (Orzat & Calcur. (5)) | 1,41 |
| % EP | EP eff= Especial test | 99,90 |
| Flujo de Vapor Principal | Kg/h | 533.920,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 146,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | °C | 535,56 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kcal/kg | 815,73 |
| Presión de Vapor en el Domo | Kg/cm ² | 155,81 |
| Temperatura de Saturación (Domo) | °C | 341,40 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | Kcal/kg | 382,80 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | Kg/cm ² | 192,61 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | °C | 180,55 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | Kcal/kg | 184,99 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | °C | 180,55 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del | Kcal/kg | 184,96 |

| | | |
|---|--------------------|-------------------|
| Sobrecalentador | | |
| Flujo de Purga | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/h | 5.360,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | Kg/h | 465.171,20 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | Kg/cm ² | 26,55 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | °C | 530,06 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | Kcal/Kg | 842,42 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | Kg/cm ² | 30,14 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | °C | 335,99 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | Kcal/Kg | 735,66 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/h | 9.540,00 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | °C | 180,55 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kcal/Kg | 183,15 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | °C | 128,00 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | | 1,87 |
| Temperatura de Referencia | °C | 19,00 |
| Temperatura del Aire a la Salida del SAH | °C | 229,68 |
| Calor Especifico del Aire de Combustión | Kcal/Kg*°C | 0,25 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Temperatura del Gas a la Entrada del Calentador de Aire | °C | 305,85 |
| Calor Especifico del Aire Seco | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Calor Especifico del Vapor | Kcal/Kg*°C | 0,45 |
| Entalpia de Vapor Saturado | Kcal/kg | 654,70 |
| Calor Especifico del Gas Seco | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Entalpia de Vapor en tg y pg | Kcal/Kg | 654,70 |
| Entalpia de Liquido Saturado | Kcal/Kg | 19,00 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | % | 3,28 |
| Perdida Debido al Combustible No Quemado | % | 0,96 |
| Perdidas Debido a la Radiación | L7=(de Carta ABMA) | 0,27 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | L8 | 1,5 |

| | | | |
|---|------|------|--------------|
| CO2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO2 | vol% | 13,40 |
| CO en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | O2 | vol% | 2,30 |
| N2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | N2 | vol% | 84,30 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 10,15 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,45 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,40 |
| fuel C/H | | % | 15,12 |

Tabla 90: Datos Necesarios Para Cálculo de Eficiencia del 03 de Enero 2011

- Datos Para el Cálculo de la Eficiencia de la Caldera de la Unidad II Según el ASME PTC 4.1 Según Mitsubishi (obtenidos del Short Run en la fecha que se ha mencionado)

| Carga | Unidades | Datos |
|---|--------------------|-------------------|
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 146,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | °C | 535,56 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kcal/kg | 815,73 |
| Presión de Vapor en el Domo | Kg/cm ² | 155,81 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | Kcal/kg | 382,80 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | Kg/cm ² | 192,61 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | °C | 180,55 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | Kcal/kg | 184,99 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | °C | 180,55 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kcal/kg | 184,96 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | Kg/cm ² | 26,55 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | °C | 530,06 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | Kcal/Kg | 842,42 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | Kg/cm ² | 30,14 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | °C | 335,99 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | Kcal/Kg | 735,66 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | °C | 180,55 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kcal/Kg | 183,15 |
| Flujo de Vapor Principal | Kg/h | 533.920,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/h | 5.360,00 |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | Kg/h | 465.171,2 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/h | 9.540,00 |
| Temperatura Ambiente | °C | 19,00 |
| Carbón | wt% | 61,51 |
| Hidrogeno | wt% | 4,07 |
| Azufre | wt% | 0,51 |
| Nitrógeno | wt% | 1,36 |
| Oxigeno | wt% | 8,96 |
| Cenizas | wt% | 7,27 |
| Agua | wt% | 16,31 |

| | | | |
|--|-----|-----------|-----------------|
| Poder Calorífico Superior del Combustible | HHV | Kcal/Kg | 5.911,60 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | | vol% | 6,45 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | | vol% | 10,15 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | | vol% | 0 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | | vol% | 83,4 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | | °C | 128,00 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | | Kcal/Kg°C | 0,24 |
| Entalpía de Vapor Saturado | | Kcal/kg | 654,70 |
| Entalpia de Liquido Saturado | | Kcal/Kg | 19,00 |
| Perdidas por radiación | | % | 0,27 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | | | 1,5 |

Tabla 91: Datos Necesarios Para Calculo de Eficiencia del 03 de Enero 2011 (Mitsubishi)

Datos Otorgados por AES Gener y PCMLab del Carbón el 11-04-11

- Informe de Toneladas y Porcentajes de Carbón Cargado a Silo el 11-04-11

Gerencia de Combustibles

INFORME DIARIO DE ABASTECIDO

de 00 a 24 HRS.

| | |
|--------------|----------------------------|
| FECHA | Lunes, 11 de Abril de 2011 |
|--------------|----------------------------|

CARBON CARGADO A SILOS

| UNIDAD N° 1 | | UNIDAD N° 2 | |
|-------------|-----------|-------------|-----------|
| SILO | TONELADAS | SILO | TONELADAS |
| 1A | 281 | 2D | 425 |
| 1B | 273 | 2E | 433 |
| 1C | 275 | 2F | 357 |
| TOTAL | 829,00 | 2G | 429 |
| | | 2H | 387 |
| | | TOTAL | 2.031,00 |

| MEZCLA CARGADA A SILOS UNIDAD N° 1 | | | | |
|------------------------------------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| % | NAVE | TIPO DE CARBON | Lote | TONELADAS |
| | | | | 0,00 |
| 60% | STAR KINN | Cerrejon DM | 2011E4664 | 497,40 |
| 40% | ANNITA | La Loma | 2011E4666 | 331,60 |
| | | | | 0,00 |
| 100% | | TOTAL | | 829,00 |

| MEZCLA CARGADA A SILOS UNIDAD N° 2 | | | | |
|------------------------------------|-----------|----------------|--------------|-----------|
| % | NAVE | TIPO DE CARBON | Lote | TONELADAS |
| | | | | 0,00 |
| 60% | STAR KINN | Cerrejon DM | 2011E - 4664 | 1218,60 |
| 40% | Annita | La Loma | 2011E4666 | 812,40 |
| | | | | 0,00 |
| 100% | | TOTAL | | 2031,00 |

| | | | |
|-------------------------|-----------------------|------------------|----------|
| MOTONAVE: | M/N " ETERNAL GRACE " | | |
| ORIGEN: | CANADA | | |
| TIPO DE CARBON: | SIGNAL PEAK | | 2355473 |
| MANIFIESTO: | 70.206TM | Lectura Final | 2358333 |
| DESCARGA DIARIA: | 3.415,80 | Total Abastecido | 2.860,00 |
| TOTAL ACUMULADO: | 70.680,80 | | |

| | | ABASTECIDO UNIDAD N°1 | | |
|-------------------------------|------------|-----------------------|---------|-------|
| | | INICIO | TERMINO | TOTAL |
| EXISTENCIA ANTERIOR | 117.811,14 | | | |
| TOTAL RECEPCION NAVIERA | 3.415,00 | | | |
| TOTAL ABASTECIDO UNIDAD N°3 | 2.298,30 | 0:40 | 1:45 | 1:05 |
| TOTAL ABASTECIDOS A SILOS C.V | 2.860,00 | 5:20 | 5:55 | 0:35 |
| TOTAL RECEPCION | 0,00 | 21:16 | 23:50 | 2:34 |
| EXISTENCIA ACTUAL | 116.068,64 | | Total | 4:14 |

| ABASTECIDO UNIDAD N°2 | | |
|-----------------------|---------|-------|
| INICIO | TERMINO | TOTAL |
| 1:55 | 3:15 | 1:20 |
| 6:03 | 7:05 | 1:02 |
| 16:27 | 19:32 | 3:05 |
| 20:40 | 21:05 | 0:25 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| | Total | 5:52 |

Informe Valido

Fig. 81: Informe Diario de Abastecimiento de Carbón el Día 11 de Abril 2011

➤ Análisis de Carbón Cerrajón D Cargado a Silo el 11-04-11 (Star Kim)

| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
|---|--|---------------|-----------|----------|------|
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | | | | |
| Dirección | Mariano Sánchez Fortecilla 310 Of. 301 | | | | |
| Comuna | Las Condes | | | | |
| Contacto Comercial | Cristian Rodriguez | | | | |
| TELÉFONO | 32-2796148-5400 | | | | |
| Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | | | | |
| RUT | 94.272.000-9 | | | | |
| Fax | 32-2794012 | | | | |
| e-mail | cristian.rodriguez@aes.com | | | | |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 02-03-2011 | | | | |
| ID PCM | 19688 | | | | |
| ID Cliente | Motonave Star Kinn Compósito | | | | |
| Representatividad | 44004 | | | | |
| Fecha de Muestreo | 25 al 28 Feb 2011 | | | | |
| Tipo de Muestra | Carbón Cerrajón D Modificado | | | | |
| Fecha Análisis | 01-04-2011 | | | | |
| Lugar de Muestreo | Ventanas | | | | |
| RESULTADOS DEL ANÁLISIS | | | | | |
| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca | | |
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 15,04 | | | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 4,42 | | | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 8,13 | 9,57 | | |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,61 | 0,71 | | |
| Carbono (%) | ASTM D 5373 | 62,10 | 73,10 | | |
| Hidrógeno (%) | ASTM D 5373 | 5,97 | 5,04 | | |
| Nitrógeno (%) | ASTM D 5373 | 1,27 | 1,49 | | |
| Oxígeno (%) | ASTM D 3180 | 21,93 | 10,09 | | |
| As (ppm) | ASTM D 4606 | 3,6 | 4,2 | | |
| Se (ppm) | ASTM D 4606 | <1,0 | <1,0 | | |
| Hg (ppm) | ASTM D 3684 | <0.1 | <0.1 | | |
| Punto de Fusión de Cenizas | Atmósfera | Reductora | Oxidante | | |
| Temperatura de Deformación Inicial | | 1.190 °C | | | |
| Temperatura de Ablandamiento | | 1.225 °C | | | |
| Temperatura de Semiesfera | | 1.270 °C | | | |
| Temperatura de Fluidéz | | 1.350 °C | | | |
| NORMA: ASTM D 1857 | | | | | |
| Análisis Químico de Cenizas - Elementos Mayores y Menores | | | | | |
| SiO2 (%) | 57,58 | CaO (%) | 2,53 | P2O5 (%) | NS |
| Al2O3 (%) | 20,39 | Na2O (%) | 1,74 | SO3 (%) | NS |
| Fe2O3 (%) | 7,63 | K2O (%) | 2,73 | V2O5 (%) | 0,05 |
| MgO (%) | 2,08 | TiO2 (%) | 0,99 | MnO (%) | NS |
| Pb (ppm) | <50 | Cu (ppm) | 100 | Cr (ppm) | 60 |
| Cd (ppm) | <50 | Ni (ppm) | 90 | Be (ppm) | <50 |
| Zn (ppm) | 90 | Mn (ppm) | 290 | | |
| NORMA: ASTM D 3682 - 3683 | | | | | |

Fig. 82: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 11 de Abril del 2011 (Cerrajón DM) 1

➤ Análisis de Carbón Cerrajón D Cargado a Silo el 11-04-11 (Star Kim)


| | | | | | |
|---|--|---|--|--|----------------------------|
|  | | <p style="text-align: center;">PCM lab Laboratorio de Combustibles Fono 551 89 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.cl Padre Orellana 1421 - Santiago Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000 En proceso de Implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005</p> | | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;"> <small>ISO 9001-2000 Nro Certificado: 3774 – Año 2008 Bureau Veritas</small> </div> | |
| CERTIFICADO DE ANÁLISIS | | | Nº CV-3564 | | |
| Santiago, 5 de abril de 2011 | | | | | |
| | | | | # Documento | 19348 |
| | | | | # O.C. Cliente: | Abierta |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 02-03-2011 | Fecha de Muestreo | 25 al 28 Feb 2011 | | |
| ID PCM | 19888 | Combustible | Carbón Cerrajón D Modificado | | |
| ID Cliente | Motonave Star Kinn Compósito | Fecha Análisis | 01-04-2011 | | |
| Representatividad | 44004 ton. | Lugar de Muestreo | Ventanas | | |
| RESULTADOS DEL COMPÓSITO CALCULADO | | | | | |
| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca | | |
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 15,03 | | | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 4,41 | | | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 8,06 | 9,48 | | |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 33,24 | 39,12 | | |
| Carbono Fijo (%) | ASTM D 3172 | 43,67 | 51,40 | | |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,61 | 0,71 | | |
| Poder Calorífico Sup. (kcal/kg) | ASTM D 5865 | 6.056 | 7.127 | | |
| HGI | ASTM D 409 | 53 | | | |
| CARACTERÍSTICAS DE VARIACIÓN DE LOS LOTES | | | | | |
| Parámetro | Máximo | Promedio | Mínimo | Rango | |
| H. Total (%) | 15,70 | 15,09 | 13,92 | 1,77 | |
| H. Residual (%) | 4,92 | 4,41 | 3,92 | 1,01 | |
| Cenizas b.s (%) | 11,83 | 9,43 | 7,42 | 4,42 | |
| M. Volátil b.s (%) | 40,01 | 39,14 | 38,12 | 1,89 | |
| Azufre b.s (%) | 0,77 | 0,71 | 0,67 | 0,11 | |
| PCS b.s (kcal/kg) | 7.292 | 7.131 | 6.930 | 362 | |

Fig. 83: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 11 de Abril del 2011 (Cerrajón DM) 2

➤ Análisis de Carbón La Loma Cargado a Silo el 11-04-11 (Annita)


| | | | | | |
|---|---|-----------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|
|  | PCM Lab Laboratorio de Combustibles Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmilab.ile.cl Padre Orellana 1421 - Santiago Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000 En proceso de implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005 | | ISO 9001-2000 Nro Certificado: 3774 - Año 2008 Bureau Veritas | | |
| | CERTIFICADO DE ANALISIS N° CV-3587 | | | | |
| Santiago, 8 de abril de 2011 | | | | | |
| | | | # Documento | 10308 | |
| | | | # O.C. Cliente: | Abierta | |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodriguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontedilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 10-03-2011 | Fecha de Muestreo | 05 al 08 de Mar 2011 | | |
| ID PCM | 19738 | Tipo de Muestra | Carbón La Loma | | |
| ID Cliente | Motonave Annita Compósito | Fecha Análisis | 07-04-2011 | | |
| Representatividad | 48097 | Lugar de Muestreo | Ventanas | | |
| RESULTADOS DEL ANÁLISIS | | | | | |
| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca | | |
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 16,85 | | | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 8,38 | | | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 5,48 | 6,59 | | |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 35,96 | 43,25 | | |
| Carbono Fijo (%) | ASTM D 3172 | 41,71 | 50,17 | | |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,58 | 0,69 | | |
| Carbono (%) | ASTM D 5373 | 61,30 | 73,72 | | |
| Hidrógeno (%) | ASTM D 5373 | 6,14 | 5,12 | | |
| Nitrógeno (%) | ASTM D 5373 | 1,23 | 1,48 | | |
| Oxígeno (%) | ASTM D 3180 | 25,28 | 12,40 | | |
| As (ppm) | ASTM D 4606 | 1,8 | 2,2 | | |
| Se (ppm) | ASTM D 4606 | <1,0 | <1,0 | | |
| Hg (ppm) | ASTM D 3684 | <0.1 | <0.1 | | |
| Punto de Fusión de Cenizas | | | | | |
| | Atmósfera | Reductora | Oxidante | | |
| Temperatura de Deformación Inicial | | 1.135 °C | | | |
| Temperatura de Ablandamiento | | 1.163 °C | | | |
| Temperatura de Semiesfera | | 1.205 °C | | | |
| Temperatura de Fluidéz | | 1.325 °C | | | |
| NORMA: ASTM D 1857 | | | | | |
| Análisis Químico de Cenizas - Elementos Mayores y Menores | | | | | |
| SiO ₂ (%) | 47,41 | CaO (%) | 4,72 | P ₂ O ₅ (%) | NS |
| Al ₂ O ₃ (%) | 17,16 | Na ₂ O (%) | 1,84 | SO ₃ (%) | NS |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 12,25 | K ₂ O (%) | 2,90 | V ₂ O ₅ (%) | 0,04 |
| MgO (%) | 1,65 | TiO ₂ (%) | 1,29 | MnO (%) | NS |
| Pb (ppm) | <50 | Cu (ppm) | 110 | Cr (ppm) | 70 |
| Cd (ppm) | <50 | Ni (ppm) | 80 | Be (ppm) | <50 |
| Zn (ppm) | 100 | Mn (ppm) | 300 | | |
| NORMA: ASTM D 3682 - 3683 | | | | | |

Fig. 84: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 11 de Abril del 2011 (La Loma) 1

➤ Análisis de Carbón La Loma Cargado a Silo el 11-04-11 (Annita)



PCM lab
 Laboratorio de Combustibles
 Fono 551 89 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.tie.cl
 Padre Orellana 1421 - Santiago
 Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000
 En proceso de Implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2000
 Nro Certificado: 3774 - Año 2008
 Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3587

Santiago, 8 de abril de 2011

| | |
|-----------------|---------|
| # Documento | 19398 |
| # O.C. Cliente: | Abierta |

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

| | | | | | |
|------------------|--|---------------------------|--|---------------|----------------------------|
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| Fecha Recepción | 10-03-2011 | Fecha de Muestreo | 05 al 08 de Mar 2011 |
| ID PCM | 19738 | Combustible | Carbón La Loma |
| ID Cliente | Motonave Annita Compósito | Fecha Análisis | 07-04-2011 |
| Representatividad | 48097 ton. | Lugar de Muestreo | Ventanas |

RESULTADOS DEL COMPÓSITO CALCULADO

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|---------------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 16,90 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 8,43 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 5,42 | 6,52 |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 35,35 | 42,53 |
| Carbono Fijo (%) | ASTM D 3172 | 42,34 | 50,94 |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,58 | 0,69 |
| Poder Calorífico Sup. (kcal/kg) | ASTM D 5865 | 5.842 | 7.030 |
| HGI | ASTM D 409 | 48 | |

CARACTERÍSTICAS DE VARIACIÓN DE LOS LOTES

| Parámetro | Máximo | Promedio | Mínimo | Rango |
|--------------------|--------|----------|--------|-------|
| H. Total (%) | 17,60 | 16,90 | 16,63 | 0,97 |
| H. Residual (%) | 9,36 | 8,43 | 7,97 | 1,39 |
| Cenizas b.s (%) | 7,45 | 6,52 | 6,03 | 1,41 |
| M. Volátil b.s (%) | 43,39 | 42,53 | 41,96 | 1,43 |
| Azufre b.s (%) | 0,72 | 0,69 | 0,67 | 0,05 |
| PCS b.s (kcal/kg) | 7.092 | 7.030 | 6.963 | 129 |

Fig. 85: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 11 de Abril del 2011 (La Loma) 2

➤ Datos de % volumétrico de Gases de Combustión del 11 de Abril del 2011

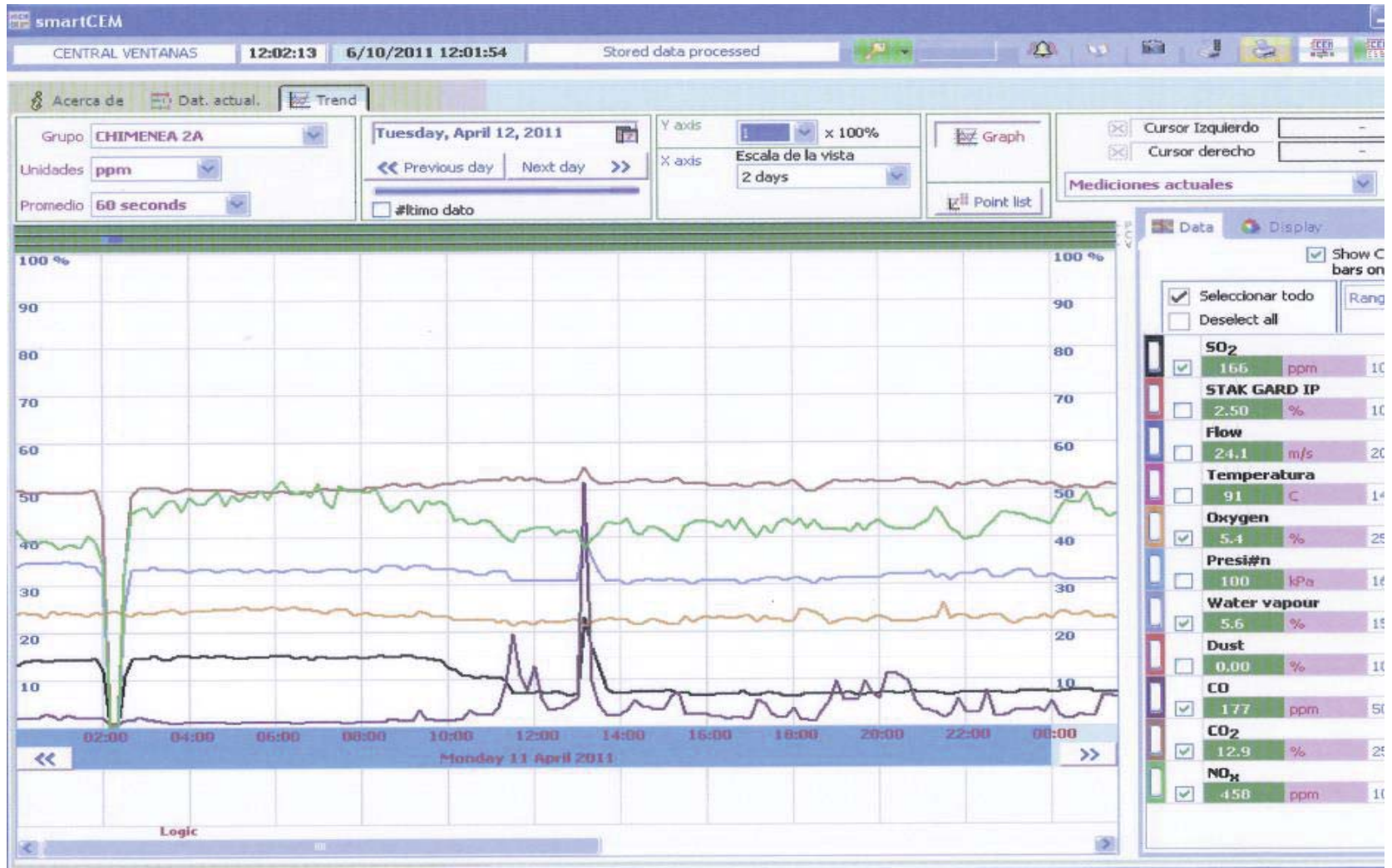


Fig. 86: Análisis de Gases para el 11 de Abril del 2011

Cálculos del Carbón Cargado a Silo el 11-04-11

- Cálculo de Análisis Inmediato de una Mezcla de Carbón cargada a Silo el 11-04-11

(Tipo de Muestra: 60% Cerrajón D, 40% La Loma)

| Análisis Inmediato | | | Star Kinn | Annita | | |
|---------------------------|---------|------------|------------|---------|-----------------|--------------|
| Datos Como Recibido (cr) | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Poder Calorífico Superior | Kcal/Kg | 0,00 | 6.050 | 5.842 | 5.970,40 | 7089 |
| Humedad Total | % | 0,00 | 15,03 | 16,90 | 15,78 | 0,00 |
| Humedad Inherente | % | 0,00 | 4,41 | 8,43 | 6,02 | 7,15 |
| Ceniza | % | 0,00 | 8,06 | 5,42 | 7,00 | 8,32 |
| Materia Volátil | % | 0,00 | 33,24 | 35,35 | 34,08 | 40,47 |
| Carbono Fijo | % | 0,00 | 43,67 | 42,34 | 43,14 | 51,22 |
| Azufre | % | 0,00 | 0,61 | 0,58 | 0,60 | 0,71 |
| Cloro | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Flúor | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HGI | | 0,00 | 53 | 48 | 51,00 | 51,00 |
| Beta | | 0,00 | 57,00 | 0,51 | 0,50 | 0,50 |

Tabla 92: Cálculo de Análisis Inmediato de Carbón para el 11 de Abril del 2011

- Cálculo de Análisis Elemental de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 11-04-11
(Tipo de Muestra: 60% Cerrajón D, 40% La Loma)

| Análisis Elemental del Carbón | | | Star Kinn | Annita | | |
|--------------------------------------|----------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Datos Base Seca | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Carbono | % | 0,00 | 73,10 | 73,72 | 61,78 | 73,35 |
| Hidrógeno | % | 0,00 | 5,04 | 5,12 | 4,27 | 5,07 |
| Oxígeno + Error | % | 0,00 | 10,09 | 12,40 | 9,28 | 11,01 |
| Nitrógeno | % | 0,00 | 1,49 | 1,48 | 1,25 | 1,49 |
| S (Azufre) | % | 0,00 | 0,71 | 0,69 | 0,59 | 0,70 |
| Total Parcial | % | 0,00 | 90,43 | 93,41 | | |
| Ceniza | % | 0,00 | 9,57 | 6,59 | 7,06 | 8,38 |
| Humedad | | | | | 15,78 | 0,00 |
| Total | % | 0,0 | 100,0 | 100,0 | 100,00 | 100,00 |

Tabla 93: Cálculo de Análisis Elemental de Carbón para el 11 de Abril del 2011

- Cálculo de Análisis Mineral de la Ceniza de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 11-04-11
(Tipo de Muestra: 60% Cerrajón D, 40% La Loma)

| Análisis Mineral de la Ceniza | | | Star Kinn | Annita | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|--------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Datos Base Seca | | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Silicio | SiO ₂ | % | 0,00 | 57,58 | 47,41 | 45,07 | 53,51 |
| Aluminio | Al ₂ O ₃ | % | 0,00 | 20,39 | 17,16 | 16,08 | 19,10 |
| Titanio | TiO ₂ | % | 0,00 | 0,99 | 1,29 | 0,93 | 1,11 |
| Óxido Férrico | Fe ₂ O ₃ | % | 0,00 | 7,63 | 12,25 | 7,98 | 9,48 |
| Calcio | CaO | % | 0,00 | 2,53 | 4,72 | 2,87 | 3,41 |
| Magnesio | MgO | % | 0,00 | 2,08 | 1,65 | 1,61 | 1,91 |
| Sodio | Na ₂ O | % | 0,00 | 1,74 | 1,84 | 1,50 | 1,78 |
| Potasio | K ₂ O | % | 0,00 | 2,73 | 2,90 | 2,36 | 2,80 |
| Fósforo | P ₂ O ₅ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Azufre | SO ₃ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Manganeso | Mn ₃ O ₄ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | | | 0,00 | 95,67 | 89,22 | 78,40 | 93,09 |

Tabla 94: Cálculo de Análisis Mineral de la Ceniza para el 11 de Abril del 2011

- Cálculo de la Temperatura de Fusión de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 11-04-11 (60%, 40% Respectivamente)

| Temperatura de Fusión | | Unidad | ROLLESTONE | Star Kinn | Annita | Ponderado |
|-----------------------|--------|--------|------------|-----------|--------|-----------|
| | | | CERREJON D | LA LOMA | | |
| Deformación Inicial | (ID) | °C | 0 | 1.190 | 1.135 | 1168,00 |
| Ablandamiento | (ST) | °C | 0 | 1.225 | 1.163 | 1200,20 |
| Hemisférica | (HT) | °C | 0 | 1.270 | 1.205 | 1244,00 |
| Fluidez | (FT) | °C | 0 | 1.350 | 1.325 | 1340,00 |

Tabla 95: Cálculo de Temperatura de Fusión del Carbón para el 11 de Abril del 2011

➤ Análisis de Ceniza tomada en los P.E el 12-04-11



Fig. 87: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2A el 11 de Abril del 2011

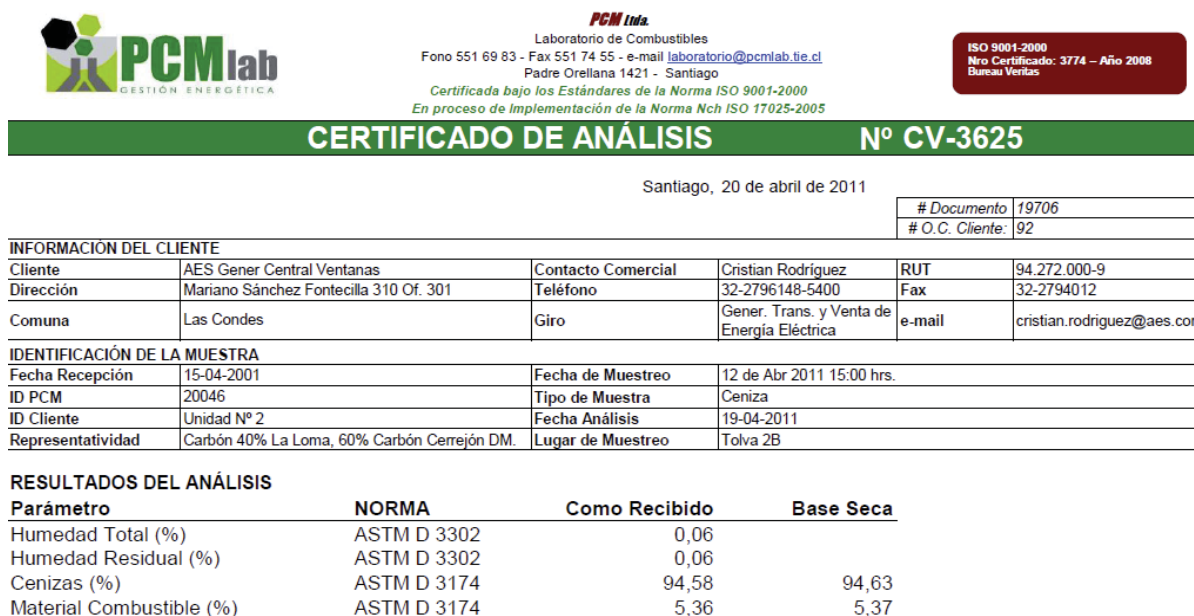


Fig. 88: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2B el 11 de Abril del 2011

- Datos Para el Cálculo de la Eficiencia de la Caldera de la Unidad II Según el ASME PTC 4.1 (obtenidos del Short Run en la fecha que se ha mencionado)

| Carga | Unidades | Datos |
|---|-----------------------------|-------------------|
| Temperatura Ambiente | °C | 18,00 |
| Presión Atmosférica | mmHg | 760,20 |
| Carbón | wt% | 61,78 |
| Hidrogeno | wt% | 4,27 |
| Azufre | wt% | 0,59 |
| Nitrógeno | wt% | 1,25 |
| Oxígeno | wt% | 9,28 |
| Cenizas | wt% | 7,06 |
| Agua | wt% | 15,78 |
| Poder Calorífico Superior (como Recibido) HHV | Kcal/Kg | 5.970,40 |
| HGI | | 51,00 |
| finza, malla 200 | | 70,00 |
| Carbón no Quemado en la Ceniza de Fondo | UcBash (valor de análisis) | 13,55 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-1 | UcFash1 (valor de análisis) | 6,62 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-2 | UcFash2 (valor de análisis) | 5,37 |
| exceso de Aire a la salida del economizador | Ax = (Orzat & Calcur. (5)) | 1,43 |
| % EP | EP eff= Especial test | 99,90 |
| Flujo de Vapor Principal | Kg/h | 566.730,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 148,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | °C | 534,15 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kcal/kg | 814,29 |
| Presión de Vapor en el Domo | Kg/cm ² | 157,51 |
| Temperatura de Saturación (Domo) | °C | 342,05 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | Kcal/kg | 383,89 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | Kg/cm ² | 188,36 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | °C | 180,93 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | Kcal/kg | 185,34 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 185,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | °C | 180,93 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del | Kcal/kg | 185,30 |

| | | |
|---|--------------------|-------------------|
| Sobrecalentador | | |
| Flujo de Purga | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/h | 4.310,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | Kg/h | 493.387,80 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | Kg/cm ² | 28,43 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | °C | 522,26 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | Kcal/Kg | 837,84 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | Kg/cm ² | 31,62 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | °C | 337,02 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | Kcal/Kg | 735,41 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/h | 12.820,00 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | °C | 180,93 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kcal/Kg | 183,55 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | °C | 116,50 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | | 1,90 |
| Temperatura de Referencia | °C | 18,00 |
| Temperatura del Aire a la Salida del SAH | °C | 223,49 |
| Calor Especifico del Aire de Combustión | Kcal/Kg*°C | 0,25 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Temperatura del Gas a la Entrada del Calentador de Aire | °C | 302,53 |
| Calor Especifico del Aire Seco | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Calor Especifico del Vapor | Kcal/Kg*°C | 0,45 |
| Entalpía de Vapor Saturado | Kcal/kg | 649,49 |
| Calor Especifico del Gas Seco | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Entalpia de Vapor en tg y pg | Kcal/Kg | 649,49 |
| Entalpia de Liquido Saturado | Kcal/Kg | 18,00 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | % | 1,67 |
| Perdida Debido al Combustible No Quemado | % | 0,85 |
| Perdidas Debido a la Radiación | L7=(de Carta ABMA) | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | L8 | 0,18 |

| | | | |
|---|------|------|--------------|
| CO2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO2 | vol% | 13,20 |
| CO en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | O2 | vol% | 1,95 |
| N2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | N2 | vol% | 84,85 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 9,90 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,80 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,30 |
| fuel C/H | | % | 14,46 |

Tabla 96: Datos Necesarios Para Cálculo de Eficiencia del 11 de Abril 2011

- Datos Para el Cálculo de la Eficiencia de la Caldera de la Unidad II Según el ASME PTC 4.1 Según Mitsubishi (obtenidos del Short Run en la fecha que se ha mencionado)

| | | | |
|---|--------------------|-------------------|-----------------|
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 148,00 | |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | °C | 534,15 | |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kcal/kg | 814,29 | |
| Presión de Vapor en el Domo | Kg/cm ² | 157,51 | |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | Kcal/kg | 383,89 | |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | Kg/cm ² | 188,36 | |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | °C | 180,93 | |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | Kcal/kg | 185,34 | |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 185,00 | |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | °C | 180,93 | |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kcal/kg | 185,30 | |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | Kg/cm ² | 28,43 | |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | °C | 522,26 | |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | Kcal/Kg | 837,84 | |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | Kg/cm ² | 31,62 | |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | °C | 337,02 | |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | Kcal/Kg | 735,41 | |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/cm ² | 38,40 | |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | °C | 180,93 | |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kcal/Kg | 183,55 | |
| Flujo de Vapor Principal | Kg/h | 566.730,00 | |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/h | 4.310,00 | |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Kg/h | 0,00 | |
| Flujo de Vapor Recalentado | Kg/h | 493.387,80 | |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/h | 12.820,00 | |
| Temperatura Ambiente | °C | 18,00 | |
| | Carbón | wt% | 61,78 |
| | Hidrogeno | wt% | 4,27 |
| | Azufre | wt% | 0,59 |
| | Nitrógeno | wt% | 1,25 |
| | Oxigeno | wt% | 9,28 |
| | Cenizas | wt% | 7,06 |
| | Agua | wt% | 15,78 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible | HHV | Kcal/Kg | 5.970,40 |

| | | |
|--|-----------|---------------|
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | vol% | 6,80 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | vol% | 9,90 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | vol% | 0,00 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | vol% | 83,30 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | °C | 116,50 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Kcal/Kg°C | 0,24 |
| Entalpía de Vapor Saturado | Kcal/kg | 649,49 |
| Entalpía de Líquido Saturado | Kcal/Kg | 18,00 |
| Perdidas por Radiación | % | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | % | 0,18 |

Tabla 97: Datos Necesarios Para Cálculo de Eficiencia del 11 de Abril 2011 (Mitsubishi)

Datos Otorgados por AES Gener y PCMLab del Carbón el 23-06-11

➤ Informe de Toneladas y Porcentajes de Carbón Cargado a Silo el 23-06-11

Gerencia de Combustibles

AES
la energía de ser globales

INFORME DIARIO DE ABASTECIDO

de 00 a 24 HRS.

| | |
|--------------|-----------------------|
| FECHA | 23-06-2011 23-06-2011 |
|--------------|-----------------------|

CARBON CARGADO A SILOS

| UNIDAD N° 1 | |
|--------------|---------------|
| SILO | TONELADAS |
| 1A | 212 |
| 1B | 318 |
| 1C | 259 |
| TOTAL | 789,00 |

| UNIDAD N° 2 | |
|--------------|-----------------|
| SILO | TONELADAS |
| 2D | 354 |
| 2E | 409 |
| 2F | 395 |
| 2G | 467 |
| 2H | 365 |
| TOTAL | 1.990,00 |

| MEZCLA CARGADA A SILOS UNIDAD N° 1 | | | | |
|------------------------------------|--------------|----------------|------------|---------------|
| % | NAVE | TIPO DE CARBON | Lote | TONELADAS |
| 90% | NORDRHINE | Cerrejon DM | 2011E-4677 | 710,10 |
| 10% | OCEAN FRIEND | ROLLESTONE | 2011E-4671 | 78,90 |
| | | | | 0,00 |
| 100% | | TOTAL | | 789,00 |

| MEZCLA CARGADA A SILOS UNIDAD N° 2 | | | | |
|------------------------------------|-----------|----------------|------------|----------------|
| % | NAVE | TIPO DE CARBON | Lote | TONELADAS |
| 100% | NORDRHINE | Cerrejon DM | 2011E-4677 | 1990,00 |
| | | | | 0,00 |
| | | | | 0,00 |
| 100% | | TOTAL | | 1990,00 |

| | | | |
|-------------------------|--------------|-------------------------|----------|
| MOTONAVE: | G.B. CORRADO | | |
| ORIGEN: | COLOMBIA | | |
| TIPO DE CARBON: | Cerrejon D M | Lectura Inicial | 2565639 |
| MANIFIESTO: | 58.790,00 | Lectura Final | 2568418 |
| DESCARGA DIARIA: | 14.572,00 | Total Abastecido | 2.779,00 |
| TOTAL ACUMULADO: | 36.182,00 | | |

| | | ABASTECIDO UNIDAD N°1 | | |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|---------|-------|
| | | INICIO | TERMINO | TOTAL |
| EXISTENCIA ANTERIOR | 48.213,64 | | | |
| TOTAL RECEPCION NAVIERA | 14.572,00 | | | |
| TOTAL ABASTECIDO UNIDAD N°3 | 2.376,30 | 1:00 | 2:05 | 1:05 |
| TOTAL ABASTECIDOS A SILOS C.V | 2.779,00 | 22:00 | 23:50 | 1:50 |
| TOTAL RECEPCION | | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| EXISTENCIA ACTUAL | 57.630,34 | | 0:00 | 2:55 |

| ABASTECIDO UNIDAD N°2 | | |
|-----------------------|---------|-------------|
| INICIO | TERMINO | TOTAL |
| 2:08 | 3:54 | 1:46 |
| 5:55 | 6:52 | 0:57 |
| 16:32 | 19:26 | 2:54 |
| 20:55 | 21:55 | 1:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Total | | 6:37 |

Informe Valido

Fig. 89: Informe Diario de Abastecimiento de Carbón el Día 23 de Junio 2011

➤ Análisis de Carbón Cerrejón DM Cargado a Silo el 23-06-11 (Nordrhine)



PGM Lab.
Laboratorio de Combustibles
Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.ile.cl
Padre Orellana 1421 - Santiago
Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000
En proceso de implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2000
Nro Certificado: 3774 - Año 2008
Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3774

Santiago, 20 de junio de 2011

| | |
|----------------|---------|
| # Documento | 20147 |
| # O.C. Cliente | Abierta |

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

| | | | | | |
|-----------|--|--------------------|--|--------|----------------------------|
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontedilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

| | | | |
|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Fecha Recepción | 07-06-2011 | Fecha de Muestreo | 01 al 05 de Jun 2011 |
| ID PCM | 20487 | Tipo de Muestra | Carbón Cerrejón D Modificado |
| ID Cliente | Motonave Nordrhine Compósito | Fecha Análisis | 20-06-2011 |
| Representatividad | 57823 | Lugar de Muestreo | Ventanas |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|----------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 15,01 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 6,47 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 8,57 | 10,08 |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 33,55 | 39,47 |
| Carbono Fijo (%) | ASTM D 3172 | 42,87 | 50,44 |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,66 | 0,77 |
| Carbono (%) | ASTM D 5373 | 62,45 | 73,48 |
| Hidrógeno (%) | ASTM D 5373 | 5,88 | 4,94 |
| Nitrógeno (%) | ASTM D 5373 | 1,31 | 1,54 |
| Oxígeno (%) | ASTM D 3180 | 21,14 | 9,19 |
| As (ppm) | ASTM D 4606 | 1,8 | 2,1 |
| Se (ppm) | ASTM D 4606 | <1 | <1 |
| Hg (ppm) | ASTM D 3684 | <0.1 | <0.1 |

| Punto de Fusión de Cenizas | Atmósfera | Reductora | Oxidante |
|------------------------------------|-----------|-----------|----------|
| Temperatura de Deformación Inicial | | 1.228 °C | |
| Temperatura de Ablandamiento | | 1.290 °C | |
| Temperatura de Semiesfera | | 1.325 °C | |
| Temperatura de Fluidéz | | 1.383 °C | |

NORMA: ASTM D 1857

Análisis Químico de Cenizas - Elementos Mayores y Menores

| | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------------------|------|-----------------------------------|------|
| SiO ₂ (%) | 61,96 | CaO (%) | 1,83 | P ₂ O ₅ (%) | NS |
| Al ₂ O ₃ (%) | 20,41 | Na ₂ O (%) | 0,77 | SO ₃ (%) | NS |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 6,88 | K ₂ O (%) | 2,08 | V ₂ O ₅ (%) | 0,09 |
| MgO (%) | 2,09 | TiO ₂ (%) | 1,57 | MnO (%) | NS |
| Pb (ppm) | <50 | Cu (ppm) | <50 | Cr (ppm) | 50 |
| Cd (ppm) | <50 | Ni (ppm) | <50 | Be (ppm) | <50 |
| Zn (ppm) | 70 | Mn (ppm) | <50 | | |

NORMA: ASTM D 3682 - 3683

Fig. 90: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 23 de Junio del 2011 (Cerrajón DM) 1

➤ Análisis de Carbón Cerrajón DM Cargado a Silo el 23-06-11 (Nordrhine)


| | | | | | |
|---|--|----------------------|---|--------------|----------------------------|
|  | PCM Lda. Laboratorio de Combustibles Fono 551 88 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.tie.cl Padre Orellana 1421 - Santiago Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2000 En proceso de Implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005 | | ISO 9001-2000 Nro Certificado: 3774 - Año 2008 Bureau Veritas | | |
| | CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3774 | | | | |
| | Santiago, 17 de junio de 2011 | | | | |
| | | | # Documento | 20147 | |
| | | # O.C. Cliente: | Abierta | | |
| INFORMACIÓN DEL CLIENTE | | | | | |
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha Recepción | 07-06-2011 | Fecha de Muestreo | 01 al 05 de Jun 2011 | | |
| ID PCM | 20487 | Combustible | Carbón Cerrajón D Modificado | | |
| ID Cliente | Motonave Nordrhine Compósito | Fecha Análisis | 13-06-2011 | | |
| Representatividad | 57823 ton. | Lugar de Muestreo | Ventanas | | |
| RESULTADOS DEL COMPÓSITO CALCULADO | | | | | |
| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca | | |
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 14,88 | | | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 6,32 | | | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 8,59 | 10,09 | | |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 33,20 | 39,00 | | |
| Carbono Fijo (%) | ASTM D 3172 | 43,33 | 50,91 | | |
| Azufre(%) | ASTM D 4239 | 0,66 | 0,77 | | |
| Poder Calorífico Sup. (kcal/kg) | ASTM D 5865 | 6.038 | 7.093 | | |
| HGI | ASTM D 409 | 54 | | | |
| CARACTERÍSTICAS DE VARIACIÓN DE LOS LOTES | | | | | |
| Parámetro | Máximo | Promedio | Mínimo | Rango | |
| H. Total (%) | 15,43 | 14,86 | 14,28 | 1,15 | |
| H. Residual (%) | 7,48 | 6,32 | 5,40 | 2,08 | |
| Cenizas b.s (%) | 11,09 | 10,06 | 8,93 | 2,16 | |
| M. Volátil b.s (%) | 39,52 | 39,00 | 38,03 | 1,49 | |
| Azufre b.s (%) | 0,83 | 0,77 | 0,72 | 0,11 | |
| PCS b.s (kcal/kg) | 7.186 | 7.097 | 6.990 | 196 | |

Fig. 91: Análisis de Carbón Cargado a Silo el 23 de Junio del 2011 (Cerrajón DM) 2

- Datos de % volumétrico de Gases de Combustión del 23 de Junio de 2011 del 2011



Fig. 92: Análisis de Gases para el 23 de Junio del 2011

Cálculos del Carbón Cargado a Silo el 23-06-11

- Cálculo de Análisis Inmediato de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 23-06-11

(Tipo de Muestra: 100% Cerrajón D)

| Análisis Inmediato | Nordrhine | | | Ponderado cr | Ponderado bs | |
|---------------------------|-----------|------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | | | LA LOMA |
| Datos Como Recibido (cr) | | | | | | |
| Poder Calorífico Superior | Kcal/Kg | 0,00 | 6.038 | 0,00 | 6.038,00 | 7094 |
| Humedad Total | % | 0,00 | 14,88 | 0,00 | 14,88 | 0,00 |
| Humedad Inherente | % | 0,00 | 6,32 | 0,00 | 6,32 | 7,42 |
| Ceniza | % | 0,00 | 8,59 | 0,00 | 8,59 | 10,09 |
| Materia Volátil | % | 0,00 | 33,20 | 0,00 | 33,20 | 39,00 |
| Carbono Fijo | % | 0,00 | 43,33 | 0,00 | 43,33 | 50,90 |
| Azufre | % | 0,00 | 0,66 | 0,00 | 0,66 | 0,78 |
| Cloro | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Flúor | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HGI | | 0,00 | 54 | 0,00 | 54,00 | 54,00 |

Tabla 98: Cálculo de Análisis Inmediato de Carbón para el 23 de Junio del 2011

- Cálculo de Análisis Elemental de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 23-06-11
(Tipo de Muestra: 100% Cerrajón D)

| Análisis Elemental del Carbón | | Nordrhine | | | | | |
|-------------------------------|----------|-------------|--------------|-------------|---------------|---------------|--|
| Datos Base Seca | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs | |
| Carbono | % | 0,00 | 73,48 | 0,00 | 62,55 | 73,48 | |
| Hidrógeno | % | 0,00 | 4,94 | 0,00 | 4,20 | 4,94 | |
| Oxígeno + Error | % | 0,00 | 9,19 | 0,00 | 7,82 | 9,19 | |
| Nitrógeno | % | 0,00 | 1,54 | 0,00 | 1,31 | 1,54 | |
| S (Azufre) | % | 0,00 | 0,77 | 0,00 | 0,66 | 0,77 | |
| Total Parcial | % | 0,00 | 89,92 | 0,00 | | | |
| Ceniza | % | 0,00 | 10,08 | 0,00 | 8,58 | 10,08 | |
| Humedad | | | | 0,00 | 14,88 | 0,00 | |
| Total | % | 0,0 | 100,0 | 0,00 | 100,00 | 100,00 | |

Tabla 99: Cálculo de Análisis Elemental de Carbón para el 23 de Junio del 2011

- Cálculo de Análisis Mineral de la Ceniza de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 23-06-11
(Tipo de Muestra: 100% Cerrajón D)

| Análisis Mineral de la Ceniza | | Nordrhine | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Datos Base Seca | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs | |
| Silicio | SiO ₂ | % | 0,00 | 61,96 | 0,00 | 52,74 | 61,96 |
| Aluminio | Al ₂ O ₃ | % | 0,00 | 20,41 | 0,00 | 17,37 | 20,41 |
| Titanio | TiO ₂ | % | 0,00 | 1,57 | 0,00 | 1,34 | 1,57 |
| Óxido Férrico | Fe ₂ O ₃ | % | 0,00 | 6,68 | 0,00 | 5,69 | 6,68 |
| Calcio | CaO | % | 0,00 | 1,83 | 0,00 | 1,56 | 1,83 |
| Magnesio | MgO | % | 0,00 | 2,09 | 0,00 | 1,78 | 2,09 |
| Sodio | Na ₂ O | % | 0,00 | 0,77 | 0,00 | 0,66 | 0,77 |
| Potasio | K ₂ O | % | 0,00 | 2,08 | 0,00 | 1,77 | 2,08 |
| Fósforo | P ₂ O ₅ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Azufre | SO ₃ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Manganeso | Mn ₃ O ₄ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | | | 0,00 | 97,39 | 0,00 | 82,90 | 97,39 |

Tabla 100: Cálculo de Análisis Mineral de la Ceniza para el 23 de Junio del 2011

- Cálculo de la Temperatura de Fusión de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 23-06-11 (100% Cerrajón D)

| Temperatura de Fusión | | Nordrhine | | | | |
|------------------------------|--------|------------|------------|---------|----------------|--|
| | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado | |
| Deformación Inicial (ID) | °C | 0 | 1.228 | 0 | 1228,00 | |
| Ablandamiento (ST) | °C | 0 | 1.290 | 0 | 1290,00 | |
| Hemisférica (HT) | °C | 0 | 1.325 | 0 | 1325,00 | |
| Fluidez (FT) | °C | 0 | 1.383 | 0 | 1383,00 | |

Tabla 101: Cálculo de Temperatura de Fusión del Carbón para el 23 de Junio del 2011

➤ Análisis de Ceniza tomada en los P.E el 23-06-11



PCM Ltda.
Laboratorio de Combustibles
Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.tie.cl
Padre Orellana 1421 - Santiago
Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2008
En proceso de implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2008
Nro Certificado: 3774 - Año 2008
Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3816

Santiago, 8 de julio de 2011

| | |
|-----------------|-------------------------|
| # Documento | 20362 |
| # O.C. Cliente: | S. de A. 28 de Jun 2011 |

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

| | | | | | |
|-----------|--|--------------------|--|--------|----------------------------|
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|
| Fecha Recepción | 01-07-2011 | Fecha de Muestreo | 24 de Jun 2011 11:00 hrs. |
| ID PCM | 20702 | Tipo de Muestra | Ceniza |
| ID Cliente | Unidad 2 Prueba Especial | Fecha Análisis | 06-07-2011 |
| Representatividad | Carbón 100% Cerrejón D Mod. | Lugar de Muestreo | Tolva PE 2A |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|--------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 0,14 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 0,14 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 92,73 | 92,87 |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 2,48 | 2,49 |
| Material Combustible (%) | ASTM D 3174 | 7,11 | 7,13 |

Fig. 93: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2A el 23 de Junio del 2011



PCM Ltda.
Laboratorio de Combustibles
Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.tie.cl
Padre Orellana 1421 - Santiago
Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2008
En proceso de implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2008
Nro Certificado: 3774 - Año 2008
Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3817

Santiago, 8 de julio de 2011

| | |
|-----------------|-------------------------|
| # Documento | 20363 |
| # O.C. Cliente: | S. de A. 28 de Jun 2011 |

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

| | | | | | |
|-----------|--|--------------------|--|--------|----------------------------|
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodríguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|
| Fecha Recepción | 01-07-2011 | Fecha de Muestreo | 24 de Jun 2011 11:00 hrs. |
| ID PCM | 20703 | Tipo de Muestra | Ceniza |
| ID Cliente | Unidad 2 Prueba Especial | Fecha Análisis | 06-07-2011 |
| Representatividad | Carbón 100% Cerrejón D Mod. | Lugar de Muestreo | Tolva PE 2B |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|--------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 0,20 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 0,20 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 92,25 | 92,43 |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 2,55 | 2,56 |
| Material Combustible (%) | ASTM D 3174 | 7,54 | 7,57 |

Fig. 94: Análisis de Ceniza Tomada en los P.E- 2B el 23 de Junio del 2011

➤ Análisis de Escoria tomados en los P.E el 23-06-11



PCM Ltda.
 Laboratorio de Combustibles
 Fono 551 69 83 - Fax 551 74 55 - e-mail laboratorio@pcmlab.tie.cl
 Padre Orellana 1421 - Santiago
 Certificada bajo los Estándares de la Norma ISO 9001-2008
 En proceso de Implementación de la Norma Nch ISO 17025-2005

ISO 9001-2008
 Nro Certificado: 3774 - Año 2008
 Bureau Veritas

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° CV-3797

Santiago, 8 de julio de 2011

| | |
|-----------------|---------|
| # Documento | 20285 |
| # O.C. Cliente: | Abierta |

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

| | | | | | |
|------------------|--|---------------------------|--|---------------|----------------------------|
| Cliente | AES Gener Central Ventanas | Contacto Comercial | Cristian Rodriguez | RUT | 94.272.000-9 |
| Dirección | Mariano Sánchez Fontecilla 310 Of. 301 | Teléfono | 32-2796148-5400 | Fax | 32-2794012 |
| Comuna | Las Condes | Giro | Gener. Trans. y Venta de Energía Eléctrica | e-mail | cristian.rodriguez@aes.com |

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

| | | | |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Fecha Recepción | 28-06-2011 | Fecha de Muestreo | 23 de Jun 2011 10:35 hrs. |
| ID PCM | 20625 | Tipo de Muestra | Escoria |
| ID Cliente | Muestra Escoria Unidad N° 2 | Fecha Análisis | 06-07-2011 |
| Representatividad | Carbón 100% Cerrejón D Mod. | Lugar de Muestreo | Pileta Rash |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| Parámetro | NORMA | Como Recibido | Base Seca |
|--------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Humedad Total (%) | ASTM D 3302 | 45,01 | |
| Humedad Residual (%) | ASTM D 3302 | 0,70 | |
| Cenizas (%) | ASTM D 3174 | 47,54 | 86,45 |
| Materia Volátil (%) | ASTM D 3175 | 2,90 | 5,28 |
| Material Combustible (%) | ASTM D 3174 | 7,40 | 13,55 |

Fig. 95: Análisis de Ceniza Tomada de la Escoria el 23 de Junio del 2011

- Datos Para el Cálculo de la Eficiencia de la Caldera de la Unidad II Según el ASME PTC 4.1 (obtenidos del Short Run en la fecha que se ha mencionado)

| Carga | Unidades | Datos |
|---|-----------------------------|-------------------|
| Temperatura Ambiente | °C | 16,00 |
| Presión Atmosférica | mmHg | 760,20 |
| Carbón | wt% | 62,55 |
| Hidrogeno | wt% | 4,20 |
| Azufre | wt% | 0,66 |
| Nitrógeno | wt% | 1,31 |
| Oxígeno | wt% | 7,82 |
| Cenizas | wt% | 8,58 |
| Agua | wt% | 14,88 |
| Poder Calorífico Superior (como recibido) HHV | Kcal/Kg | 6.038,00 |
| HGI | | 54,00 |
| finiza, malla 200 | | 69,23 |
| Carbón no Quemado en la Ceniza de Fondo | UcBash (valor de análisis) | 13,55 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-1 | UcFash1 (valor de análisis) | 7,13 |
| Carbón no Quemado en Ceniza Volante EP-2 | UcFash2 (valor de análisis) | 7,57 |
| exceso de Aire a la salida del economizador | Ax= (Orzat & Calcur. (5)) | 1,44 |
| % EP | EP eff= Especial test | 99,90 |
| Flujo de Vapor Principal | Kg/h | 569.000,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 138,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | °C | 534,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kcal/kg | 816,81 |
| Presión de Vapor en el Domo | Kg/cm ² | 159,00 |
| Temperatura de Saturación (Domo) | °C | 341,36 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | Kcal/kg | 382,34 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | Kg/cm ² | 192,62 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | °C | 170,46 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | Kcal/kg | 174,54 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del | Kcal/kg | 174,50 |

| | | |
|---|--------------------|-------------------|
| Sobrecalentador | | |
| Flujo de Purga | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/h | 3.960,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | Kg/h | 495.340,00 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | Kg/cm ² | 28,27 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | °C | 520,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | Kcal/Kg | 836,74 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | Kg/cm ² | 31,49 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | °C | 338,45 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | Kcal/Kg | 736,31 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/h | 16.360,00 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kcal/Kg | 172,60 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | °C | 122,50 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Exceso de Aire a la Salida de AH | | 1,88 |
| Temperatura de Referencia | °C | 16,00 |
| Temperatura del Aire a la Salida del SAH | °C | 225,55 |
| Calor Especifico del Aire de Combustión | Kcal/Kg*°C | 0,25 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Temperatura del Gas a la Entrada del Calentador de Aire | °C | 303,84 |
| Calor Especifico del Aire Seco | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Calor Especifico del Vapor | Kcal/Kg*°C | 0,45 |
| Entalpía de Vapor Saturado | Kcal/kg | 652,00 |
| Calor Especifico del Gas Seco | Kcal/Kg*°C | 0,24 |
| Entalpia de Vapor en tg y pg | Kcal/Kg | 652,00 |
| Entalpia de Liquido Saturado | Kcal/Kg | 16,00 |
| Perdida Debido a la Humedad en el Combustible | % | 1,57 |
| Perdida Debido al Combustible No Quemado | % | 1,11 |
| Perdidas Debido a la Radiación | L7=(de Carta ABMA) | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | L8 | 0,18 |

| | | | |
|---|------|------|--------------|
| CO2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO2 | vol% | 13,05 |
| CO en el Gas Combustible a la Entrada del AH | CO | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | O2 | vol% | 2,15 |
| N2 en el Gas Combustible a la Entrada del AH | N2 | vol% | 84,80 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO2' | vol% | 10,00 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | CO ' | vol% | 0,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | O2' | vol% | 6,65 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | N2' | vol% | 83,35 |
| fuel C/H | | % | 14,87 |

Tabla 102: Datos Necesarios Para Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011

- Datos Para el Cálculo de la Eficiencia de la Caldera de la Unidad II Según el ASME PTC 4.1 Según Mitsubishi (obtenidos del Short Run en la fecha que se ha mencionado)

| | | |
|---|--------------------|-------------------|
| Presión de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 138,00 |
| Temperatura de Vapor a la Salida del Sobrecalentador | °C | 534,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Sobrecalentador | Kcal/kg | 816,81 |
| Presión de Vapor en el Domo | Kg/cm ² | 159,00 |
| Entalpia del Líquido Saturado (Domo) | Kcal/kg | 382,34 |
| Presión del Agua a la Entrada del Economizador | Kg/cm ² | 192,62 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del Economizador | °C | 170,46 |
| Entalpia a la Entrada del Economizador | Kcal/kg | 174,54 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/cm ² | 190,00 |
| Temperatura del Agua a la Entrada del HPH | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kcal/kg | 174,50 |
| Presión de Vapor a la Salida del Recalentador | Kg/cm ² | 28,27 |
| Temperatura del Vapor a la Salida del Recalentador | °C | 520,00 |
| Entalpia del Vapor a la Salida del Recalentador | Kcal/Kg | 836,74 |
| Presión de Vapor a la Entrada del Recalentador | Kg/cm ² | 31,49 |
| Temperatura del Vapor a la Entrada del Recalentador | °C | 338,45 |
| Entalpia del Vapor a la Entrada del Recalentador | Kcal/Kg | 736,31 |
| Presión de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/cm ² | 38,40 |
| Temperatura del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | °C | 170,46 |
| Entalpia del Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kcal/Kg | 172,60 |
| Flujo de Vapor Principal | Kg/h | 569.000,00 |
| | | |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Sobrecalentador | Kg/h | 3.960,00 |
| | | |
| Flujo de Purga (Sobrecalentador) | Kg/h | 0,00 |
| Flujo de Vapor Recalentado | Kg/h | 495.340,00 |
| Flujo de Agua en el Atempador (Spray) del Recalentador | Kg/h | 16.360,00 |
| Temperatura Ambiente | °C | 16,00 |
| | Carbón wt% | 62,55 |
| | Hidrogeno wt% | 4,20 |
| | Azufre wt% | 0,66 |
| | Nitrógeno wt% | 1,31 |
| | Oxigeno wt% | 7,82 |
| | Cenizas wt% | 8,58 |

| | | | |
|--|------|-----------|-----------------|
| | Agua | wt% | 14,88 |
| Poder Calorífico Superior del Combustible | HHV | Kcal/Kg | 6.038,00 |
| O2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | | vol% | 6,65 |
| CO2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | | vol% | 10,00 |
| CO en el Gas Combustible a la Salida del AH | | vol% | 0,00 |
| N2 en el Gas Combustible a la Salida del AH | | vol% | 83,35 |
| Temperatura del Gas a la Salida del AH (corr.) | | °C | 122,50 |
| Calor Especifico del Gas a la Salida del AH | | Kcal/Kg°C | 0,24 |
| Entalpía de Vapor Saturado | | Kcal/kg | 652,00 |
| Entalpía de Líquido Saturado | | Kcal/Kg | 16,00 |
| Perdidas por Radiación | | % | 0,19 |
| Perdidas Debido a Desmedidas | | | 0,18 |

Tabla 103: Datos Necesarios Para Cálculo de Eficiencia del 23 de Junio 2011 (Mitsubishi)

Cálculos del Carbón Cargado a Silo el 23-06-11 con Análisis de Carbón Cargado a Silo

- Calculo de Análisis Inmediato de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 23-06-11 Con Análisis de Carbón cargado a Silo
(Tipo de Muestra: 100% Cerrajón D)

| Análisis Inmediato | Nordrhine | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------|------------|------------|-----------------|--------------|
| | Datos Como Recibido (cr) | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr |
| Poder Calorífico Superior | Kcal/Kg | 0,00 | 6.038 | 0,00 | 6.038,00 | 7143 |
| Humedad Total | % | 0,00 | 15,47 | 0,00 | 15,47 | 0,00 |
| Humedad Inherente | % | 0,00 | 6,02 | 0,00 | 6,02 | 7,12 |
| Ceniza | % | 0,00 | 8,42 | 0,00 | 8,42 | 9,96 |
| Materia Volátil | % | 0,00 | 32,78 | 0,00 | 32,78 | 38,78 |
| Carbono Fijo | % | 0,00 | 43,33 | 0,00 | 43,33 | 51,26 |
| Azufre | % | 0,00 | 0,58 | 0,00 | 0,58 | 0,69 |
| Cloro | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Flúor | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HGI | | 0,00 | 54 | 0,00 | 54,00 | 54,00 |

Tabla 104: Calculo de Análisis Inmediato de Carbón Cargado a Silo para el 23 de Junio del 2011

- Cálculo de Análisis Elemental de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 23-06-11 Con Análisis de Carbón cargado a Silo
(Tipo de Muestra: 100% Cerrajón D)

| Análisis Elemental del Carbón | | Nordrhine | | | | |
|--------------------------------------|----------|-------------|--------------|-------------|---------------|---------------|
| Datos Base Seca | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs |
| Carbono | % | 0,00 | 73,25 | 0,00 | 61,92 | 73,25 |
| Hidrógeno | % | 0,00 | 4,97 | 0,00 | 4,20 | 4,97 |
| Oxígeno + Error | % | 0,00 | 9,69 | 0,00 | 8,19 | 9,69 |
| Nitrógeno | % | 0,00 | 1,44 | 0,00 | 1,22 | 1,44 |
| S (Azufre) | % | 0,00 | 0,69 | 0,00 | 0,58 | 0,69 |
| Total Parcial | % | 0,00 | 90,04 | 0,00 | | |
| Ceniza | % | 0,00 | 9,96 | 0,00 | 8,42 | 9,96 |
| Humedad | | | | 0,00 | 15,47 | 0,00 |
| Total | % | 0,0 | 100,0 | 0,00 | 100,00 | 100,00 |

Tabla 105: Cálculo de Análisis Elemental de Carbón Cargado a Silo para el 23 de Junio del 2011

- Cálculo de Análisis Mineral de la Ceniza de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 23-06-11 Con Análisis de Carbón cargado a Silo (Tipo de Muestra: 100% Cerrajón D)

| Análisis Mineral de la Ceniza | | Nordrhine | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Datos Base Seca | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado cr | Ponderado bs | |
| Silicio | SiO ₂ | % | 0,00 | 57,10 | 0,00 | 48,27 | 57,10 |
| Aluminio | Al ₂ O ₃ | % | 0,00 | 20,80 | 0,00 | 17,58 | 20,80 |
| Titanio | TiO ₂ | % | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,27 | 1,50 |
| Óxido Férrico | Fe ₂ O ₃ | % | 0,00 | 7,06 | 0,00 | 5,97 | 7,06 |
| Calcio | CaO | % | 0,00 | 1,03 | 0,00 | 0,87 | 1,03 |
| Magnesio | MgO | % | 0,00 | 1,80 | 0,00 | 1,52 | 1,80 |
| Sodio | Na ₂ O | % | 0,00 | 0,64 | 0,00 | 0,54 | 0,64 |
| Potasio | K ₂ O | % | 0,00 | 2,38 | 0,00 | 2,01 | 2,38 |
| Fósforo | P ₂ O ₅ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Azufre | SO ₃ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Manganeso | Mn ₃ O ₄ | % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | | | 0,00 | 92,31 | 0,00 | 78,03 | 92,31 |

Tabla 106: Cálculo de Análisis Mineral de la Ceniza de Carbón Cargado a Silo para el 23 de Junio del 2011

- Cálculo de la Temperatura de Fusión de una Mezcla de Carbón Cargada a Silo el 23-06-11 (100% Cerrajón D)

| Temperatura de Fusión | | Nordrhine | | | | |
|------------------------------|--------|------------|------------|---------|-----------|----------------|
| | Unidad | ROLLESTONE | CERREJON D | LA LOMA | Ponderado | |
| Deformación Inicial | (ID) | °C | 0 | 1.230 | 0 | 1230,00 |
| Ablandamiento | (ST) | °C | 0 | 1.290 | 0 | 1290,00 |
| Hemisférica | (HT) | °C | 0 | 1.348 | 0 | 1348,00 |
| Fluidez | (FT) | °C | 0 | 1.385 | 0 | 1385,00 |

Tabla 107: Cálculo de Temperatura de Fusión del Carbón Cargado a Silo para el 23 de Junio del 2011

Anexo De Cálculo y Cotizaciones de Equipos Para el Retensado

Cálculos del Pulverizador 2-D

Tabla de datos

| Fecha | Toneladas | Horas | Ø Medio | Nº Bolas | Línea de Tendencia | % Error |
|-------------------|------------|--------------|------------|-----------|--------------------|---------------|
| 15-04-2009 | 0,00 | 48.350,90 | 311,00 | 18,00 | 311,14 | -0,0450 |
| 08-08-2009 | 34.571,00 | 50.603,40 | 300,83 | 18,00 | 300,29 | 0,1793 |
| 24-10-2009 | 61.341,00 | 52.298,50 | 291,40 | 18,00 | 291,23 | 0,0574 |
| 10-02-2010 | 83.411,00 | 53.719,00 | 284,10 | 20,00 | 283,33 | 0,2697 |
| 18-04-2010 | 93.068,00 | 54.273,00 | 280,10 | 20,00 | 279,75 | 0,1232 |
| 16-05-2010 | 101.095,00 | 54.737,00 | 277,00 | 20,00 | 276,72 | 0,0998 |
| 26-06-2010 | 116.639,00 | 55.714,00 | 272,00 | 20,00 | 270,71 | 0,4756 |
| 28-08-2010 | 131.949,00 | 56.655,00 | 265,00 | 22,00 | 264,59 | 0,1543 |
| 10-10-2010 | 147.477,00 | 57.570,00 | 259,39 | 22,00 | 258,20 | 0,4599 |
| 12-11-2010 | 156.776,00 | 58.229,30 | 255,00 | 22,00 | 254,28 | 0,2840 |
| 27-11-2010 | 160.613,00 | 58.475,70 | 254,00 | 22,00 | 252,64 | 0,5364 |
| 20-03-2011 | 0 | 59547 | 312 | 18 | 311,14 | 0,2756 |

Tabla 108: Datos del Pulverizador 2-D Juego 20 y 21

Mediante los puntos tomados del juego 20 (Color Rojo) se creara una tendencia que en este caso es un polinomio de grado 2. Y con este se podrá observar en forma estimativa cuando se tendrá que hacer un Retensado en servicio según el Tonelaje que ha molido este Pulverizador. Si el pulverizador mantiene condiciones iguales de trabajo tales como tensión del Resorte, Dureza de Bola, Dureza de Cubetas y una dureza de Carbón parecida a la tratada anteriormente. Tendría que dar valores similares de desgaste v/s toneladas molidas en el juego 21 (Color Azul).

Tendencia

Pulverizador 2.-D-20

$$Y = -4 \cdot 10^{-10} \cdot x^2 - 0,0003 \cdot x + 311,14$$

$$R^2 = 0,9997$$

Tabla estimativa entre toneladas molidas (X) y diámetros estimativos de la línea de tendencia (Y)

| X | Y | X | Y |
|--------|--------|---------|--------|
| 0 | 311,14 | 95.000 | 279,03 |
| 5.000 | 309,63 | 100.000 | 277,14 |
| 10.000 | 308,1 | 105.000 | 275,23 |
| 15.000 | 306,55 | 110.000 | 273,3 |
| 20.000 | 304,98 | 115.000 | 271,35 |
| 25.000 | 303,39 | 120.000 | 269,38 |
| 30.000 | 301,78 | 125.000 | 267,39 |
| 35.000 | 300,15 | 130.000 | 265,38 |
| 40.000 | 298,5 | 135.000 | 263,35 |
| 45.000 | 296,83 | 140.000 | 261,3 |
| 50.000 | 295,14 | 145.000 | 259,23 |
| 55.000 | 293,43 | 150.000 | 257,14 |
| 60.000 | 291,7 | 155.000 | 255,03 |
| 65.000 | 289,95 | 160.000 | 252,9 |
| 70.000 | 288,18 | 165.000 | 250,75 |
| 75.000 | 286,39 | 170.000 | 248,58 |
| 80.000 | 284,58 | | |
| 85.000 | 282,75 | | |
| 90.000 | 280,9 | | |

Tabla 109: Estimacion de Toneladas Molidas v/s Diametro Estimativo de la Linea de Tendencia del Pulverizador 2-D

Grafico

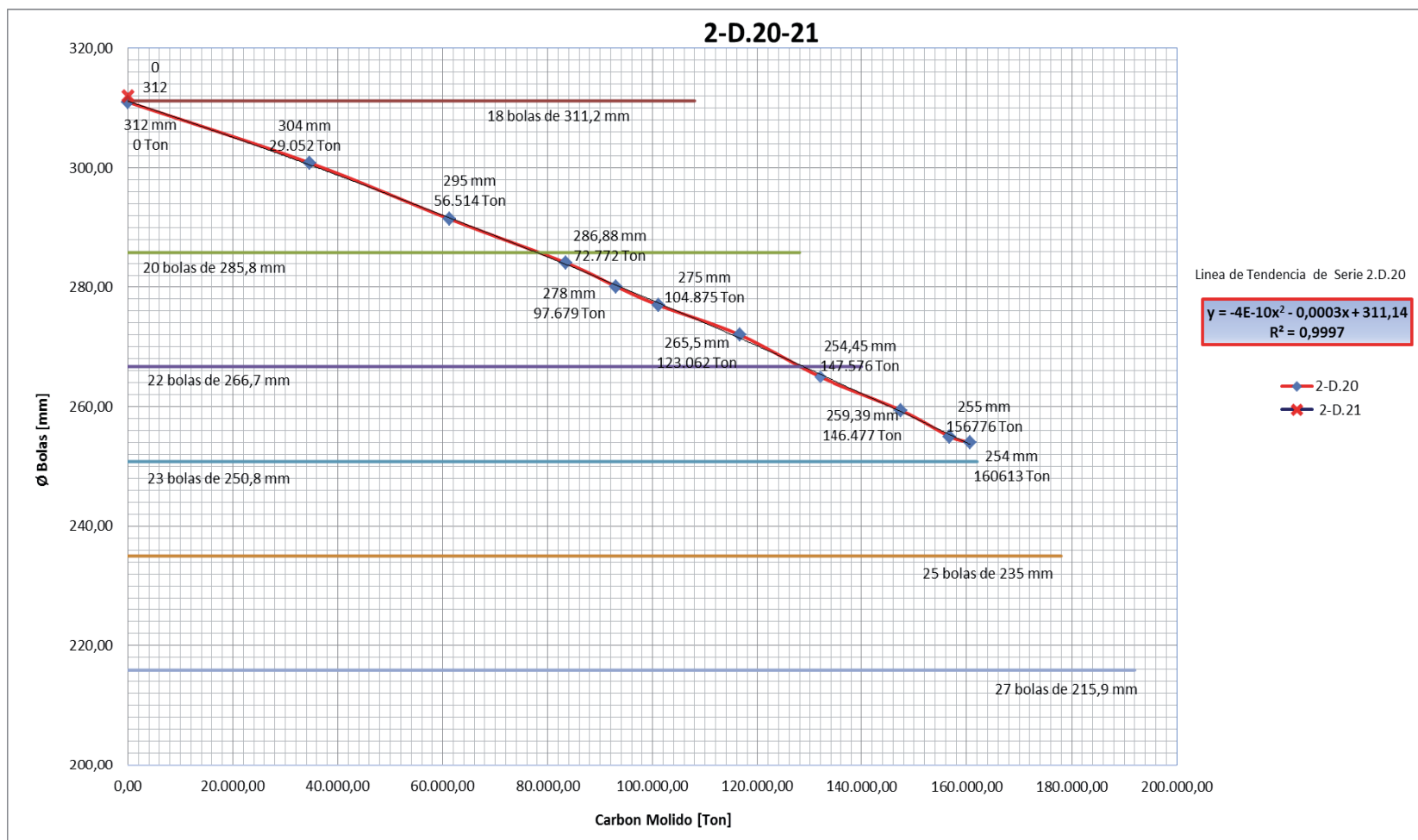


Fig. 96: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-D

Cálculos del Pulverizador 2-E

Tabla de datos

| Fecha | Toneladas | Horas | Ø Medio | Nº Bolas | Línea de Tendencia1 | % Error | Línea de Tendencia2 | % Error2 |
|------------|-----------|-----------|---------|----------|---------------------|---------|---------------------|-----------|
| 20-11-2008 | 0 | 23.879,30 | 312,00 | 18,00 | 312,31 | -0,0994 | 312,00 | 0,0000 |
| 01-03-2009 | 29.773 | 25.692,90 | 307,00 | 18,00 | 305,15 | 0,6028 | 303,95 | 0,9939 |
| 23-05-2009 | 55.221 | 27.126,80 | 295,00 | 18,00 | 294,79 | 0,0710 | 324,46 | -9,9878 |
| 19-07-2009 | 79.262 | 28.484,60 | 288,30 | 20,00 | 283,98 | 1,5000 | 433,05 | -50,2090 |
| 17-09-2009 | 103.582 | 29.897,30 | 283,70 | 20,00 | 272,58 | 3,9207 | 691,85 | -143,8682 |
| 03-03-2010 | 142.173 | 32.236,00 | 273,00 | 20,00 | 250,16 | 8,3679 | 1557,76 | -470,6086 |
| 11-04-2010 | 150.713 | 32.743,00 | 272,00 | 20,00 | 243,46 | 10,4909 | 1844,99 | -578,3041 |
| 26-06-2010 | 174.995 | 34.312,00 | 263,18 | 22,00 | 217,93 | 17,1951 | 2890,81 | -998,4153 |
| | 0 | | 312,00 | 18,00 | 312,31 | -0,0994 | 312,00 | 0,0000 |
| 12-11-2010 | 15.995 | 36.805,00 | 309,00 | 18,00 | 309,47 | -0,1527 | 309,43 | -0,1390 |
| 27-11-2010 | 20.235 | 37.052,60 | 307,00 | 18,00 | 308,29 | -0,4197 | 307,49 | -0,1603 |
| 20-03-2011 | 37.848 | 38.128,00 | 303,00 | 18,00 | 302,10 | 0,2979 | 304,01 | -0,3323 |
| 04-06-2011 | 64.203 | 39.719,00 | 296,00 | 18,00 | 290,08 | 1,7567 | 351,63 | -18,7947 |

Tabla 110: Datos del Pulverizador 2-E Juego 20 y 21

Mediante los puntos del juego 20 (Color Rojo) y 21 (Color azul) se creara una tendencia que en este caso es un polinomio de grado 4 y 3 respectivamente. Y con este se podrá observar en forma estimativa cuando se tendrá que hacer un Retensado en servicio según el Tonelaje que ha molido este Pulverizador. Si el pulverizador mantiene condiciones iguales de trabajo tales como tensión del Resorte, Dureza de Bola, Dureza de Cubetas y una dureza de Carbón parecida a la tratada anteriormente, etc. Tendría que dar valores similares de desgaste v/s toneladas molidas en el juego 21 (Color Azul).

Tendencia

Pulverizador 2.-E-20

$$Y = -2 \cdot 10^{-19} \cdot x^4 + 6 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 - 7 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot x + 312,31$$

$$R^2 = 0,996$$

Pulverizador 2.-E-21

$$Y = 7 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 - 4 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 + 0,0003 \cdot x + 312$$

$$R^2 = 1$$

Tabla estimativa entre toneladas molidas (X) y diámetros estimativos de la línea de tendencia del juego 20 (Y1) y del juego 21 (Y2)

| X | Y1 | Y2 | X | Y1 | Y2 |
|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| 0 | 312,31 | 312 | 95.000 | 276,68 | 579,66 |
| 5.000 | 311,74 | 312,58 | 100.000 | 274,31 | 642 |
| 10.000 | 310,86 | 311,7 | 105.000 | 271,88 | 712,83 |
| 15.000 | 309,72 | 309,86 | 110.000 | 269,38 | 792,7 |
| 20.000 | 308,35 | 307,6 | 115.000 | 266,80 | 882,11 |
| 25.000 | 306,79 | 305,43 | 120.000 | 264,11 | 981,6 |
| 30.000 | 305,06 | 303,9 | 125.000 | 261,29 | 1091,68 |
| 35.000 | 303,20 | 303,51 | 130.000 | 258,30 | 1212,9 |
| 40.000 | 301,23 | 304,8 | 135.000 | 255,12 | 1345,76 |
| 45.000 | 299,18 | 308,28 | 140.000 | 251,71 | 1490,8 |
| 50.000 | 297,06 | 314,5 | 145.000 | 248,04 | 1648,53 |
| 55.000 | 294,88 | 323,96 | 150.000 | 244,06 | 1819,5 |
| 60.000 | 292,67 | 337,2 | 155.000 | 239,72 | 2004,21 |
| 65.000 | 290,44 | 354,73 | 160.000 | 234,99 | 2203,2 |
| 70.000 | 288,18 | 377,1 | 165.000 | 229,82 | 2416,98 |
| 75.000 | 285,91 | 404,81 | 170.000 | 224,14 | 2646,1 |
| 80.000 | 283,63 | 438,4 | 175.000 | 217,91 | 2891,06 |
| 85.000 | 281,34 | 478,38 | 180.000 | 211,07 | 3152,4 |
| 90.000 | 279,02 | 525,3 | | | |

Tabla 111: Estimacion de Toneladas Molidas v/s Diametro Estimativo de la Linea de Tendencia del Pulverizador 2-E

Grafico

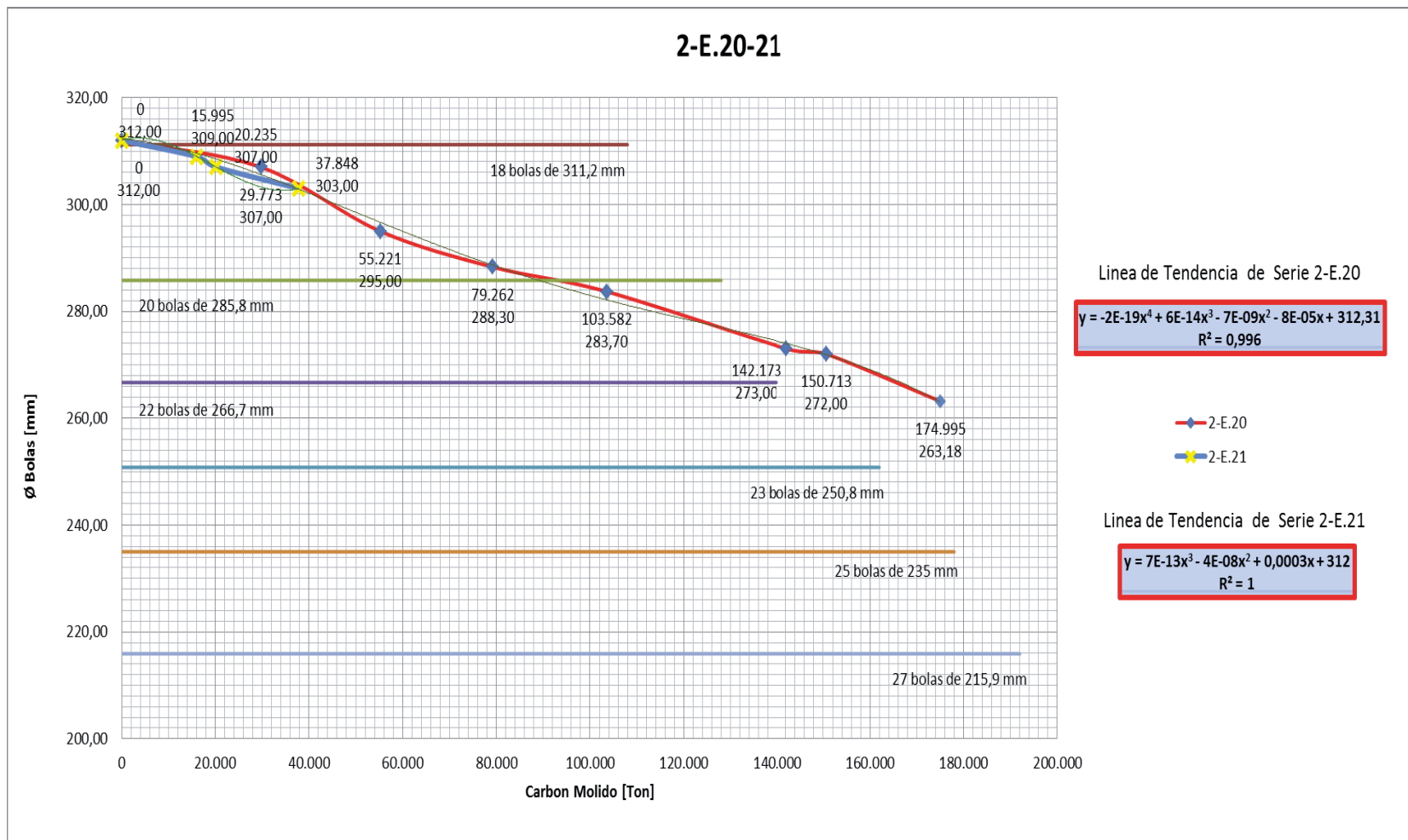


Fig. 97: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-E

Cálculos del Pulverizador 2-F

Cálculos del Pulverizador 2-F

Tabla de datos

| Fecha | Toneladas | Horas | Ø Medio | Nº Bolas | Línea de Tendencia | % Error |
|------------|-----------|-----------|---------|----------|--------------------|---------|
| 07-06-2009 | 0 | 51.247,00 | 312,00 | 18,00 | 312,01 | -0,0032 |
| 24-08-2009 | 29.052 | 53.076,50 | 304,00 | 18,00 | 304,74 | -0,2442 |
| 07-11-2009 | 56.514 | 54.868,10 | 295,00 | 18,00 | 295,92 | -0,3120 |
| 02-03-2010 | 72.772 | 55.949,70 | 286,88 | 20,00 | 290,16 | -1,1423 |
| 05-06-2010 | 97.679 | 57.532,00 | 278,00 | 20,00 | 280,89 | -1,0399 |
| 27-06-2010 | 104.875 | 58.008,00 | 275,00 | 20,00 | 278,15 | -1,1465 |
| 03-09-2010 | 123.062 | 59.109,00 | 265,50 | 22,00 | 271,16 | -2,1314 |
| 12-11-2010 | 147.576 | 60.630,40 | 254,45 | 22,00 | 261,59 | -2,8066 |
| 20-03-2011 | 0 | 61936 | 310 | 18 | 312,01 | -0,6484 |
| 28-05-2011 | 24.439 | 63345 | 306 | 18 | 306,07 | -0,0217 |

Tabla 112: Datos del Pulverizador 2-F Juego 19 y 20

Mediante los puntos tomados del juego 19 (Color Rojo) se creara una tendencia que en este caso es un polinomio de grado 4. Y con este se podrá observar en forma estimativa cuando se tendrá que hacer un Retensado en servicio según el Tonelaje que ha molido este Pulverizador. Si el pulverizador mantiene condiciones iguales de trabajo tales como tensión del Resorte, Dureza de Bola, Dureza de Cubetas y una dureza de Carbón parecida a la tratada anteriormente. Tendría que dar valores similares de desgaste v/s toneladas molidas en el juego 20 (Color Azul).

Tendencia

Pulverizador 2.-F-19

$$Y = -2 \cdot 10^{-20} \cdot x^4 + 10^{-14} \cdot x^3 - 2 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 0,0002 \cdot x + 312,01$$

$$R^2 = 0,999$$

Tabla estimativa entre toneladas molidas (X) y diámetros estimativos de la línea de tendencia (Y)

| X | Y | X | Y |
|--------|--------|---------|--------|
| 0 | 312,01 | 95.000 | 281,90 |
| 5.000 | 310,96 | 100.000 | 280,01 |
| 10.000 | 309,81 | 105.000 | 278,10 |
| 15.000 | 308,59 | 110.000 | 276,19 |
| 20.000 | 307,28 | 115.000 | 274,27 |
| 25.000 | 305,90 | 120.000 | 272,34 |
| 30.000 | 304,46 | 125.000 | 270,40 |
| 35.000 | 302,95 | 130.000 | 268,46 |
| 40.000 | 301,39 | 135.000 | 266,52 |
| 45.000 | 299,78 | 140.000 | 264,56 |
| 50.000 | 298,13 | 145.000 | 262,60 |
| 55.000 | 296,44 | 150.000 | 260,63 |
| 60.000 | 294,71 | | |
| 65.000 | 292,94 | | |
| 70.000 | 291,15 | | |
| 75.000 | 289,34 | | |
| 80.000 | 287,51 | | |
| 85.000 | 285,65 | | |
| 90.000 | 283,78 | | |

Tabla 113: Estimación de Toneladas Molidas v/s Diámetro Estimativo de la Línea de Tendencia del Pulverizador 2-F

Grafico

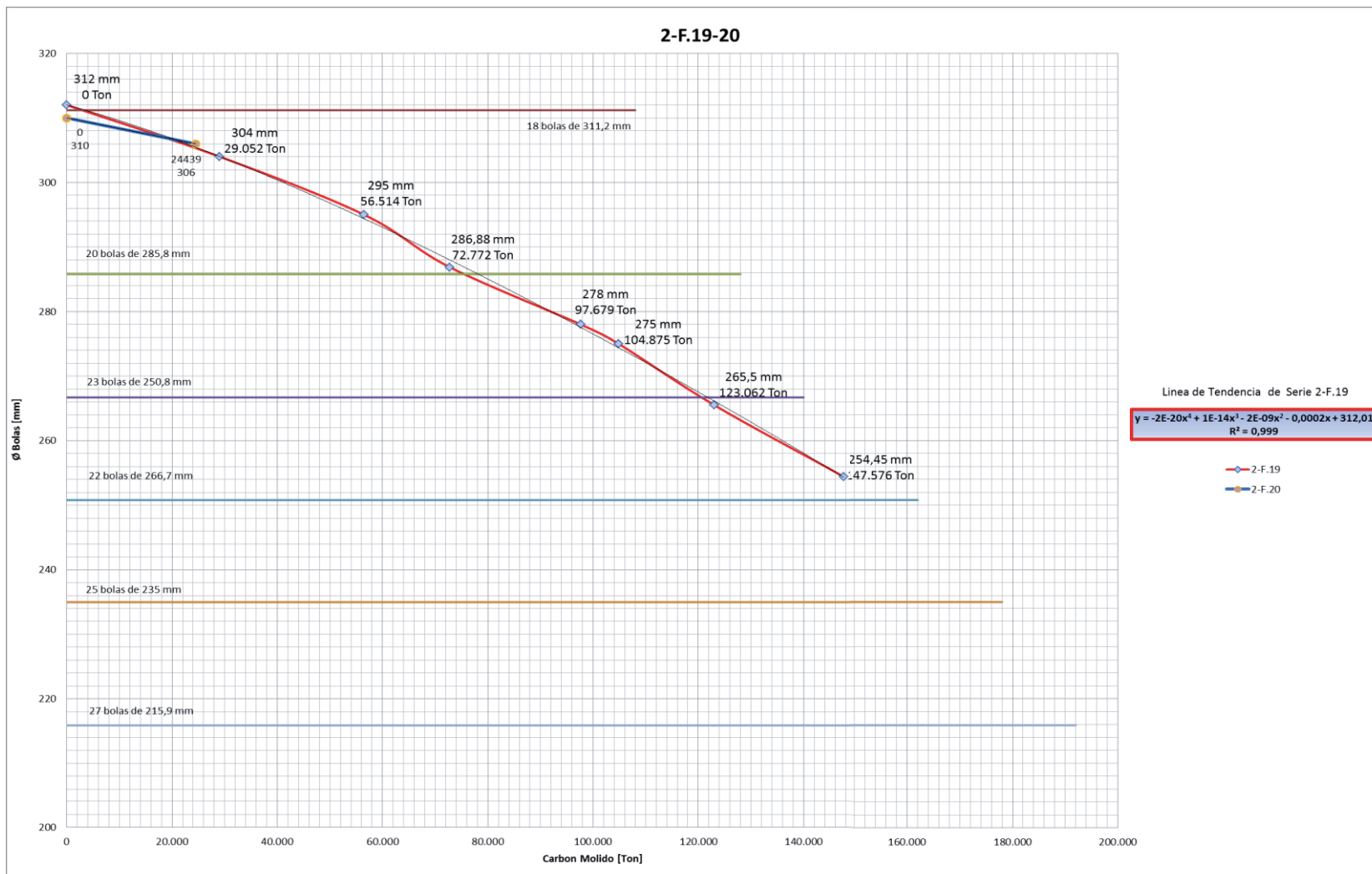


Fig. 98: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-F

Cálculos del Pulverizador 2-H

Cálculos del Pulverizador 2-H

Tabla de datos

| Fecha | Toneladas | Horas | Ø Medio | Nº Bolas | Línea de Tendencia | % Error | Línea de Tendencia2 | % Error2 |
|------------|-----------|-----------|---------|----------|--------------------|----------|---------------------|----------|
| 09-06-2008 | 0 | 59.006,00 | 312,20 | 18,00 | 312,16 | 0,0128 | 309,91 | 0,7335 |
| 02-08-2008 | 22.450 | 60.287,00 | 305,00 | 18,00 | 306,37 | -0,4505 | 302,19 | 0,9213 |
| 13-12-2008 | 62.651 | 62.739,00 | 288,00 | 20,00 | 292,15 | -1,4432 | 306,16 | -6,3052 |
| 15-02-2009 | 89.808 | 64.220,00 | 274,00 | 20,00 | 281,88 | -2,8784 | 309,02 | -12,7815 |
| 05-04-2009 | 110.058 | 65.413,20 | 265,00 | 22,00 | 274,60 | -3,6240 | 311,21 | -17,4365 |
| 27-06-2009 | 133.826 | 65.921,00 | 252,00 | 23,00 | 266,77 | -5,8617 | 319,59 | -26,8229 |
| 01-08-2009 | 146.906 | 66.620,30 | 245,83 | 23,00 | 262,81 | -6,9085 | 330,65 | -34,5017 |
| 03-10-1999 | 169.967 | 68.117,10 | 233,88 | 25,00 | 256,32 | -9,5949 | 370,87 | -58,5745 |
| 17-11-2009 | 184.705 | 69.138,20 | 225,00 | 25,00 | 252,34 | -12,1524 | 417,39 | -85,5051 |
| 07-12-2009 | 190.309 | 69.506,70 | 222,00 | 25,00 | 250,82 | -12,9855 | 440,74 | -98,5298 |
| 24-02-2010 | 0 | | 310,00 | 18,00 | 312,16 | -0,6968 | 309,91 | 0,0290 |
| 03-04-2010 | 7.371 | 70.465,70 | 305,00 | 18,00 | 310,53 | -1,8133 | 305,76 | -0,2488 |
| 30-05-2010 | 23.252 | 71.449,20 | 300,50 | 18,00 | 306,12 | -1,8727 | 302,14 | -0,5448 |
| 28-06-2010 | 34.947 | 72.104,00 | 297,00 | 18,00 | 302,30 | -1,7847 | 302,38 | -1,8118 |
| 04-10-2010 | 67.580 | 25.651,00 | 292,05 | 18,00 | 290,28 | 0,6056 | 306,82 | -5,0565 |
| 12-11-2010 | 80.701 | 74.733,50 | 287,40 | 18,00 | 285,29 | 0,7318 | 308,25 | -7,2537 |
| 26-11-2010 | 84.813 | 74.980,40 | 284,90 | 20,00 | 283,74 | 0,4038 | 308,61 | -8,3221 |
| 20-03-2011 | 102.681 | 76.061,00 | 276,55 | 20,00 | 277,19 | -0,2348 | 310,19 | -12,1656 |

Tabla 114: Datos del Pulverizador 2-H Juego 20 y 21

Mediante los puntos del juego 20 (color Rojo) y 21 (color azul) se creara una tendencia que en este caso es un polinomio de grado 4 ambos. Y con este se podrá observar en forma estimativa cuando se tendrá que hacer un Retensado en servicio según el Tonelaje que ha molido este Pulverizador. Si el pulverizador mantiene condiciones iguales de trabajo tales como tensión del Resorte, Dureza de Bola, Dureza de Cubetas y una dureza de Carbón parecida a la tratada anteriormente, etc. Tendría que dar valores similares de desgaste v/s toneladas molidas en el juego 21 (Color Azul)

Tendencia

Pulverizador 2.-H-20

$$Y = -4 \cdot 10^{-20} \cdot x^4 + 2 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 - 3 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 0,0002 \cdot x + 312,16$$

$$R^2 = 0,9999$$

Tendencia

Pulverizador 2.-H-21

$$Y = 7 \cdot 10^{-19} \cdot x^4 - 2 \cdot 10^{-13} \cdot x^3 + 2 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 - 0,0007 \cdot x + 309,91$$

$$R^2 = 0,9981$$

Tabla estimativa entre toneladas molidas (X) y diámetros estimativos de la línea de tendencia del juego 20 (Y1) y del juego 21 (Y2)

| X | Y1 | Y2 | X | Y1 | Y2 |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| 0 | 312,16 | 309,91 | 100.000 | 278,16 | 309,91 |
| 5.000 | 311,09 | 306,89 | 105.000 | 276,38 | 310,47 |
| 10.000 | 309,88 | 304,72 | 110.000 | 274,62 | 311,20 |
| 15.000 | 308,55 | 303,27 | 115.000 | 272,91 | 312,17 |
| 20.000 | 307,11 | 302,42 | 120.000 | 271,23 | 313,46 |
| 25.000 | 305,58 | 302,06 | 125.000 | 269,58 | 315,18 |
| 30.000 | 303,97 | 302,08 | 130.000 | 267,98 | 317,44 |
| 35.000 | 302,28 | 302,39 | 135.000 | 266,41 | 320,34 |
| 40.000 | 300,54 | 302,90 | 140.000 | 264,87 | 324,02 |
| 45.000 | 298,74 | 303,56 | 145.000 | 263,38 | 328,62 |
| 50.000 | 296,91 | 304,29 | 150.000 | 261,91 | 334,29 |
| 55.000 | 295,05 | 305,04 | 155.000 | 260,47 | 341,18 |
| 60.000 | 293,16 | 305,78 | 160.000 | 259,07 | 349,46 |
| 65.000 | 291,26 | 306,48 | 165.000 | 257,68 | 359,33 |
| 70.000 | 289,36 | 307,12 | 170.000 | 256,31 | 370,96 |
| 75.000 | 287,46 | 307,68 | 175.000 | 254,96 | 384,56 |
| 80.000 | 285,56 | 308,18 | 180.000 | 253,61 | 400,34 |
| 85.000 | 283,68 | 308,63 | 185.000 | 252,26 | 418,53 |
| 90.000 | 281,82 | 309,04 | 190.000 | 250,91 | 439,36 |
| 95.000 | 279,97 | 309,45 | 195.000 | 249,55 | 463,07 |

Tabla 115: Estimación de Toneladas Molidas v/s Diámetro Estimativo de la Línea de Tendencia del Pulverizador 2-H

Grafico

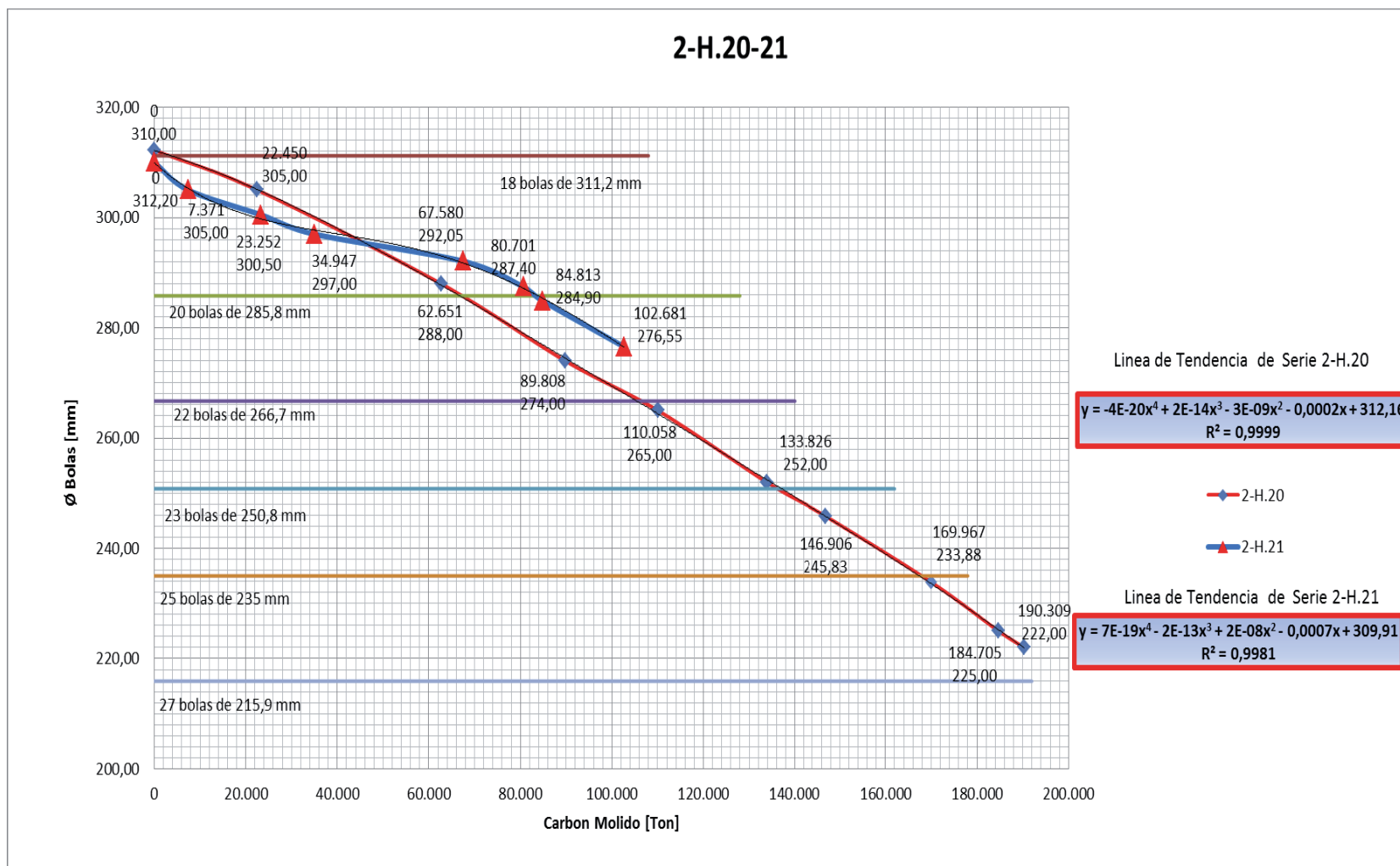


Fig. 99: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-H

Cálculos del Pulverizador 2-G

Cálculos del Pulverizador 2-G

Tabla de datos

| Fecha | Toneladas | Horas | Ø Medio | Nº Bolas | Línea de Tendencia | % Error | Línea de Tendencia2 | % Error2 |
|------------|------------|-----------|---------|----------|--------------------|---------|---------------------|----------|
| 26-04-2008 | 0,00 | 26.876,00 | 307,50 | 18,00 | 307,54 | -0,0130 | 311,02 | -1,1447 |
| 14-07-2008 | 30.511,00 | 28.442,00 | 300,00 | 10,00 | 299,09 | 0,3031 | 300,86 | -0,2869 |
| 13-12-2008 | 82.509,00 | 31.185,00 | 291,00 | 18,00 | 290,39 | 0,2090 | 289,33 | 0,5723 |
| 28-02-2008 | 115.310,00 | 32.942,00 | 280,70 | 20,00 | 279,72 | 0,3494 | 269,78 | 3,8905 |
| 30-05-2009 | 142.026,00 | 34.543,70 | 267,45 | 22,00 | 266,05 | 0,5224 | 237,96 | 11,0250 |
| 25-07-2009 | 166.000,00 | 35.645,80 | 250,60 | 23,00 | 251,56 | -0,3841 | 192,20 | 23,3052 |
| 05-09-2009 | 182.344,00 | 36.188,00 | 244,00 | 23,00 | 242,37 | 0,6678 | 149,45 | 38,7490 |
| 27-10-2009 | 200.615,00 | 36.190,70 | 237,60 | 23,00 | 235,40 | 0,9275 | 88,74 | 62,6533 |
| 14-11-2009 | 205.001,00 | 36.190,00 | 235,00 | 25,00 | 234,61 | 0,1662 | 71,93 | 69,3894 |
| 26-02-2010 | 0,00 | 0,00 | 311,00 | 18,00 | 307,54 | 1,1125 | 311,02 | -0,0064 |
| 27-06-2010 | 31.251,00 | 39.770,00 | 300,00 | 18,00 | 298,96 | 0,3483 | 300,70 | -0,2349 |
| 09-10-2010 | 60.769,00 | 41.629,70 | 293,30 | 18,00 | 294,42 | -0,3833 | 295,26 | -0,6700 |
| 12-11-2010 | 70.740,00 | 42.281,80 | 292,00 | 18,00 | 292,78 | -0,2664 | 292,98 | -0,3354 |
| 20-03-2011 | 91.105,00 | 43.591,00 | 284,60 | 20,00 | 288,23 | -1,2751 | 285,76 | -0,4073 |

Tabla 116: Datos del Pulverizador 2-G Juego 15 y 16

Mediante los puntos del juego 15 y 16 y se creara una tendencia que en este caso es un polinomio de grado 2. Y con este se podrá observar en forma estimativa cuando se tendrá que hacer un Retensado en servicio. Si el pulverizador mantiene algunas condiciones iguales de trabajo.

Tendencia

Pulverizador 2.-G-15

$$Y = 5 \cdot 10^{-25} \cdot x^5 - 7 \cdot 10^{-20} \cdot x^4 - 3 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 + 5 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 0,0004 \cdot x + 307,54$$

$$R^2 = 0,999$$

Pulverizador 2.-G-16

$$Y = -5 \cdot 10^{-14} \cdot x^3 + 7 \cdot 10^{-9} \cdot x^2 - 0,0005 \cdot x + 311,02$$

$$R^2 = 0,9986$$

Tabla estimativa entre toneladas molidas (X) y diámetros estimativos de la línea de tendencia del juego 15 (Y1) y del juego 16 (Y2)

| X | Y1 | Y2 | X | Y1 | Y2 |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| 0 | 307,54 | 311,02 | 100.000 | 285,54 | 281,02 |
| 5.000 | 305,66 | 308,69 | 105.000 | 283,81 | 277,81 |
| 10.000 | 304,01 | 306,67 | 110.000 | 281,91 | 274,17 |
| 15.000 | 302,56 | 304,93 | 115.000 | 279,85 | 270,05 |
| 20.000 | 301,29 | 303,42 | 120.000 | 277,63 | 265,42 |
| 25.000 | 300,17 | 302,11 | 125.000 | 275,24 | 260,24 |
| 30.000 | 299,19 | 300,97 | 130.000 | 272,70 | 254,47 |
| 35.000 | 298,30 | 299,95 | 135.000 | 270,02 | 248,08 |
| 40.000 | 297,49 | 299,02 | 140.000 | 267,22 | 241,02 |
| 45.000 | 296,74 | 298,14 | 145.000 | 264,31 | 233,26 |
| 50.000 | 296,01 | 297,27 | 150.000 | 261,32 | 224,77 |
| 55.000 | 295,28 | 296,38 | 155.000 | 258,28 | 215,50 |
| 60.000 | 294,54 | 295,42 | 160.000 | 255,21 | 205,42 |
| 65.000 | 293,76 | 294,36 | 165.000 | 252,17 | 194,49 |
| 70.000 | 292,91 | 293,17 | 170.000 | 249,18 | 182,67 |
| 75.000 | 291,98 | 291,80 | 175.000 | 246,30 | 169,93 |
| 80.000 | 290,95 | 290,22 | 180.000 | 243,58 | 156,22 |
| 85.000 | 289,81 | 288,39 | 185.000 | 241,07 | 141,51 |
| 90.000 | 288,53 | 286,27 | 190.000 | 238,85 | 125,77 |
| 95.000 | 287,11 | 283,83 | 195.000 | 236,98 | 108,95 |

Tabla 117: Estimación de Toneladas Molidas v/s Diámetro Estimativo de la Línea de Tendencia del Pulverizador 2-G

Grafico

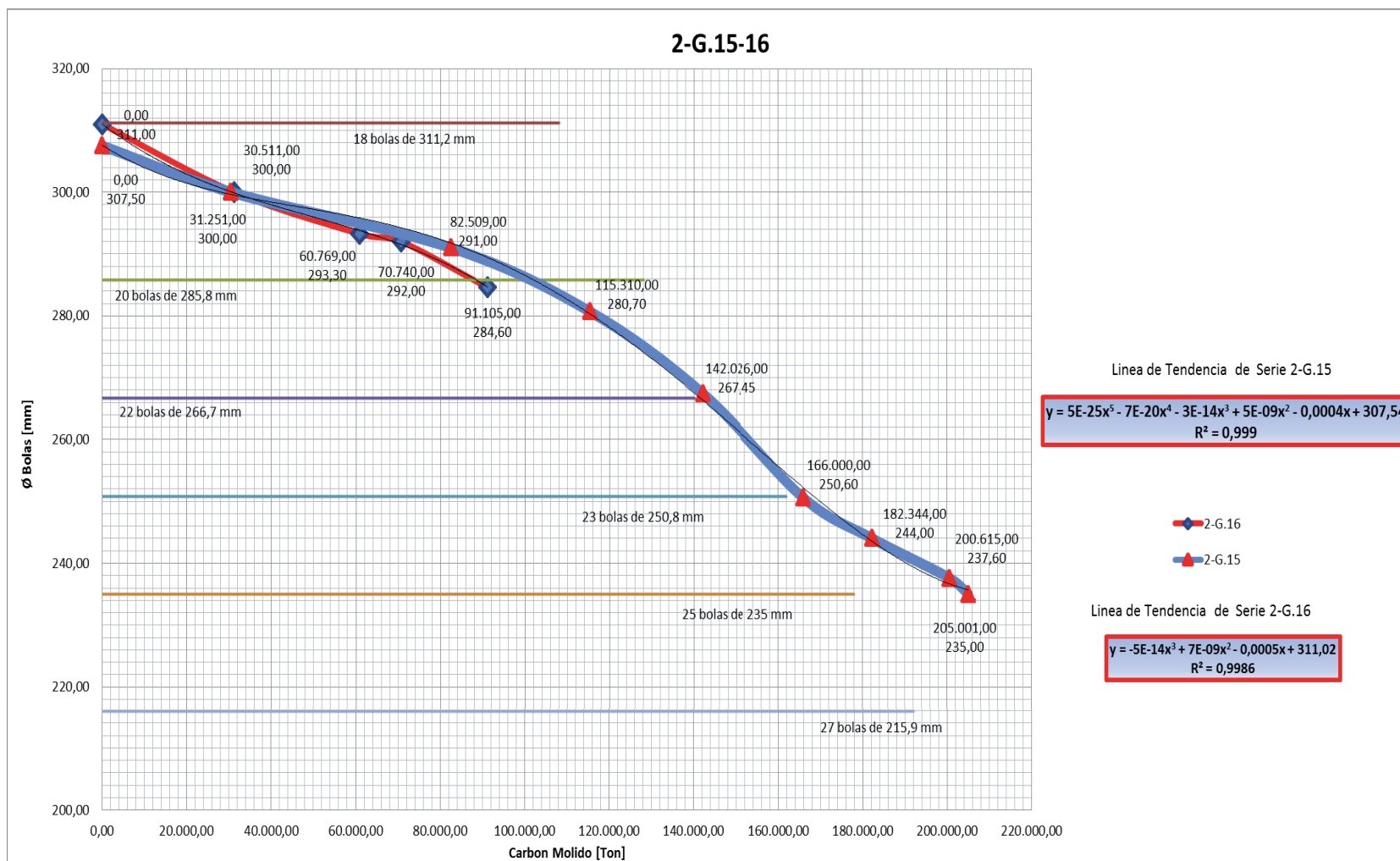


Fig. 100: Grafico de Seguimiento de Desgaste de Bola v/s Toneladas Molidas Del Pulverizador 2-G

Cotizaciones

- Catálogo de Medición en Línea de Carbono No Quemado y Sensor de Tamaño de Partícula de Ceniza

MECONTROL UBC^{PSA}

Your complete Fly Ash Assessment on line!

On line Unburnt Carbon Sensor



On line UBC Sensor on an Ash Bunker.

Microwave Resonance Measurement with patented Sample Collection and Treatment. The most commonly used UBC on line Sensor worldwide.

The Sensor delivers on line Measurement of:
 | UBC Content in the Fly Ash

On line Ash Particle Size Sensor



New Laser based Particle Size Analysis Sensor installed on Ash Hopper Outlet.

Laser Velocimetry Technique provides fast and reliable Measurement Results. 10,000 Particles are counted each second for accurate statistical Measurement of the Grinding Process.

On line Measurement of:
 | Particle Size Distribution

Get deep insight into your Combustion and Fly Ash Production Process and find answers you always wanted to know:

Does your Ash have the right Size Distribution, the right Unburned Carbon Loss ?

What is your Boiler's reaction to Coal Type Changes ?

How far can you adjust O₂ Setting in respect to Ash Quality ?

Does your Mill need maintenance ?

Get the answers dynamically on line!

The MECONTROL UBC^{PSA} Central Measurement Base Station controls all sensors and collates data.

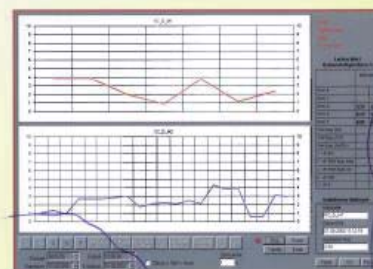
UBC^{PSA}

The following capabilities are provided:

- | Full SCADA package (optional)
- | Digital as well as Analogue I/O
- | Full access via Modem/Internet/Ethernet
- | Large Data storage capacity for months of on line data logging
- | Inputs available for external signals: boiler enable signal
- | Panel IP 65 rated (optional)



MECONTROL Base Station



On line Data UBC



On line Data Particle Size Distribution

Fig. 101: Catálogo de Medición en Línea de Carbón No Quemado y Sensor de Tamaño de Partícula de Ceniza

1 Pricing Schedule of the MECONTROL UBC

1.1 Base offer MECONTROL UBC 4 channel System

| Pos. | Description | Quantity Required | Piece Price | Total Price (EUR) |
|---|---|-------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 4 channel Measurement cabinet incl. data processing unit for the micro wave measurement, PLC and software, micro wave generator (up to 70 m), Modem or VPN Tunnel for remote access, Pit-touch and software for diagnostic; Common fault signal / system and Single fault signal / channel, 4 x 4-20 mA analog output (ref. to sec. 3.) This central cabinet can be equipped with up to 4 independent measurement sensors (see 2) | 2 | 107.495 | 214.990 |
| 2 | Sensor with screw conveying, pneumatic blow-out, rpm. control incl. motor control box and cables to the central cabinet. | 8 | 28.405 | 227.240 |
| 3 | Packing | | | 900 |
| Position 1 to 3 in total (EUR) | | | | 443.130 |

The distance (= cable length) between the sensors and the measurement cabinet usually is maximum about 70 m.

All these prices do not include any cabling, cable runs, mechanical works and installation.

Included in the prices are all software, operating manuals and system documentation written in German or English.

1.2 Installation and Commissioning, Travel fares

The installation of the system at the site as advised by PROMECON will be worked out by the Purchaser. In case that PROMECON has to install the system at the site by a site technician:

Rate per day: 800 EUR

Should the purchasing party not install the system by themselves PROMECON is free to decide whether the installation will be executed by PROMECON itself (estimated are 3 - 5 working days per cabinet) or a third party which is connected to PROMECON as a local partner.

Commissioning (and calibration) of the system by a PROMECON engineer (approx. 2 - 3 days per cabinet) will be charged at:

Rate per day: 1.300 EUR

PROMECON is free to decide whether the engineer is physically present on site or works remote via modem from Germany.

Travel fares and accommodation:

Travel fares of the site technicians (flight, travel time, hotel) will be invoiced separately.

1.3 Additional Fieldwork

For any work beyond the above offered fixed prices PROMECON will charge daily rates as follows:

Technician:
Rate per day: 800 EUR

Commissioning Engineer:
Rate per day: 1.300 EUR

| Descripción Mecontrol UBC | Cantidad requerida | Precio EUR | Precio total EUR |
|---|--------------------|------------|------------------|
| 4 canales de medición incluidos el gabinete, unidad de procesamiento de datos para la medición de micro ondas, PLC y Software, Modem o VPN Tunnel para el acceso remoto, Pit-táctil y software de diagnósticos (este gabinete central puede ser equipado con hasta 4 sensores de medición independientes) | 2 | 107.495 | 214.990 |
| Sensores con tuerca de transporte, golpe de salida neumática, rpm, incluido caja de control del motor y los cables de la central del gabinete | 8 | 28.405 | 227.240 |
| Embalaje | | | 900 |
| Total | | | 443.130 |

Fig. 102: Cotización de Equipos de Medición En Línea De LOI y Tamaño de Partícula de ASH (mas Traducción)

➤ Catálogo de Medición en Línea de Flujo de Masa de Carbon y Sensor de Tamaño de Partícula de Carbón

MECONTROL Coal^{PSA}

Your complete Mill Performance Assessment on line!

On line Coal Mass Flow Sensor



On line Coal Mass Flow Sensors installed on a Coal Pipe.

Microwave Resonance, Electrostatic Measurement: Two proven technological solutions combined give you true and trackable Measurement Performance, for your Fuel Distribution Problems.

On line Measurement of:
 | Coal Mass Flow
 | Coal Velocity
 | Coal Concentration

On line Coal Particle Size Sensor



New Laser based Particle Size Analysis Sensor installed on a Coal Pipe.

Laser Velocimetry Technique provides fast and reliable Measurement Results. 10 000 Particles are counted each second for accurate statistical Measurement of the Grinding Process.

On line Measurement of:
 | Particle Size Distribution
 | Particle Velocity Distribution

Get deep insight into your Grinding Process and find the answers you always wanted to know:

Does your Mill have the right Size Distribution, Flow Distribution, Coal Velocities ?

What is the Response Time of your Mill to Load Changes ?

How does Coal Type and Roller Pressure affect your Grinding ?

Are your Classifier and PA settings o.k. ?

Get the answers dynamically on line - available as permanent or mobile System!

The MECONTROL Coal^{PSA} Central Measurement Base Station controls all Sensors and collates data.

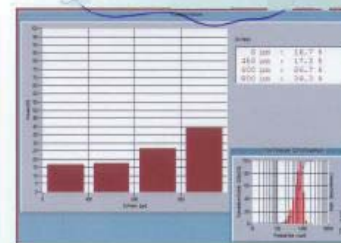
Coal^{PSA}

The following capabilities are provided:

- | Full SCADA package (optional)
- | Digital as well as Analogue I/O
- | Full access via Modem/Internet/Ethernet
- | Large Data storage capacity for months of on line data logging
- | Inputs available for external signals (Such as Mill Feeder, Roller Pressure etc.)
- | Derived data analysis on line, in real time (Mill Dynamics, Moisture Content of Coal)
- | Industrialised Laptop as central computer for maximum flexibility
- | Panel IP 54 Rated



On line Data Coal Flow



On line Data Particle Size Distribution

Fig. 103: Catálogo de Medición En Línea De LOI y Tamaño de Partícula de Carbón

- Cotizaciones de Equipos de Medición en Línea Flujo de masa de Carbón y Tamaño de Partícula de Carbón

1 Pricing Schedule of the MECONTROL COAL

1.1 Base offer MECONTROL COAL

Offer for 1 unit with 5 mills and 4 burners per each mill

| Pos. | Description | Quantity Required | Piece Price | Total Price (EUR) |
|---|---|-------------------|-------------|-------------------|
| 1 | Measurement cabinet as Master Station with PLC-system as well as with industrialized DELL Notebook and SCADA Application (Software for visualization, interrogation, data collection and remote access over Internet (VPN tunnel) or modem) 4 channels including interface to the Dell Notebook Common failure signal / system and Single fault signal per channel; 4 channels each 4 - 20 mA analog output signal per measurement value (refer to selection 3.) | 1 | 72.410 | 72.410 |
| 2 | Measurement cabinet with PLC-systems, Software Common failure signal / system and Single fault signal per channel; 4 channels each 4 - 20 mA analog output signal per measurement value (refer to selection 3.) | 4 | 35.650 | 142.600 |
| 3 | Equipment per Measurement Locations: by 1 Transmitter- and 1 Receiver-Sensor, 1 velocity sensor as well as 5 Field rods and 1 Surface Pt100 and 20m Cables per pipe | 20 | 4.125 | 82.500 |
| 4 | Packing | | | 2.000 |
| Position 1 to 4 in total (EUR) | | | | 299.510 |

1.2 Option Particle size analyser

| | | | | |
|---|--|---|--------|--------|
| 1 | Optional Particle size analysis sensor (netto) | 1 | 45.000 | 45.000 |
|---|--|---|--------|--------|

All these prices (base offer and options) do not include any cabling, cable runs, mechanical works and installation.

Included in the prices are all software, operating manuals and system documentation written in German or English.

1.3 Installation and Commissioning, Travel fares

The installation of the system at the site as advised by PROMECON will be worked out by the Purchaser. In case that PROMECON has to install the system at the site by a site technician:

Rate per day: 800 EUR

Should the purchasing party not install the system by themselves PROMECON is free to decide whether the installation will be executed by PROMECON itself (estimated are 3 - 5 working days per cabinet) or a third party which is connected to PROMECON as a local partner.

Commissioning (and calibration) of the system by a PROMECON engineer (approx. 2 - 3 days per cabinet) will be charged at:

Rate per day: 1.300 EUR

PROMECON is free to decide whether the engineer is physically present on site or works remote via modem from Germany.

Travel fares and accommodation:

Travel and accommodation will be invoiced at cost plus 10% handling surcharge.

1.4 Additional Fieldwork

For any work beyond the above offered fixed prices PROMECON will charge daily rates as follows:

Technician:
Rate per day: 800 EUR
Commissioning Engineer:
Rate per day: 1.300 EUR

| Descripción Mecontrol COAL | Cantidad requerida | Precio EUR | Precio total EUR |
|---|--------------------|------------|------------------|
| Gabinete de medición como la estación principal con Notebook Dell industrializado y aplicación SCADA (software para la visualización, recopilación de datos y accesos remotos a través de internet, (VPN tunnel) o modem. 4 canales, incluyendo interfaz para el notebook Dell, etc. Los 4 canales cada uno 4 – 20 mA de salidas analógicas por valores de medición | 1 | 72.410 | 72.410 |
| Gabinete de medición con sistema PLC, 4 canales cada uno 4 – 20 mA de salidas analógicas por valores de medición | 4 | 35.650 | 142.600 |
| Equipos por puntos de medición, 1 transmisor, 1 sensor-receptor, 1 sensor de velocidad, etc. | 20 | 4.125 | 82.500 |
| Embalaje | | | 2.000 |
| Total | | | 299.510 |
| Sensor de análisis de tamaño de partícula (granulometría) | 1 | 45.000 | 45.000 |

Fig. 104: Cotización de Equipos de Medición En Línea de Flujo de Masa de Carbón y Tamaño de Partícula (mas Traducción)

➤ Catálogo de Medicion en Linea de Temperatura

Fast response despite highest wear resistance

In the past the choice was:

EITHER fast responding measurement, but high abrasion, short sensor life

OR

low abrasion and long sensor life but slow response temperature measurement

McON temp gives you:

Temperature measurement response in seconds (response time 10 sec.), hence dynamic mill control possible

AND

no significant abrasion. Therefore sensor life of 30 months in service and more

Conventional sensors without wear protection show excessive wear after 6 weeks in service in abrasive media.

The sensor McON temp does not show any significant signs of wear even after more than one year in service in abrasive media.

Our customers' opinion:

Without a rapid temperature measurement our improved dynamic load control would be unthinkable.

We had to replace the conventional fast response sensors every 6-8 weeks.

The installation is dead simple - just screw in the sensor, connect the cables and that's it.

McON temp has completely resolved our wear and abrasion issues.

We didn't know how fast responding our mills were until we installed McON temp sensors.

References McON temp:

- I Bewag/Vattenfall Kraftwerk Reuter West, in service since August 2003
- I EnBW Kraftwerk Heilbronn, since February 2004
- I E.ON Kraftwerk Farge, since August 2004
- I E.ON Kraftwerk Scholven, since April 2004
- I E.ON Kraftwerk Knepper, since June 2005

Bewag, FS Reuter West, Berlin, Germany

Fig. 105: Catálogo de Medición en Línea de Temperatura

➤ Cotizaciones de Equipos de Medicion en Línea de Temperatura

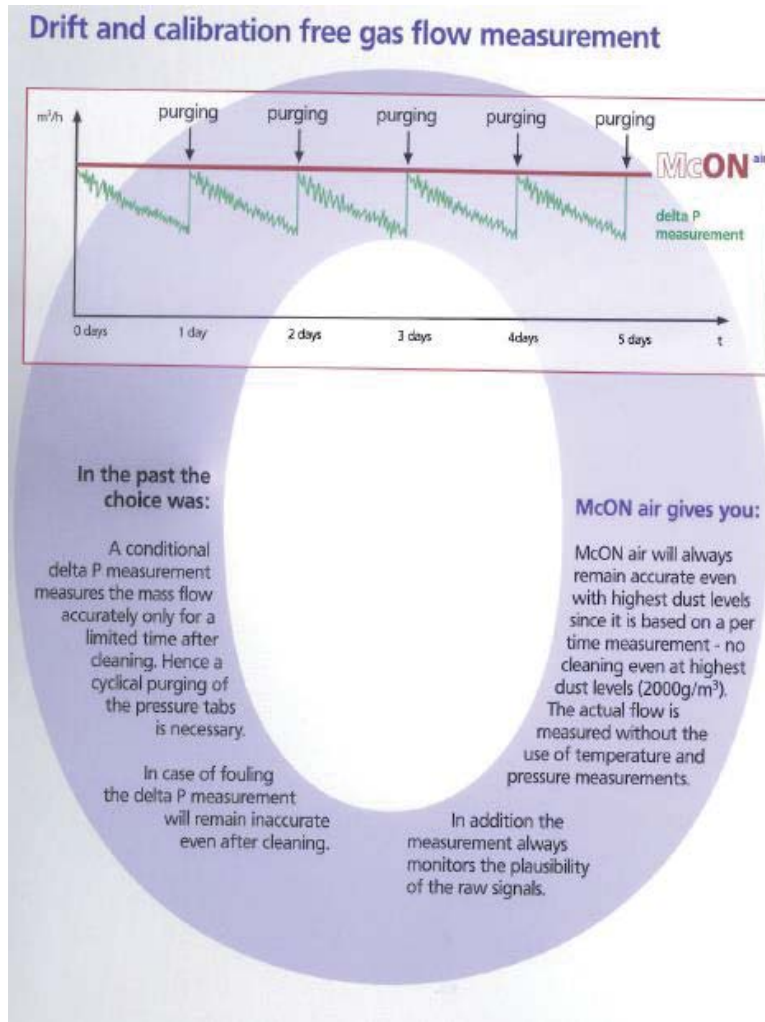
2 Price / Volume McON temp

| Volume McON temp | Piece Price (net) | Total (net) |
|------------------|-------------------|-------------|
| 20 Pieces | 1.005 EUR/Piece | 20.100 EUR |

Moderate changes (for example Ø process connection) are in the quotation included. The adapters are included in the quotation too.

Fig. 106: Cotizaciones de Equipos de Medicion en Línea de Temperatura

➤ Catálogo de Medición en Línea de Flujo de Gas



Our customers' opinion:

With McON air we don't have to keep cleaning the measurement system.

I now know, that our measurement values are always repeatable since they don't drift.

Commissioning is dead simple and doesn't need calibration - truly plug & play.

Since we've had McON air we didn't have to worry about recalibrating.

Installation via flange without calibration of the sensors

Installation of McON air in power station

Fig. 107: Catálogo de Medición en Línea de Flujo de Gas

➤ Cotizaciones de Equipos de Medición en Línea de Flujo de Gas

1 Pricing Schedule of the McON^{air}

1.1 Base-Offer: Typical single point measurement offer for 5 mills

| Pos. | Description | Quantity Required | Piece Price | Total Price (EUR) |
|--|--|-------------------|-------------|-------------------|
| 1 | Measurement box IP 66 protected with single DSP card for the correlation and calculation of gas velocity values. Output: 1 x 4-20mA, 1 x switching contact (error) Power supply: 85-264 V AC, 50/60 Hz | 5 | 12.025 | 60.125 |
| 2 | Sensor McON Air for max. Temp 400 °C (2 per channel) | 10 | 950 | 9.500 |
| 3 | Packing | | | 750 |
| Positions 1 to 3 in total (EUR) | | | | 70.375 |

All these prices (base offer and options) do not include any cabling, cable runs and mechanical works.

Included in the prices are all software, operating manuals and system documentation (written in English).

1.2 Fieldwork (installation and calibration)

The systems are individual measurement units and can be installed and commissioned independently from each other. They come precalibrated and need no special set up and commissioning by PROMECON.

A detailed installation and power up procedure is provided with each system.

Assistance at site can be given by PROMECON for this our daily rates would apply:

Engineer: 1.300 Euros/day
Technician: 800 Euros/day

Travel and accommodation will be invoiced at cost plus 10% handling surcharge.

The installation and commissioning should require a technician for 1 week.

| Descripción Mecontrol AIR (oferta para 5 pulverizadores) | Cantidad requerida | Precio EUR | Precio total EUR |
|---|-----------------------|---------------|---------------------|
| Medición de la caja IP 66 protegida con la tarjeta DSP único para la correlación y el cálculo de los valores de velocidad de aire | 5 | 12.025 | 60.125 |
| Sensor McON Air para una temperatura máxima de 400°C (2 por canal) | 10 | 950 | 9.500 |
| Embalaje | | | 750 |
| Total | | | 70.375 |

Fig. 108: Cotizaciones de Equipos de Medición en Línea de Flujo de Gas (más traducción)

La Distancia (longitud del cableado) entre los sensores y los gabinetes de medición por lo general es aproximadamente 70 mt. Todos estos precios no incluyen todos los cables, recorridos de cable, trabajos mecánicos y instalaciones. Eso si en el precio están incluidos el software, los manuales de operación y la documentación del sistema escrito en ingles o alemán.

Instalación y puesta en servicio

La instalación del sistema para el comprador será exclusivamente su responsabilidad y tal cual aconseja PROMECON. Para el caso que PROMECON se le encarga la instalación del sistema en el lugar de compra tendrá que ser por un técnico y un ingeniero.

Para el caso de un técnico, 800 EUR por día.

Si la parte compradora no instala el sistema por si mismo PROMECON es libre de decidir si la instalación se ejecutara por PROMECON (estimado 3 – 5 días hábiles por gabinete) o de un tercero que este con facultades o licencia de instalación de PROMECON.

Puesta en servicio (y calibración) del sistema por un ingeniero PROMECON (aproximadamente de 2 – 3 días hábiles por gabinete y las tarifas son

Para el caso de un ingeniero PROMECON, 1300 EUR por día

PROMECON es libre de decidir si el ingeniero esta presente físicamente en las instalaciones o puesta en servicio (calibración) o trabajar a distancia a través de modem de Alemania.

Las tarifas de viaje y alojamiento en el lugar de instalación (vuelo, tiempo de viaje, hotel, etc.) se facturaran por separado con cargo al comprador.

Trabajo en terreno adicional

Para cualquier trabajo más allá de los precios ofrecidos anteriormente por PROMECON correrán las tarifas diarias mencionadas anteriormente tanto para el técnico como el ingeniero.

Los sistemas son unidades de medida individuales y pueden ser instalado y puesto en marcha de forma independiente lo de uno de los otros. Viene pre calibrado y no necesitan una configuración especial, la puesta en marcha es por PROMECON.

La instalación y puesta en servicio deben exigir a un técnico por 1 semana

Indicadores

- Programa de Naves y Stock Proyectado – Ventanas

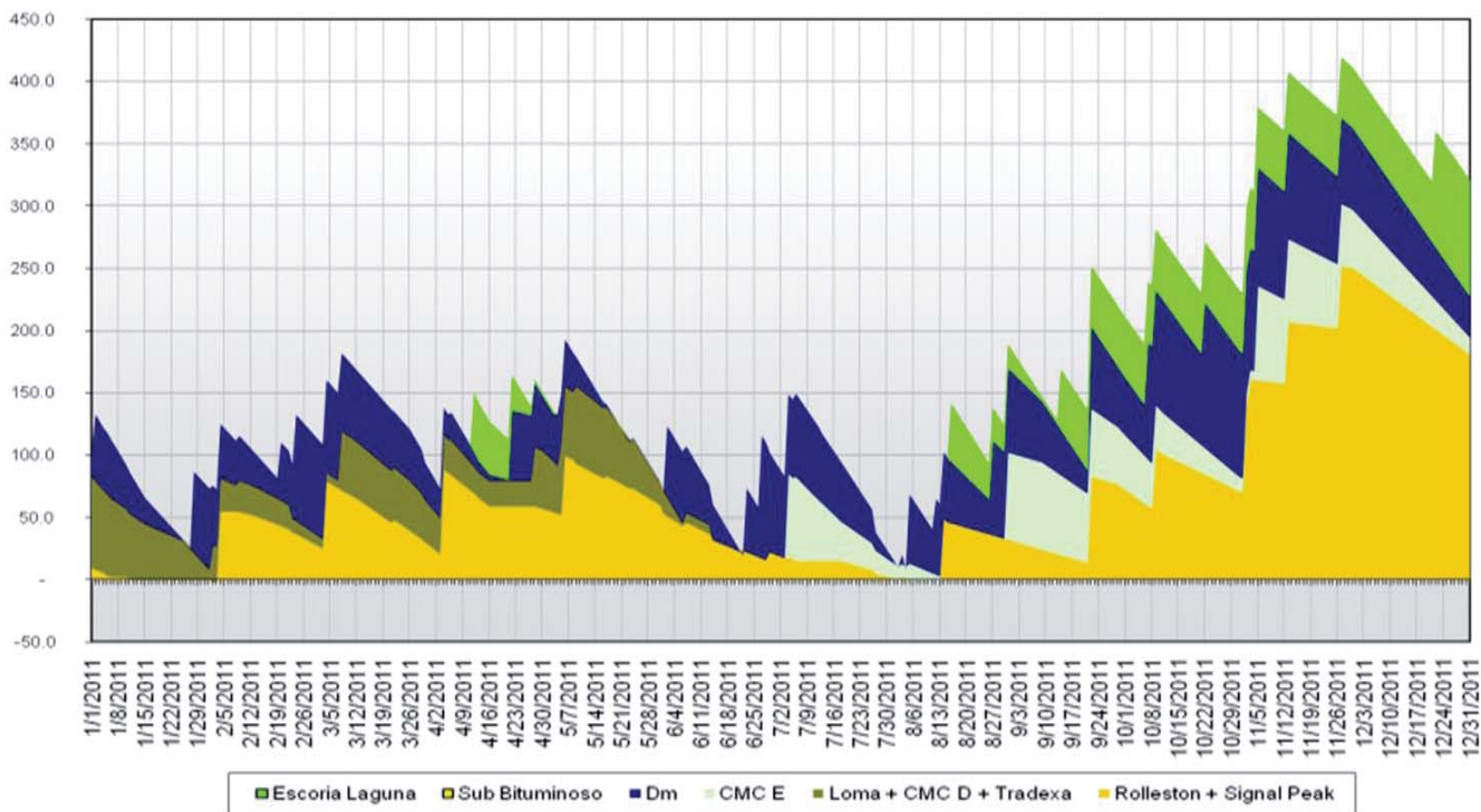


Fig. 109: Programa de Naves y Stock Proyectado – Ventanas

➤ Indicadores de Precio de Carbón (Platts ICR) International Coal Report

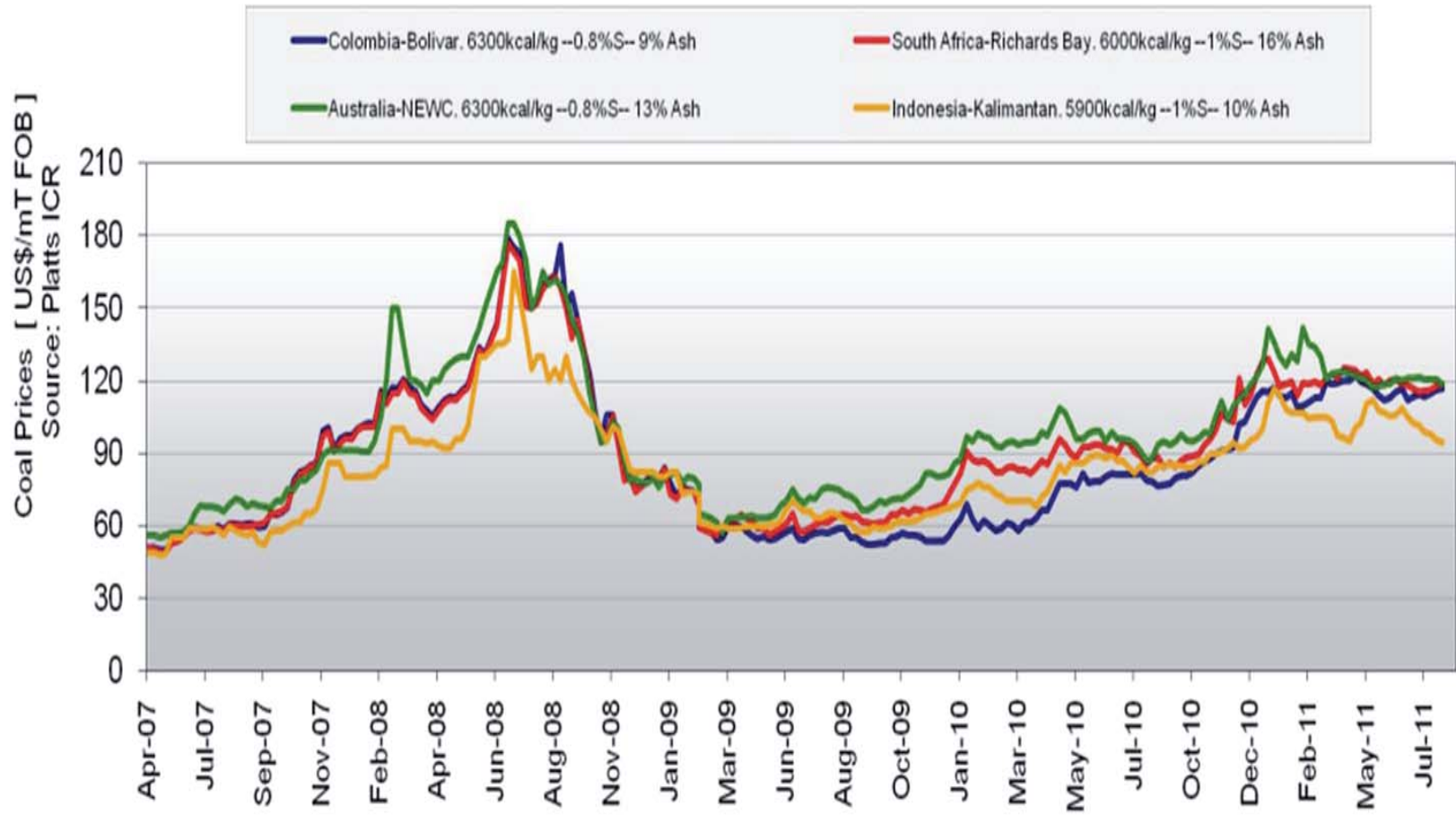


Fig. 110: Indicadores de Precio de Carbón

➤ Indicadores de Precio de Flete –Baltic Exchange

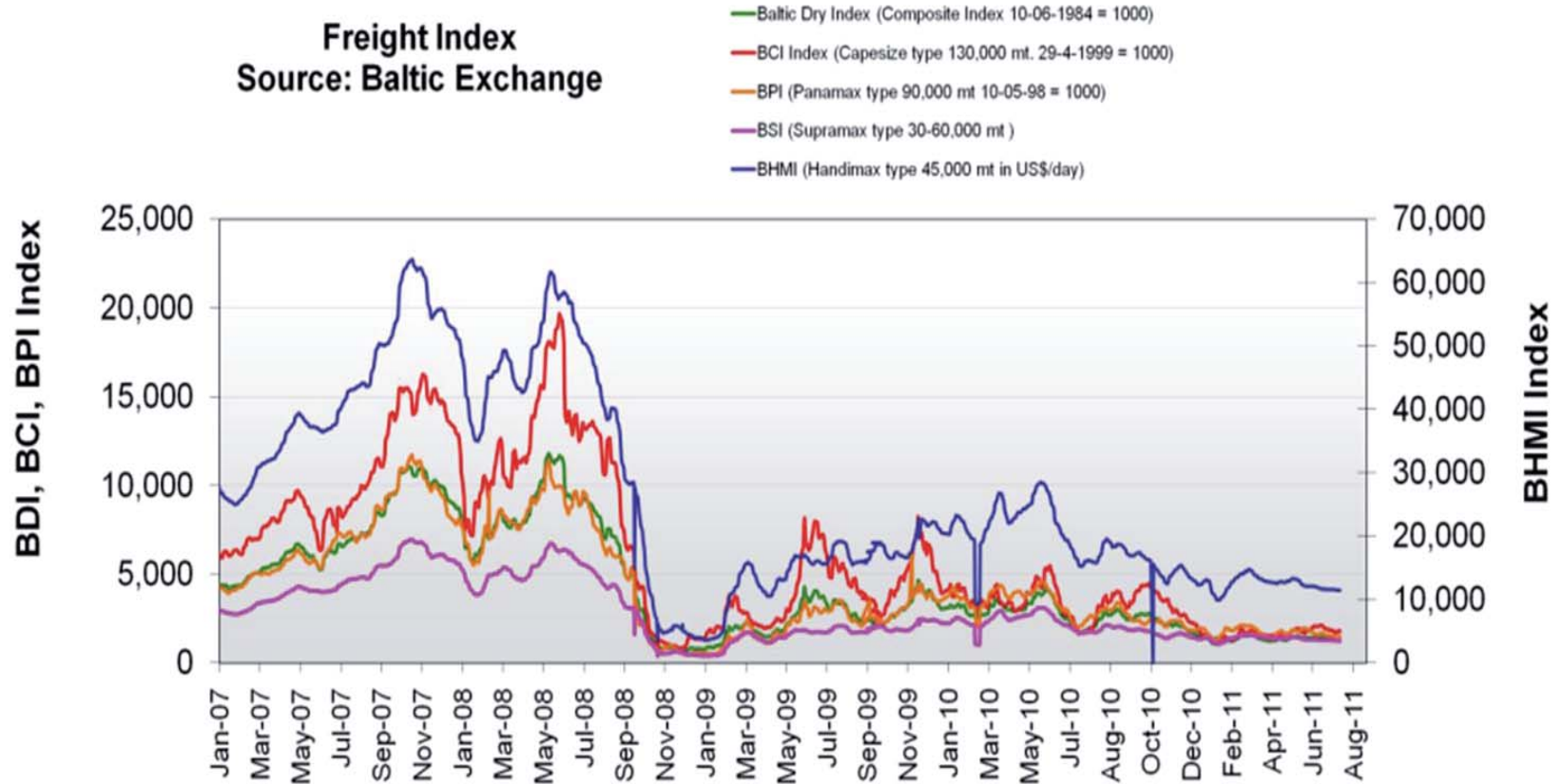


Fig. 111: Indicadores de Precio de Flete

➤ Indicadores de Precio del Petroleo – US Dept. of Energy

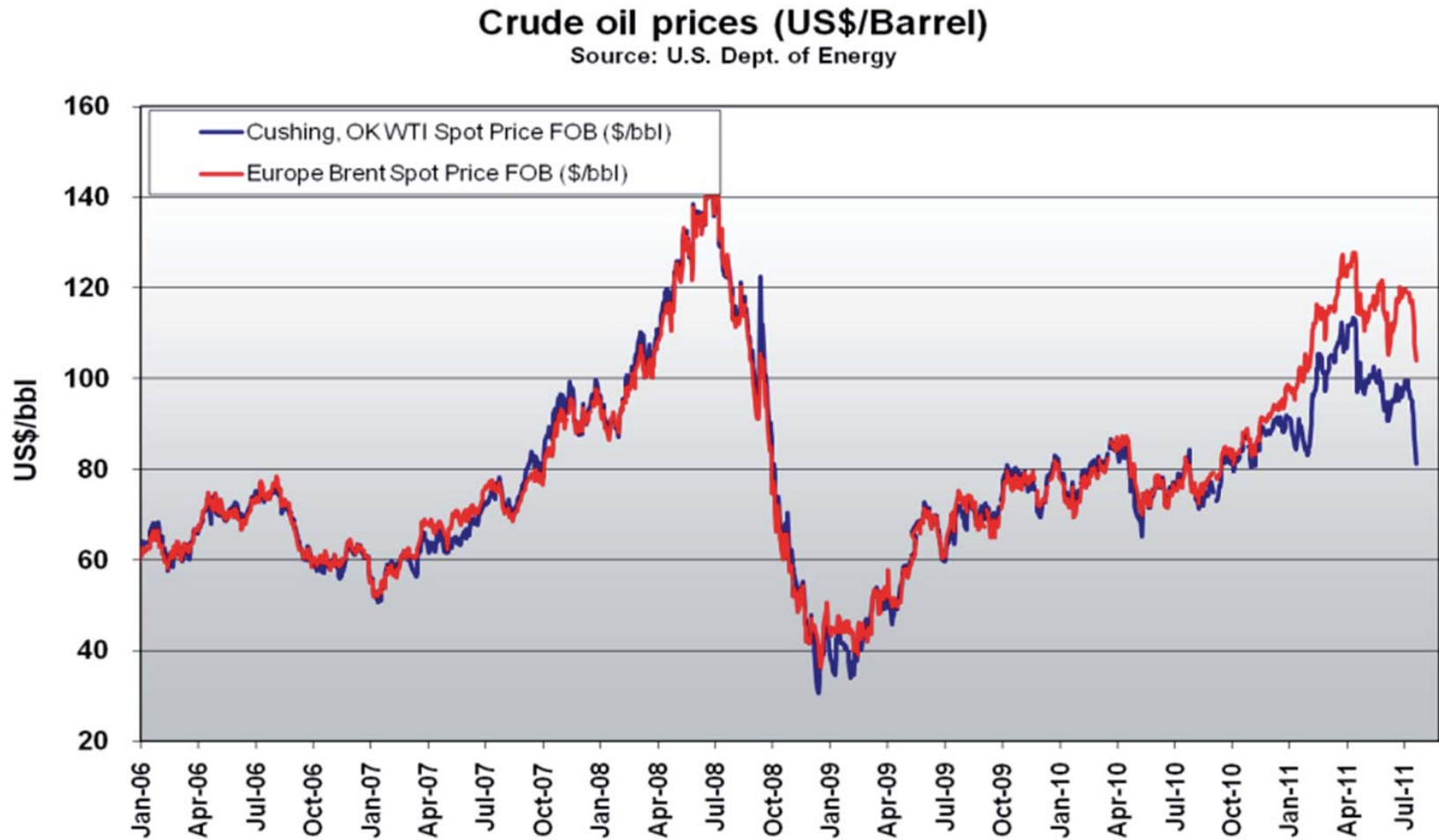


Fig. 112: Indicadores de Precio del Petroleo

➤ Ceniza Volante Gener Ventanas

| Fecha muestreo | Origen | %LOI | Fecha muestreo | Origen | %LOI |
|----------------|--------|------|----------------|-------------|------|
| 02-03-11 | Silo 2 | 10,9 | 23-05-11 | | 8,0 |
| 03-03-11 | Silo 2 | 10,1 | 24-05-11 | | 8,0 |
| 04-03-11 | Silo 2 | 11,0 | 25-05-11 | | 8,8 |
| 07-03-11 | Silo 2 | 9,9 | 13-06-11 | Silo 2 | 11,2 |
| 08-03-11 | Silo 2 | 8,6 | 15-06-11 | Silo 2 | 10,9 |
| 09-03-11 | Silo 2 | 5,9 | 16-06-11 | Silo 2 | 11,3 |
| 10-03-11 | Silo 2 | 9,4 | 18-06-11 | Silo 1 | 8,3 |
| 14-03-11 | Silo 2 | 8,5 | 20-06-11 | Silo 2 seca | 11,1 |
| 16-03-11 | Silo 2 | 8,3 | 21-06-11 | Silo 1 | 7,7 |
| 17-03-11 | Silo 2 | 9,8 | 22-06-11 | Silo 1 | 8,3 |
| 18-03-11 | Silo 2 | 10,1 | 23-06-11 | Silo 1 | 7,6 |
| 21-03-11 | Silo 2 | 9,7 | 24-06-11 | Silo 2 | 10,5 |
| 22-03-11 | Silo 2 | 9,2 | 25-06-11 | Silo 2 | 11,0 |
| 23-03-11 | Silo 2 | 9,1 | 27-06-11 | Silo 2 | 10,7 |
| 28-03-11 | Silo 2 | 7,8 | 28-06-11 | Silo 1 | 6,3 |
| 29-03-11 | Silo 2 | 6,3 | 29-06-11 | Silo 1 | 6,2 |
| 30-03-11 | Silo 2 | 6,2 | 01-07-11 | Silo 2 | 9,8 |
| 04-04-11 | Silo 2 | 7,9 | 04-07-11 | Silo 2 | 9,8 |
| 05-04-11 | Silo 2 | 7,7 | 05-07-11 | Silo 1 | 6,1 |
| 06-04-11 | Silo 2 | 8,0 | 06-07-11 | Silo 1 | 7,1 |
| 07-04-11 | Silo 2 | 8,7 | 07-07-11 | Silo 2 | 8,5 |
| 11-04-11 | Silo 2 | 6,5 | 08-07-11 | Silo 1 | 6,6 |
| 12-04-11 | Silo 2 | 6,4 | 11-07-11 | Silo 2 | 7,1 |
| 13-04-11 | Silo 1 | 7,8 | 12-07-11 | Silo 2 | 6,7 |
| 14-04-11 | Silo 1 | 7,6 | 13-07-11 | Silo 2 | 7,8 |
| 15-04-11 | Silo 1 | 7,5 | 14-07-11 | Silo 2 | 8,0 |
| 16-04-11 | Silo 1 | 7,4 | 15-07-11 | Silo 1 | 7,0 |
| 17-04-11 | Silo 1 | 7,1 | 18-07-11 | Silo 1 | 8,8 |
| 18-04-11 | Silo 1 | 6,9 | 19-07-11 | Silo2 | 7,6 |
| 20-04-11 | Silo 1 | 7,4 | 20-07-11 | Silo2 | 7,9 |
| 21-04-11 | Silo 1 | 6,7 | 21-07-11 | Silo2 | 7,6 |
| 23-04-11 | Silo 2 | 6,2 | 22-07-11 | | 9,5 |
| 25-04-11 | Silo 1 | 5,7 | 25-07,11 | Silo2 | 9,1 |
| 26-04-11 | Silo 1 | 5,7 | 26-07-11 | Silo1 | 8,2 |
| 27-04-11 | Silo 1 | 6,2 | 27-07-11 | Silo2 | 9,2 |
| 28-04-11 | Silo 1 | 5,8 | 28-07-11 | Silo1 | 9,4 |
| 02-05-11 | Silo 1 | 8,9 | 29-07-11 | Silo1 | 8,58 |
| 03-05-11 | Silo 1 | 7,8 | 01-08-11 | Silo2 | 9,7 |
| 04-05-11 | Silo 1 | 9,1 | 02-08-11 | Silo2 | 9,8 |
| 05-05-11 | Silo 1 | 9,3 | 03-08-11 | Silo1 | 9,2 |
| 06-05-11 | Silo 1 | 9,2 | 04-08-11 | Silo1 | 9,9 |

Tabla 118: Ceniza Volante Ventanas

➤ Muestras de Ceniza con Respetivos Porcentajes de No Quemado



Fig. 113: Muestras de Ceniza Con % de No Quemado