

SIMULADOR PROYECTO CALDERA 6



DIEGO ALEJANDRO MUÑOZ CAÑON

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2009**

SIMULADOR PROYECTO CALDERA 6

DIEGO ALEJANDRO MUÑOZ CAÑON

Pasantía para optar al título de Ingeniería Electrónica

Director
ADRIANA CADAVID SANCHEZ
Ingeniero Electrónico
Especialista en Electro medicina y Gestión Tecnológica Hospitalaria

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2009

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Jurado o Docente o Director

Jurado o Docente o Director

Santiago de Cali, 17 de Noviembre de 2009

DEDICATORIA

A mis padres, esposa, hijas y profesores que siempre creyeron en mí y me dieron el apoyo cada vez que los necesité.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mis padres Guido y Miriam, que me brindaron su apoyo incondicional y me dieron esta grata oportunidad de salir adelante con mis estudios; además de formarme como persona íntegra y de buena calidad humana.

A los queridos profesores que a lo largo de la carrera compartieron conmigo su conocimiento y que sin su apoyo este proyecto no hubiera podido salir adelante.

A mis compañeros de estudio que me colaboraron y estuvieron siempre dispuestos a darme una mano en lo que fuera.

A mi esposa e hijas que fueron un apoyo y estímulo para seguir adelante con el proyecto y la carrera como profesional.

A todos los que de una u otra forma con su colaboración contribuyeron a que este proyecto se llevara a cabo, a todos... ¡muchas gracias!

CONTENIDO

GLOSARIO	12
INTRODUCCION	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. PREGUNTA PROBLEMA	18
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. ANTECEDENTES	20
4. OBJETIVOS	21
4.1. OBJETIVO GENERAL	21
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
5. CALDERA	22
5.1. PARTES DE LA CALDERA	22
5.1.1. Partes de la caldera acuotubular	22
5.2. TIPOS DE CALDERAS	23
5.2.1 Piro tubulares	23
5.2.1.1 Ventajas piro tubulares	23
5.2.1.2 Desventajas	23
5.2.2 Acuatubulares de circulación natural	24
5.2.2.1 Ventajas acuatubulares:	24
5.2.2.2 Desventajas	24
5.3 FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA	25
6. DIAGRAMA SAMA	27
6.1 DEFINICIÓN SAMA	27
6.2 SIMBOLOGÍA SAMA	27

7. SIMULINK.....	30
7.1 DEFINICIÓN.....	30
7.2 MODELADO EN SIMULINK.....	30
7.3 CONTROL DE LA COMBUSTIÓN	33
8. OPC	44
8.1 DEFINICIÓN.....	44
8.2 VENTAJAS.....	44
9. MANUAL OPERACIÓN DE LA CALDERA	46
9.1 CONTROL COMBUSTION.....	46
9.1.1 Resetear el disparo de emergencia del combustible.....	50
9.1.2 Combustión del carbón (coal firing).....	50
9.1.3 Arranque de los alimentadores de carbón.....	52
9.1.4 Estabilización manual de la caldera	53
9.2 CONTROL NIVEL DEL DOMO	56
9.3 PRESIÓN DEL DESAIREADOR	57
9.4 NIVEL DEL DESAIREADOR	59
9.5 CONTROL DE LA TEMPERATURA DE VAPOR DEL SUPERHEATED	59
9.6 CONTROL DE LA VÁLVULA DE VENTEO DEL SUPERHEATED	59
9.7 DEMANDA DE VAPOR EN LA PLANTA.....	60
10. CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Letras SAMA para medidas y variables.	28
Tabla 2. Eventos que ocasionan el Disparo de Combustible (FUEL TRIP)	49
Tabla 3. Permisivas del carbón.....	51

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Símbolos geométricos SAMA.....	27
Cuadro 2. Funciones SAMA	28
Cuadro 3. Símbolos de señales del proceso.	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caldera de vapor piro tubular	23
Figura 2. Esquema de una caldera acuotubular.	25
Figura 3. Esquema de funcionamiento de la caldera de vapor.	25
Figura 4. Modelo caldera inicial	31
Figura 5. Diseño de bloques para las variables que contiene el bloque boiler	32
Figura 6. Última etapa del bloque steam tables.	33
Figura 7. Feeder coal.....	35
Figura 8. Bloque Feeder coal.....	35
Figura 9. Feeder coal bloque motores	36
Figura 10. Bloque boiler.....	37
Figura 11. Calculo del oxigeno.....	37
Figura 12. Transmisor	38
Figura 13. Equivalente de carbón.	39
Figura 14. Nivel y desaireador	40
Figura 15. Bloque desaireador.....	40
Figura 16. Bloque motores.....	41
Figura 17. FD y ID.....	42
Figura 18. FD y ID bloque calculo de calor.	42
Figura 19. FD y ID bloque boiler	43
Figura 20. Figura 20. FD y ID bloque boiler (continuación).....	43
Figura 21. Propósito de OPC	44
Figura 22. Conexión simulador con OPC.....	45
Figura 23. Aire y vapor de humo.....	47

Figura 24. Distribución de combustible	47
Figura 25. Iniciar el ventilador deTiro Inducido	48
Figura 26. Arranque ventiladores tiro forzado y sobre fuego	49
Figura 27. Control de combustible	50
Figura 28. Manejo de la ceniza	51
Figura 29. Motores del underthrow y alimentadores de carbón	52
Figura 30. Estado de los alimentadores de combustible.....	53
Figura 31. Tiro inducido	54
Figura 32. Cambio del boiler master a modo de control automático	55
Figura 33. Porcentaje de oxigeno	55
Figura 34. Nivel del domo	57
Figura 35. Modo de Operación de 3-Elemento	58
Figura 36. Presión del desaireador	58
Figura 37. Vapor y agua	60
Figura 38. Flujo de vapor demandada	61

GLOSARIO

AUTO MANUAL ESTACION (ESTACION DE CONTROL): estación que proporciona el accionamiento entre el control de modo manual o automático en un lazo de control.

BOARD O PANEL: estructura que tiene un grupo de instrumentos montados sobre este familiariza la interface operador-proceso. El panel debe consistir de una mas acciones, cubículos, consolas o escritorios.

CALENTADOR DE AIRE: existen del tipo tubular y del tipo regenerativo. Su objetivo es precalentar el aire y es absolutamente indispensable en unidades donde el combustible contiene alta humedad. El calentador de aire significa ahorro de dinero por un menor consumo de combustible.

CHIMENEA: medio por el cual salen los gases producidos en la combustión hacia la atmósfera.

COMPUTING DEVICE: dispositivo o función que realiza uno o más cálculos u operaciones lógicas o ambas y transmite una o más señales resultantes de salida.

CONTROLADOR: dispositivo teniendo una salida que varía o regula una variable controlada en una manera específica. Un controlador puede ser análogo o digital o también un sistema de control combinado.

Un controlador automático varía la salida automáticamente en respuesta de una entrada directa o indirecta de una mediación de un proceso variable.

Un controlador manual (estación de carga manual), esta salida no depende de una medición de proceso variable, pero puede ser variada solamente por ajustes manuales.

Un controlador puede ser integral con otros elementos funcionales de un lazo de control.

CONTROL COMPARTIDO (SHARED CONTROLLER): controlador conteniendo algoritmos pre programados que son usualmente accesibles, configurables y asignables. Esto permite un número de variables procesadas ser controladas por un único dispositivo.

CONTROL VALVULA: dispositivo, válvula on-off o auto chequeo válvula que manipula directamente el flujo de una o más procesos de fluidos.

CONVERTIDOR: dispositivo que recibe información en una forma de una señal de instrumentación y transmite una señal de salida de otra forma. Es conocido también como TRANSDUCTOR.

DOMO: cámara de presión colocada horizontalmente en la parte superior de la caldera (sobre el hogar). El domo se alimenta de agua, la cual es calculada hasta la ebullición con la combustión producida en el Hogar. El vapor de agua producido puede ser utilizado en el funcionamiento del equipo neumático o para el movimiento de turbinas.

ECONOMIZADOR: es un pre calentador del agua de alimentación a la caldera recuperando calor de los gases que irían a la chimenea perdiendo su energía. Cuando los gases de combustión contienen azufre (aceite y carbón especialmente), se requieren altas temperaturas de alimentación a la entrada del economizador para evitar condensación de gases y corrosión por formación de ácido sulfúrico. Cuando se quema exclusivamente gas natural se recomienda el uso del economizador, pues con este combustible no se requieren altas temperaturas de alimentación y resulta más económico que un calentador de aire.

ELEMENTO FINAL DE CONTROL: dispositivo que controla directamente el valor de la variable manipulada de un lazo de control. A menudo el elemento final de control es una válvula de control.

HOGAR: es la cámara en donde se realiza la combustión del bagazo.

IDENTIFICACION: secuencia de letras o dígitos o ambos usados para designar un instrumento o lazo individualmente.

INSTRUMENT: dispositivo usado directamente o indirectamente para medir o controlar una variable, el término incluye elementos primarios, elementos de control final, dispositivos de cómputo y dispositivos eléctricos, suiches e interruptor de botón.

INSTRUMENTACION: colección de instrumentos o sus aplicaciones para el propósito de observación, medición, control o alguna combinación de estos.

LOCAL: localización de un instrumento

LOCAL PANEL: panel que no es un central o principal panel. Son comúnmente encontradas alrededor de subsistemas de planta o sub áreas.

LOOP: combinación de 2 o más instrumentos o funciones de control adaptadas tanto que señales pasan de una a otra para el propósito de medición y/o control de una variable procesada.

MANUAL LOADING STATION: dispositivo o función teniendo una salida manualmente ajustable que es usada para poner a operar uno o más dispositivos remotos.

MONITOR LIGHT-PILOT LIGHT: una luz que indica cual de un número de condiciones normales de un sistema o dispositivo existe. Esto es una luz alarma .el cual indica una condición anormal.

MOUNTED PANEL: termino aplicado a un instrumento que esta sobre un panel o consola y es accesible para el uso normal de un operador .Una función que es normalmente accesible para un operador en un sistema de pantalla o display.

PLC: controlador con múltiples entradas y salidas que contienen un programa modificable.

PROCESS VARIABLE: alguna variable propia de un proceso.

PROGRAMA: secuencia de acciones que define el estado de salidas como una relación de conjunto con una señal de entrada.

RELAY (REGULADORA): dispositivo cuya función es pasar información en una forma modificada. También es usada para un eléctrico, neumático o suiche hidráulico que es accionado por una señal.

SCAN: la función es averiguar el estado el valor de una variable.

SET POINT: variable de entrada que coloco como señal de referencia de la variable controlada .Puede ser manual, automática o programadas.

SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO: sistema funcionalmente integrado, consiste de subsistemas que deben ser físicamente separados de no al otro.

SOBRECALENTADOR DE VAPOR (SUPERHEATER): el sobre calentador incrementa la temperatura del vapor saturado para asegurar o que esté bien seco o para obtener una temperatura requerida en turbinas o procesos.

TABLERO: término aplicado a la localización que está dentro de un área que contiene:

- Panel de instrumentación
- Esto está asociado sostén montado hardware
- Lo que está encerrado dentro del panel.

TRANSDUCTOR: dispositivo que recibe información en forma de unas más cantidades físicas, modifica la información y produce una señal resultante de salida, puede ser elemento primario, trasmisor, regulador, convertidor u otro dispositivo dependiendo de la aplicación.

TRANSMISOR: dispositivo que censa una variable procesada.

TIRO: se genera por los gases calientes que se encuentran en el hogar con menor densidad que el aire frío y por ello tiende a ascender.

El lugar que estos gases van dejando tras de sí en el hogar, va siendo ocupado por más aire que penetra en el mismo, estableciéndose así una corriente llamada tiro. (Natural, forzado o balanceado)

TIRO FORZADO: se le llama tiro forzado al aire inyectado por una bomba al interior del Hogar, con el fin de que se realice la combustión eficientemente.

TIRO INDUCIDO: se le llama tiro inducido a los gases extraídos del interior del Hogar por medio de una bomba y expulsados por la chimenea. Controlando el tiro inducido se regula la presión en el interior de la caldera.

Además de las partes ya mencionadas, en todas las calderas se tiene adicionalmente:

- La alimentación de combustible, la cual en éste caso consiste en el bagazo transportado generalmente por bandas.
- La alimentación de agua al domo, lo cual se realiza a través de una tubería y se controla por medio de una válvula.
- El desecho de agua contaminada llamada Purga Continua, la cual se acumula en el fondo del domo. Su desecho se realiza a través de una tubería y se controla a través de una válvula.

TIRO Y REGULACIÓN DE AIRE: la regulación del flujo de aire y gases en el interior de la caldera, se hace por el tiro que tiene por objeto hacer llegar el aire al combustible y obligar a los gases de combustión a recorrer la cámara y ductos evacuando los gases hacia la chimenea.

RESUMEN

Se realizó el proyecto de la simulación de la caldera 6 de Propal S.A con el fin de minimizar la curva de aprendizaje operario-maquina, además de optimizar el funcionamiento de la caldera.

Para este proyecto fue necesario en primera instancia estudiar acerca del diagrama sama para entender los planos y el lenguaje de estos mismos, seguido se tomo un modelo en simulink de una caldera acuatubular a la que se le fueron añadiendo bloques y funciones de simulink para convertir ese modelo al necesitado para la caldera 6 de Propal.

Luego se estudio acerca del OPC para poder hacer la comunicación entre el programa de control de la caldera del PLC con el diseño de control en simulink.

Por último se hizo el control y puestas a prueba con el fin de sincronizar el tiempo del programa del PLC con el de simulink.

INTRODUCCION

PROPAL S.A. es una empresa productora de papel la cual posee una gran infraestructura que necesita tener un alto grado de automatización y control en sus maquinarias.

Se compró una nueva caldera con sistemas de control automático nuevo en la cual no se tiene experiencia operativa y se requiere desarrollar un modelo que interactúe con un procesador de manera que permita simular la operación de la caldera y así poder entrenar a los operadores sin ningún riesgo.

Se describe la naturaleza de los procesos de la caldera –turbina y su representación en bloques de ecuaciones diferenciales parcialmente lineales de una central térmica de vapor, mediante la ayuda del Matlab y el Simulink, con los cuales se define la reacción del sistema real a factores externos.

El sistema de simulación de los elementos de una central térmica de vapor está conformado por cuatro submodelos, correspondientes a la turbina, a la caldera y a los controles de velocidad: carga y la turbina caldera.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Propal S.A. necesita entrenar a los usuarios de una nueva caldera, sin que estos interactúen con ella; debido a que dicha caldera tiene un sistema de control nuevo en el cual no se tiene experiencia y se requiere alcanzar una curva de aprendizaje rápida y segura de operación. Lograr entrenar a los operadores para que controlen de forma efectiva las condiciones de operación de una caldera es una necesidad obvia, si se tiene en cuenta que las elevadas presiones y temperaturas de trabajo son factores de alto riesgo de explosiones. También es importante considerar que un buen entrenamiento afecta de manera significativa el aspecto económico, considerando no solo los costos de producción, si no también los elevados costos de mantenimiento, relacionados con las condiciones óptimas de operación de una caldera.

En los diferentes proyectos de actualización tecnológica y automatización de los procesos de la compañía, este entrenamiento debe realizarse en primera instancia con manuales de entrenamiento; y luego aplicar lo aprendido en estos manuales, de forma directa sobre los equipos.

Con el montaje de la nueva caldera, la búsqueda de estas condiciones óptimas de operación y control de las mismas no es una tarea fácil, ya que una caldera de vapor es un sistema muy complejo en el que todas las variables están interrelacionadas. Además, la realización de pruebas de forma directa sobre una caldera es difícil de llevar a cabo, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Se requiere buscar una solución que permita entrenar de manera más efectiva a los operadores y permita simular el comportamiento del sistema y observar su dinámica para reducir el riesgo de probar en línea las diferentes condiciones óptimas de operación de la caldera.

1.1. PREGUNTA PROBLEMA

¿Cómo entrenar al personal que va a interactuar con la nueva caldera de una forma segura y óptima en su operación

2. JUSTIFICACIÓN

El modelamiento y simulación del proceso de operación de la nueva caldera presenta las siguientes ventajas y justificaciones:

- Reducir la curva de aprendizaje de operación de la caldera para garantizar un arranque de la caldera más rápida y segura.
- Entrenamiento directo en el equipo sin afectar la operación real de la caldera.
- Reducción de costos de arranque de la operación y producción más rápida.
- Mejoras en el proceso al poder simular condiciones de operación que permitan una mayor eficiencia de la caldera.
- Se pueden estudiar de una forma segura condiciones límite o extremas, muy alejadas de las normales de operación para analizar sus consecuencias y así predecir fallas o protecciones necesarias.
- Utilizar con finalidad didáctica para re-entrenamiento o entrenamiento de operarios nuevos.

3. ANTECEDENTES

Anteriormente en PROPAL no se trabajó con programas de simulación, lo que se hacía era un simulador físico con pulsadores, relés, potenciómetros, lcds para que el operario tuviera idea de cómo se comportaba la caldera.

No existe un simulador de calderas por software, y esto constituye un gran paso para la empresa ya que se está automatizando los procesos con un avanzado programa como simulink y es mucho más fácil la interacción entre operador-maquina, además de que se pueden manipular mucho más fácilmente las variables.

- En la actualidad SEFCARM están realizando los trabajos, en colaboración con la empresa ELIMCO-Sistemas, para el desarrollo de un simulador de calderas de vapor y otro de columnas de destilación. El objetivo de dicho proyecto es la obtención de una herramienta virtual para el entrenamiento práctico de los futuros operadores de planta química. La dotación económica para el desarrollo de este proyecto es de 250.000 euros.

- El proyecto solicitado pretende desarrollar un simulador de salas de control, con referencia a la factoría azucarera de Toro, que pueda ser usado para dos objetivos: la formación de operadores de sala de control y servir como herramienta de soporte a la producción a los jefes de planta. Además, se pretende cubrir estos objetivos transfiriendo la correspondiente tecnología de simulación, creando un simulador dinámico configurable, validado y con referencias industriales que pueda ser comercializado con posterioridad.¹

¹ DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE ENTRENAMIENTO DE OPERARIOS DE SALA DE CONTROL CON REFERENCIA A LA FACTORÍA DE TORO. Disponible en internet: http://www.cta.uva.es/ctanew/espanol/proyectos/descripcion_sim_toro.htm

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un simulador de la nueva caldera de Propal 1. Que interactúe con un PLC y permita emular las condiciones de operación para facilitar el entrenamiento del personal antes del arranque y operación de la misma.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar la caldera y todos los elementos que la componen.
- Interpretar y entender la simbología de los planos de la caldera --- diagrama SAMA---
- Simular la nueva caldera por medio del software Simulink.
- Desarrollar la comunicación entre el simulador y el PLC
- Simular condiciones de operación de la caldera.
- Diseñar manual de operación.

5. CALDERA

Recipiente a presión diseñado para generar vapor de agua, absorbiendo el calor liberado en la combustión de un combustible o también de gases calientes provenientes de un proceso externo o de elementos eléctricos.

El objetivo de una caldera, además de generar vapor, es realizar con la máxima eficiencia posible la transferencia de calor.

5.1. PARTES DE LA CALDERA

- Partes de presión, incluyendo superficies de calentamiento
- Conexiones para entradas y salidas tanto de agua como de vapor.
- Hogar
- Conexiones para manejo de aire y gases.
- Aislamiento y refractarios.
- Soportes estructurales
- Tapas para inspección y acceso.
- Válvulas y accesorios.
- Sistema de control
- Estructura de soporte para el equipo de combustión y auxiliares. ²

5.1.1. Partes de la caldera acuotubular

La caldera acuotubular se compone de tubos y domos; los tubos, que sirven para interconectar los domos, quedan localizados invariablemente en la parte exterior con relación a éstos. Los domos tienen la misión de almacenar agua y vapor; y ya que no necesitan tener ninguna superficie tubular de calefacción, pueden

² CASTRO Javier. Operación y mantenimiento de calderas. PROPAL S.A.

fabricarse en muchos menores diámetros que los cilíndricos de las calderas de tubos de humo y, por consiguiente pueden construirse para soportar presiones más altas.

5.2. TIPOS DE CALDERAS

5.2.1 Piro tubulares: El gas circula dentro de los tubos y el agua por fuera.

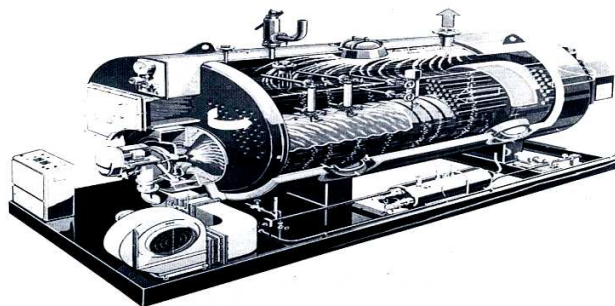
5.2.1.1 Ventajas piro tubulares

- Fáciles de reparar
- Requieren de poco espacio físico
- Relativo bajo costo
- Fácil instalación

5.2.1.2 Desventajas

- Bajas presiones
- Capacidad de producción limitada
- No tienen economizadores-sobre calentadores
- Uso de un solo tipo de combustible
- Baja pureza de vapor

Figura 1. Caldera de vapor piro tubular



Fuente: CASTRO Javier. Libro operación y mantenimiento de calderas. PROPAL S.A.

Industriales para combustibles sólidos: Pueden quemar cualquier combustible, incluyendo bagazo, basuras, carbones, cascarilla de algodón, madera, etc.

Normalmente requieren un sistema de combustión consistente en alimentadores esparcidos y parrilla. Son de tiro balanceado requiriendo ventilador de tiro forzado, inducido y sobre fuego.

La capacidad se limita por el tamaño de las parrillas y se puede obtener Hasta 350,000 lb/hr (44 Kg/s) de vapor presiones de 1,000 Psig (69 Bar) y temperaturas hasta de 950°F (510°C). Aunque su principal utilización es para proceso, también se construyen para generación de energía.

5.2.2 Acuatubulares de circulación natural: Es debida al mayor peso aportado por el agua de entrada contra la mezcla agua - vapor saturado.

Equipos recuperadores de calor (calentadores de aire o economizadores).

Acuatubulares (lb/hr)(Kgs/s): Cuando se requieren presiones superiores a 300 Psig (20.7 Bar) aunque pueden operar desde 120 Psig (8.3 Bar).

5.2.2.1 Ventajas acuatubulares:

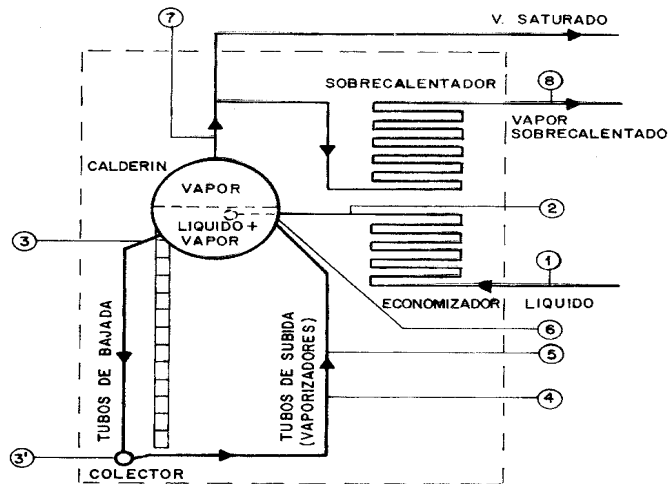
- Amplio rango de presiones
- Capacidad de producción ilimitada
- Alta transferencia de calor
- Economizadores-sobre calentadores
- Facilidad de uso de diferentes combustibles
- Alta pureza de vapor

5.2.2.2 Desventajas

- Alto costo
- Requieren de grandes espacios
- Agua de alimentación de alta pureza.

Las capacidades de estas calderas se acercan a los diez millones de libras por hora de vapor (1258 Kg/s) y aun más.

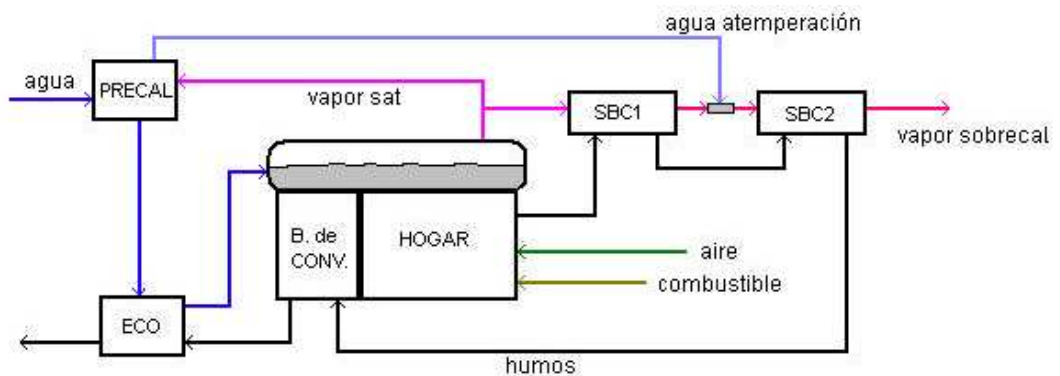
Figura 2. Esquema de una caldera acuotubular.



Fuente: CASTRO. Javier Libro operación y mantenimiento de calderas. PROPALS.A.

5.3 FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA

Figura 3. Esquema de funcionamiento de la caldera de vapor.



Fuente: Software de Modelamiento Continuo y discreto (en línea) UNED, Madrid, consultado el 4 Mayo 2009. Disponible en Internet <http://www.ecosimpro.com/>

El principio de funcionamiento de la caldera, tiene como fin evaporar agua y sobrecalentar el vapor obtenido, mediante energía liberada en una reacción de combustión.

El agua de alimentación BFWH pasa por el desaireador que es el encargado de liberar los gases, luego pasa por un intercambiador de calor cuyo objetivo es el precalentamiento de dicho agua antes de que ésta entre en el economizador. Como medio calefactor se utiliza vapor de agua saturado que se obtiene en el domo superior.

En el economizador el agua se sigue calentando, aunque sin llegar a vaporizarse, utilizando como fluido calefactor los gases de combustión generados en la propia caldera.

Después del economizador el agua llega al domo superior, y desde allí, mediante los tubos bajantes accede al domo inferior, desde dónde se reparte entre los distintos circuitos de generación de vapor, correspondientes a la cámara de combustión y el banco de convección.

El agua, al ascender por los tubos (por circulación natural) se va vaporizando en parte, formando una mezcla de vapor y agua al llegar de nuevo al domo superior. En este, el vapor generado debe separarse del agua, para lo cual se dispone de un sistema de separadores ciclónicos.

El vapor seco que sale del domo llega la sección de sobrecalentamiento, formada por dos cuerpos separados por un atemperador. Al salir del sobre calentador secundario, el vapor llega a un colector desde donde ya pasa a proceso.





6. DIAGRAMA SAMA

6.1 DEFINICIÓN SAMA

Asociación Científica de Fabricantes de Aparatos (SAMA) ha desarrollado una notación que se utiliza comúnmente para describir y documentar el control estrategias y sistemas. Diseñados para el sector industrial y aplicaciones de utilidad en la caldera.

6.2 SIMBOLOGÍA SAMA

Cuadro 1. Símbolos geométricos SAMA.

Enclosure Symbols	
	Measuring or Readout
	Manual Signal Processing
	Automatic Signal Processing
	Final Controlling

Cuadro 2. Funciones SAMA

Function	Symbol
Logical AND	
Logical OR	
Qualified Logical OR	
Logical NOT	
Maintained Memory	

Fuente: Procidia™ Control Solutions SAMA Diagrams for Boiler Controls. SIEMENS (en línea).
 Disponible en Internet <http://www.sea.siemens.com>

Tabla 1. Letras SAMA para medidas y variables.

Measurement/Readout Letters	
A Analysis	R Recording (Recorder)
C Conductivity	I Indicating (Indicator)
D Density	Q Integrating (Totalizer)
F Flow	U Digital Aquisition
L Level	T Transmitter
M Moisture	RT Recording Transmitter
P Pressure	IT Indicating Transmitter
S Speed	
T Temperature	
V Viscosity	
Z Position	

Fuente: Procidia™ Control Solutions SAMA Diagrams for Boiler Controls. SIEMENS (en línea).
 Disponible en Internet <http://www.sea.siemens.com>

Cuadro 3. Símbolos de señales del proceso.

Signal Processing Symbols			
Summing	Σ	High Selecting	$>$
Averaging	Σ/n	Low Selecting	$<$
Difference	Δ or $-$	High Limiting	\uparrow
Proportional	K or P	Low Limiting	\downarrow
Integral	\int or I	Rev. Propor.	$-K$ or $-P$
Derivative	d/dt or D	Velocity Limit	$V\uparrow$
Multiplying	\times	Bias	$+/-$
Dividing	\div	Time Function	$f(t)$
Root Extract	$\sqrt[n]{\quad}$	Signal Transfer	T
non-Linear	$f(x)$	Signal Generator	A
Tri-State	\updownarrow	Signal Comparator	H, L

Fuente: Procidia™ Control Solutions SAMA Diagrams for Boiler Controls. SIEMENS (en línea).
 Disponible en Internet <http://www.sea.siemens.com>

7. SIMULINK

7.1 DEFINICIÓN

Simulink es una herramienta para el modelar, analizar y simular sistemas dinámicos. Soporta sistemas lineales y no lineales, modelados en tiempo continuo, muestreados o un híbrido de los dos. Los sistemas pueden también ser multifrecuencia, es decir, tienen diferentes partes que se muestrean o actualizan con diferentes velocidades.

Para modelar, simulink proporciona una interfaz de usuario grafica (GUI) para construir los modelos como diagramas de bloques utilizando operaciones con el ratón del tipo pulsar y arrastrar. Con esta interfaz puede dibujar los modelos de la misma forma que lo haría con lápiz y papel.

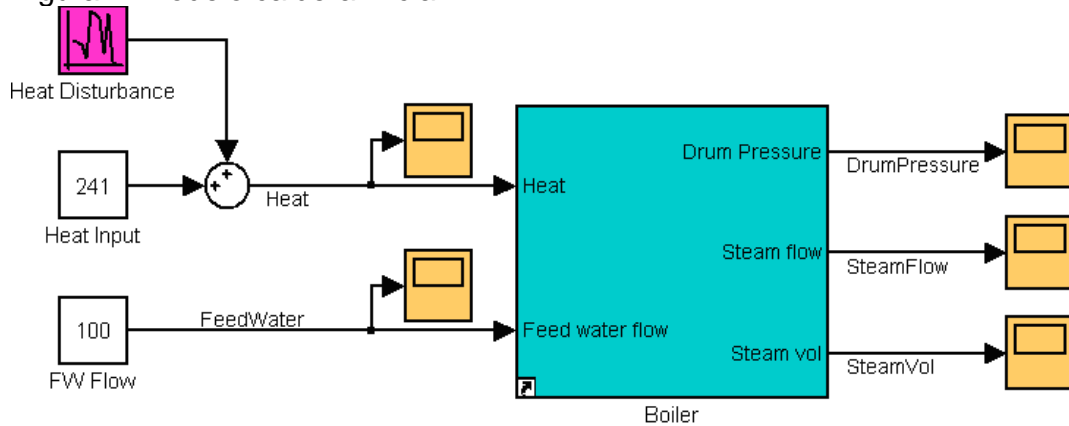
Los modelos son jerárquicos, es decir, puede construir modelos utilizando una metodología descendente y ascendente. Puede visualizar el sistema en un nivel superior, desde donde mediante un doble click sobre los bloques puede ir descendiendo a través de los niveles para ver con mas detalle el modelo. Esto le proporciona la comprensión de cómo se organiza un modelo y como interactúan sus partes.

Después de definir un modelo puede simularlo utilizando cualquiera de los métodos de integración que tiene a su disposición o bien desde el menú de simulink o introduciendo órdenes desde la ventana de órdenes de Matlab. Simulink tiene dos fases de uso: la definición del modelo y el análisis del modelo. La definición del modelo significa construir el modelo a partir de elementos básicos contruidos previamente, tal como, integradores, bloques de ganancia o servomotores. El análisis del modelo significa realizar la simulación, linealización y determinar el punto de equilibrio de un modelo previamente definido.

7.2 MODELADO EN SIMULINK

Inicialmente se tomo un demo de caldera para adecuarlo a la caldera 6 de Propal. A continuación se puede apreciar la referencia que se tomo para adecuarla a la caldera 6 de Propal.

Figura 4. Modelo caldera inicial



Fuente: propia.

A partir del modelo de la figura 4 se hicieron varios ajustes de valores para cada una de las variables de la caldera como la presión, temperatura, combustible, flujo, entre otros. También se añadió variables que hacían falta.

Los valores con que se crearon las funciones de transferencia para cada variable, se tomaron a partir de los datos de diseño del fabricante de la caldera 6, de pruebas y resultados de una caldera muy parecida que existe en Propal (caldera 5.) y de la experiencia del departamento de ingeniería quienes tomaron las curvas de acción – reacción de la caldera 5 y haciendo pruebas de ensayo y error se construyeron las diferentes funciones de transferencia citadas en este documento.

En algunos diagramas se muestran las funciones de transferencia usadas.

Los datos de diseño de la caldera son los siguientes:

Presión: 650 PSI

Flujo de vapor: 250.000 lb. /hora

Temperatura del vapor: 750 °F

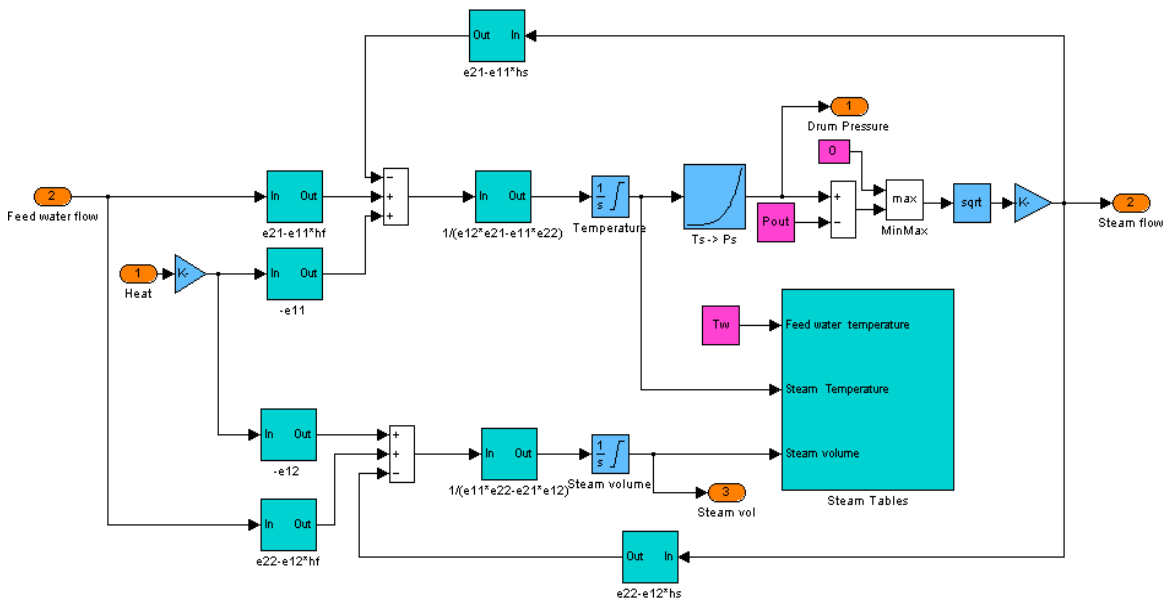
Combustibles: Carbón de 12.000 BTU/lb. y biomasa de 4.000 BTU/ lb.

En la figura 5 se muestra el bloque general de la caldera donde están los inputs de entrada de energía, agua de alimentación, presión en el domo y temperatura, y el bloque Steam Tables para producir una salida del flujo de vapor.

El bloque Steam Tables contiene la información termodinámica del vapor y nos dice los valores de entalpia (energía) que tiene el vapor a unas condiciones de de temperatura y presión dadas. Estas son tablas termodinámicas internacionales

Con el diseño de la figura 4, las variables de diseño de la caldera 6 y la experiencia de la caldera 5 se empezó a trabajar en el control de la caldera, utilizando los diagramas SAMA para la construcción de todos los bloques de control de la caldera.

Figura 5. Diseño de bloques para las variables que contiene el bloque boiler



Fuente: propia

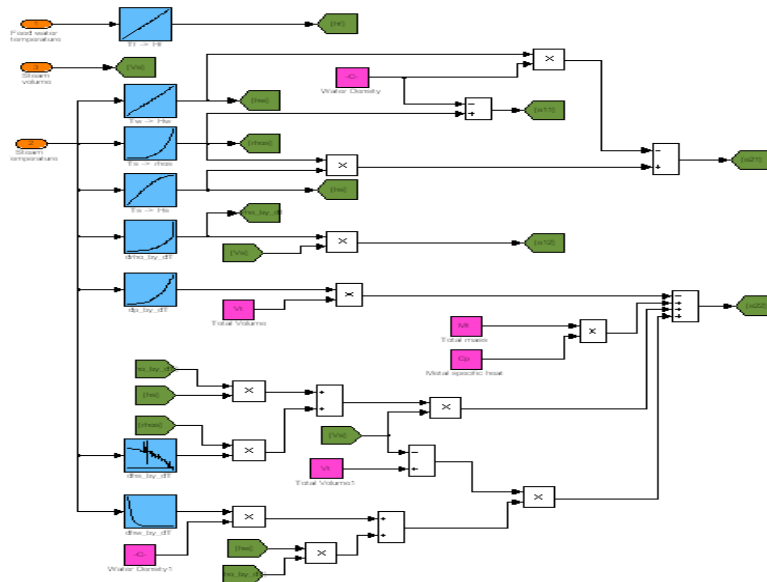
La primera variable a tratar de acuerdo al funcionamiento de la caldera es la demanda de combustible y control de alimentación.

7.3 CONTROL DE LA COMBUSTIÓN

La caldera No.6 está acondicionada para quemar carbón, biomasa, bagazo, polvillo y gas natural.

La demanda de combustible para la caldera de Propal es por medio de carbón y polvillo de bagazo y lodos secos del efluente de Propal.

Figura 6. Última etapa del bloque steam tables.



Fuente propia.

La parte más importante del control de la caldera corresponde al control de la combustión que se realiza en ella, ya que la realización de una combustión lo más eficiente posible es el objetivo principal del funcionamiento de toda la caldera.

Para el buen funcionamiento del lazo de control de combustión, se debe tomar en cuenta la relación de las siguientes variables:

- Relación aire/combustible: Es una variable que se toma de tablas dadas por el fabricante donde basados en la cantidad del flujo de vapor (250.000 lb./hora) y la presión de la caldera (650 PSI), nos dicen cual es la demanda de aire para quemar el respectivo combustible.

- Contenido de gases expulsados en la chimenea (en especial el oxígeno).

El exceso de oxígeno es de 3.5% - 4.5% para una eficiencia óptima de la caldera de 82.2% (tomada de tablas de diseño del fabricante de la caldera)

- Presión en el Hogar de la caldera: 0.060 "H₂O (presión casi de vacío)

En teoría, la combustión es una reacción química que libera calor. Se realiza cuando los elementos carbono (C), hidrógeno (H) y azufre (S) contenidos en un combustible se combinan con el contenido de oxígeno (O) que tiene el combustible y una cantidad adicional de oxígeno a una temperatura superior a la de auto-ignición de la mezcla de combustible. El bagazo es un elemento orgánico, por lo que contiene principalmente carbono.

El aire es utilizado como fuente de oxígeno para la combustión. La cantidad de oxígeno contenido en el aire varía según condiciones atmosféricas, pero es aproximadamente 21% por volumen o 23% por peso. Se puede asumir que el porcentaje restante es nitrógeno.

La eficiencia de la combustión está en función de la composición del combustible utilizado y de la capacidad de transferencia de calor del elemento que la realiza, como lo indica la temperatura del gas quemado. La cantidad de oxígeno (aire) alimentado puede causar pérdidas de energía en forma de sensibles pérdidas de calor en la chimenea.

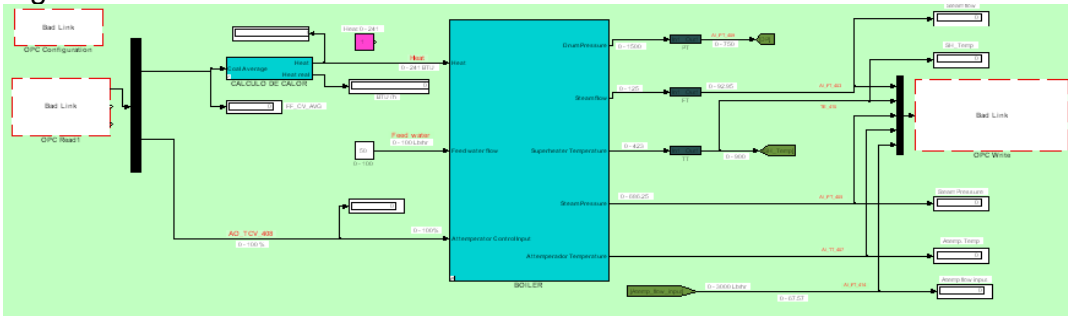
Lo más importante que se debe considerar al realizar el control de la combustión es el asegurarse que se tenga un adecuado exceso de aire de alimentación, con el cual se puede producir una combustión eficiente. (datos acorde con la grafica de flujo de vapor vs. oxígeno recomendada por el fabricante de la caldera). Los datos de diseño para esta caldera son un flujo de aire de 50.000 CFM (ft³/min.) en el ventilador de tiro forzado y 30.000 CFM (ft³/min.) para el flujo de aire sobre-fuego que ayuda a quemar los inquemados que quedan en suspensión del proceso de combustión dentro del hogar de la caldera

Las pérdidas por cantidades insuficientes de aire son aproximadamente 15 veces mayores que las pérdidas por exceso de aire, además faltantes de aire pueden causar acumulamientos de materiales no quemados, disminuye la transferencia de calor, aumenta la necesidad del mantenimiento, causa problemas de opacidad

(atenuación de la luz visible producida por la absorción de luz de las partículas en una chimenea) y produce condiciones potenciales de explosión.

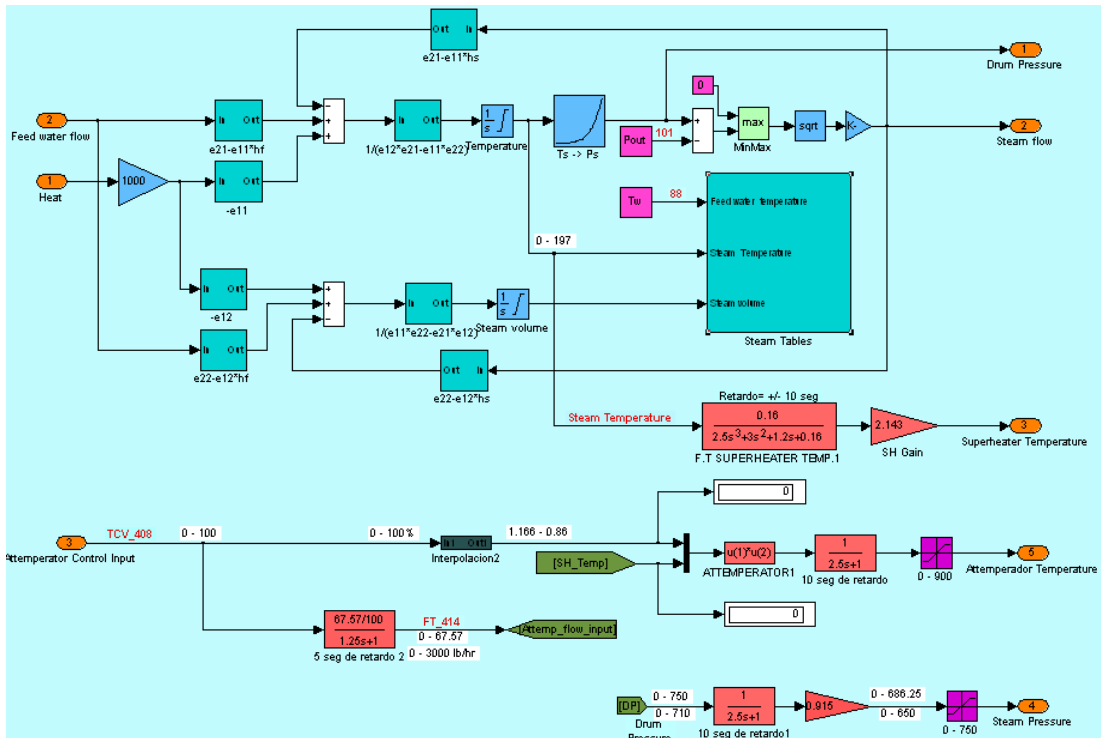
En la figura 7 el bloque boiler es donde se encuentran las variables en cuestión y el bloque calculo de calor como su nombre lo indica es para ajustar los valores requeridos de temperatura para la caldera 6. Al entrar en detalle en el bloque boiler se aprecian los bloques a continuación.

Figura 7. Feeder coal



Fuente: propia.

Figura 8. Bloque Feeder coal



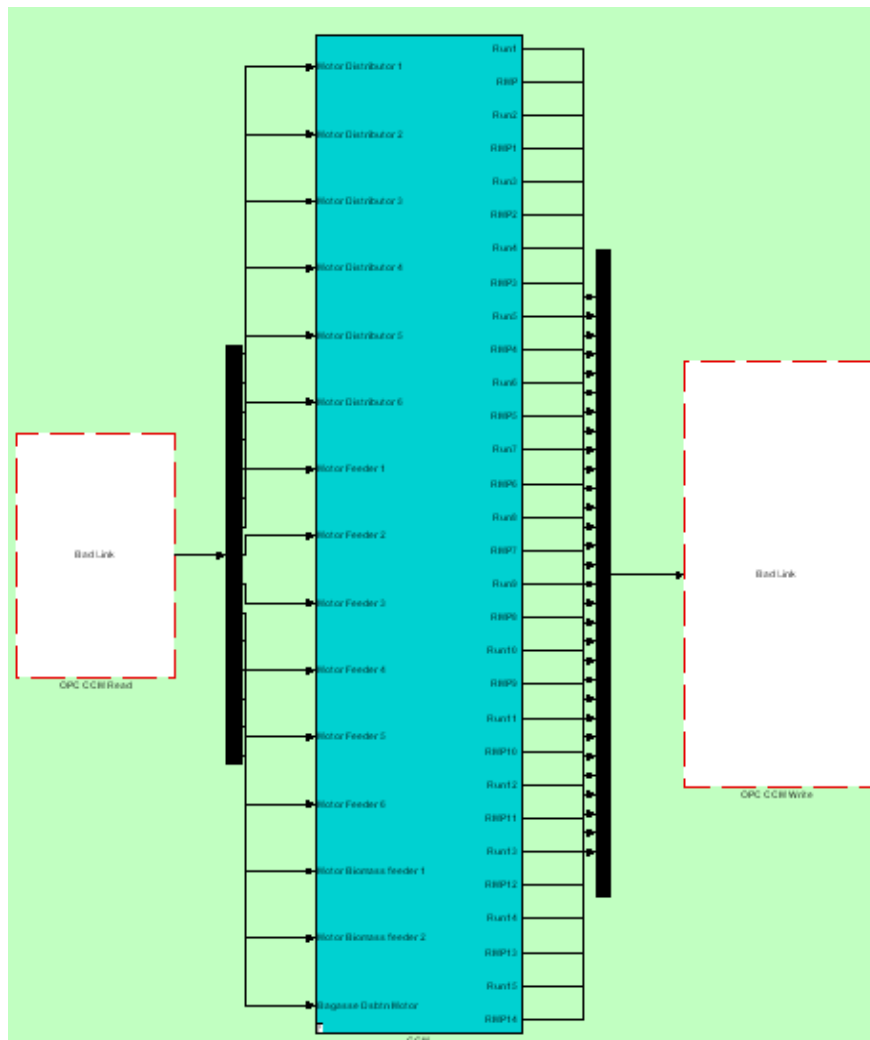
Fuente: propia.

En los bloques anteriores se puede ver el sobrecalentador que incrementa la temperatura del vapor saturado para asegurar o que esté bien seco o para obtener una temperatura requerida en turbinas o procesos y el atemperador para mantener constante la temperatura del vapor sobrecalentado a turbina.

En el superheater el vapor sale seco y recalentado a una presión de 650 ± 20 y 750°F y se distribuye en la planta para los diferentes usos.

Cuando el vapor seco y a alta temperatura sale del superheater pasa por la boquilla de atemperación que utiliza agua de alimentación para bajarle la temperatura al vapor a $750^\circ\text{F} \pm 20^\circ\text{F}$

Figura 9. Feeder coal bloque motores



Fuente: propia.

$$\text{eficiencia} = 100 - \left[\frac{k(T_1 - T_2)}{20.8 - \%O_2} \right]$$

T_1 = Temperatura de los gases de proceso (salida al economizador)

T_2 = Temperatura de aire entrada cámara de combustión

$\%O_2$ = medición de oxígeno en los gases de proceso

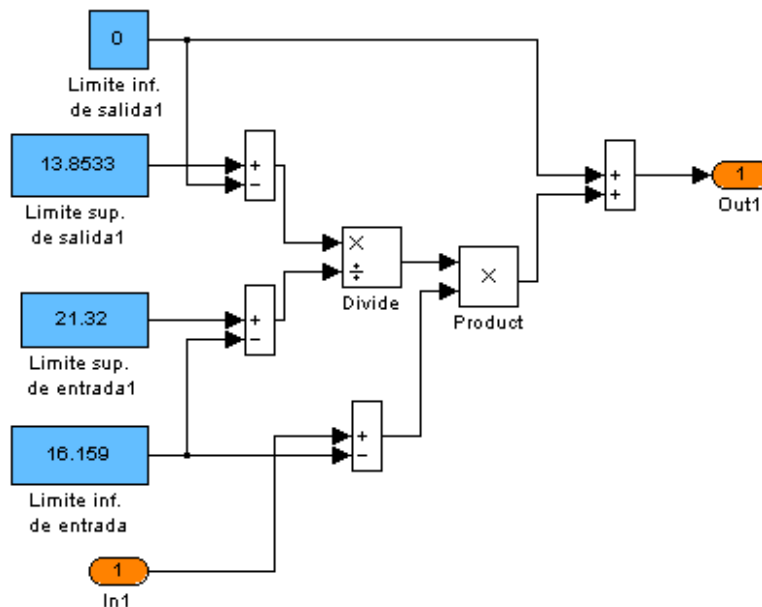
K= constante de combustible

Gas natural K = 0.6, Fuel oil K =0.70, Carbón bituminoso. K =0.73

En este caso se uso la constante de carbón de 0.73, una temperatura de los gases a la salida del economizador de 100°F y de la ecuación 1 para una eficiencia de la caldera dada por el fabricante de 82.2% se despejo el $\%O_2$ y se empezaron a hacer pruebas en la caldera y al final se ajusto la ecuación obteniendo la siguiente:

$$20.8 - (0.73 * (u(1) - 100)) / (100 - 0.823)$$

Figura 12. Transmisor



Fuente: propia.

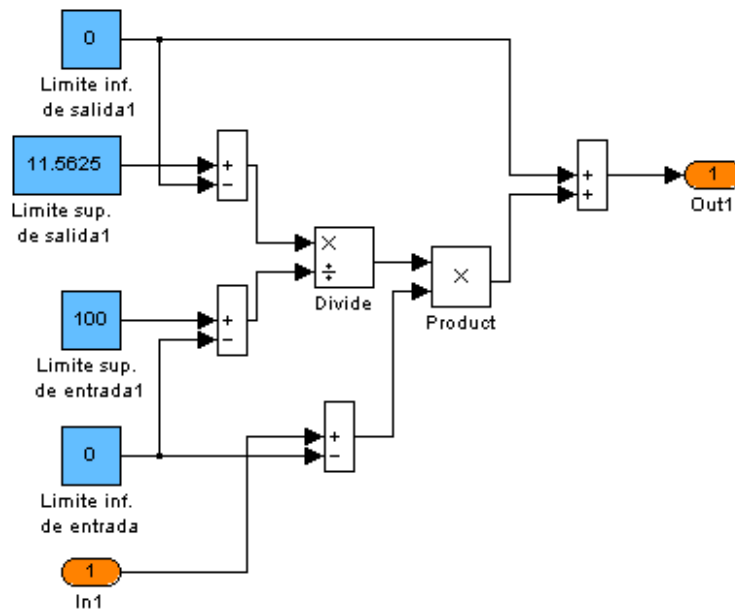
En el bloque equivalente de carbón se puede apreciar el modelo de este bloque.

Luego el agua de alimentación pasa por el desaireador que es el encargado de liberar los gases.

En el bloque del desaireador se puede ver las entradas de nivel del agua y presión del vapor saturado que son las variables que el desaireador trata. Los valores de la presión del desaireador son 35 PSI y un nivel de agua en el desaireador de 70%

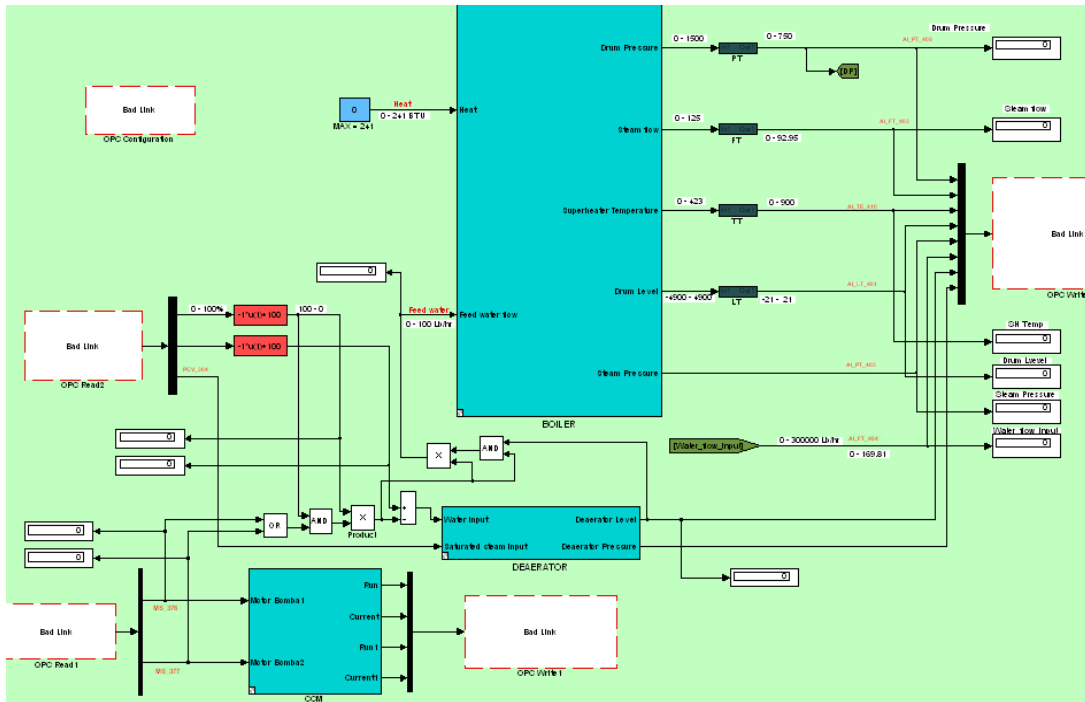
Así mismo el bloque motores que controla el arranque y apagado de los motores de Los diferentes sistemas de la caldera.

Figura 13. Equivalente de carbón.



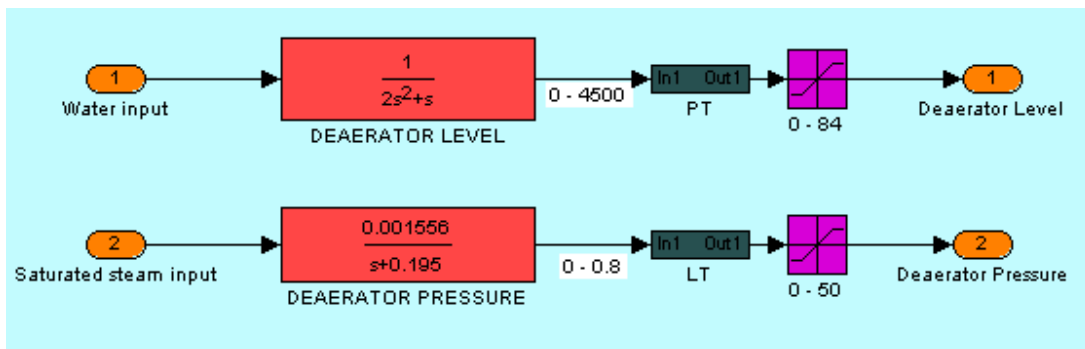
Fuente: propia.

Figura 14. Nivel y desaireador



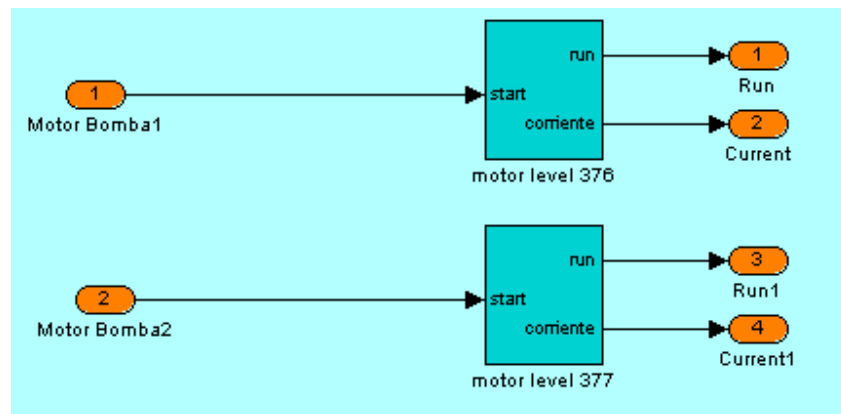
Fuente: propia.

Figura 15. Bloque desaireador.



Fuente: propia.

Figura 16. Bloque motores



Fuente: propia.

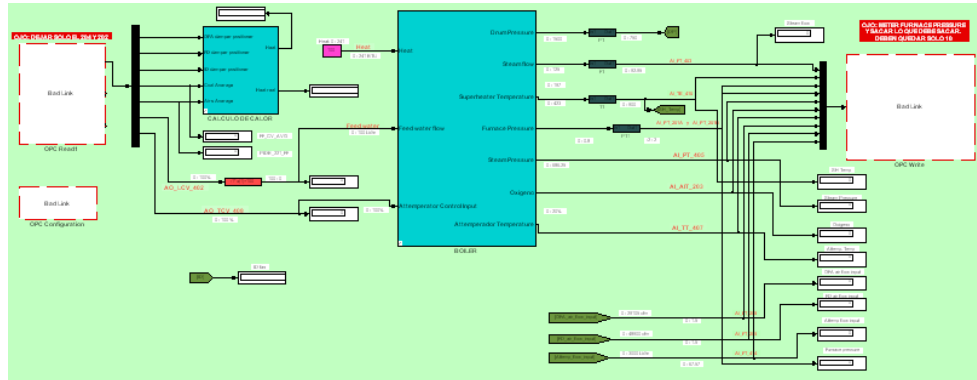
Luego del desaireador el agua y los gases pasan por el economizador con el objetivo de precalentar el agua de alimentación a la caldera recuperando calor de los gases que irían a la chimenea perdiendo su energía.

En el economizador el agua se sigue calentando, aunque sin llegar a vaporizarse, utilizando como fluido calefactor los gases de combustión generados en la propia caldera.

Después del economizador el agua llega al domo superior, y desde allí, mediante los tubos bajantes accede al domo inferior, desde dónde se reparte entre los distintos circuitos de generación de vapor, correspondientes a la cámara de combustión y el banco de convección.

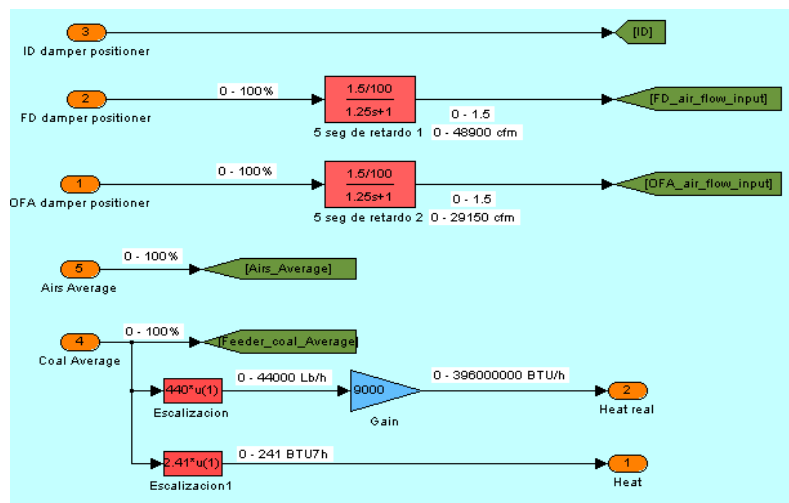
Mientras se hace el control de combustible, también se hace el control de aire y fuego que esta en el siguiente diagrama de bloques:

Figura 17. FD y ID



Fuente: propia.

Figura 18. FD y ID bloque calculo de calor.

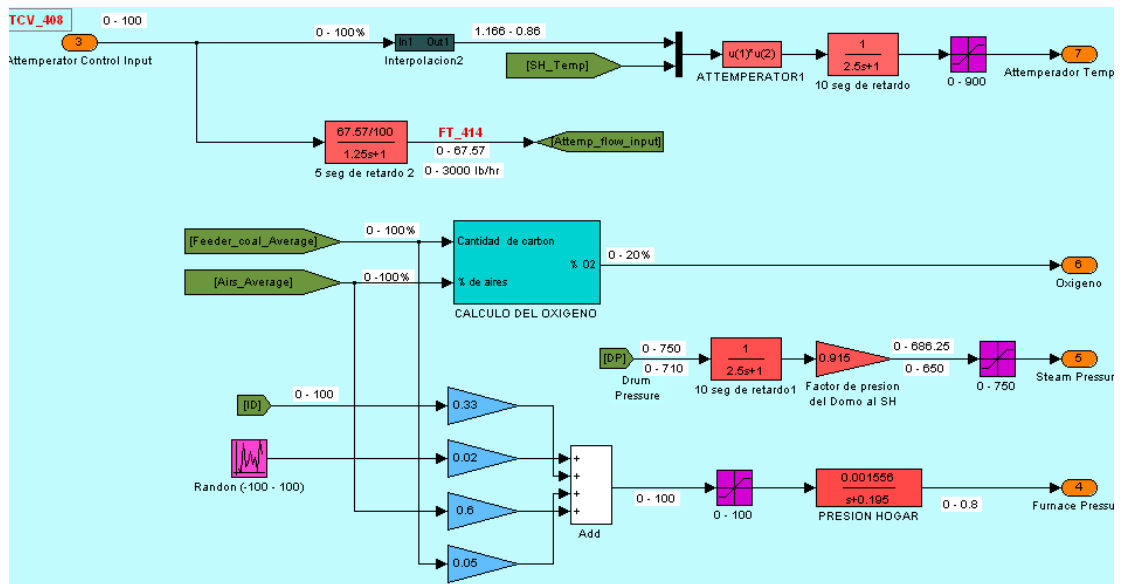


Fuente : propia.

Los valores para el cálculo de calor se obtienen de hacer un balance de energía de la caldera para lograr una óptima eficiencia para la caldera 6. ($n = 82.2\%$)

En la figura 19 se observa el bloque presión del hogar que es la cámara en donde se produce la reacción de combustión, con liberación de energía en forma de luz y calor.

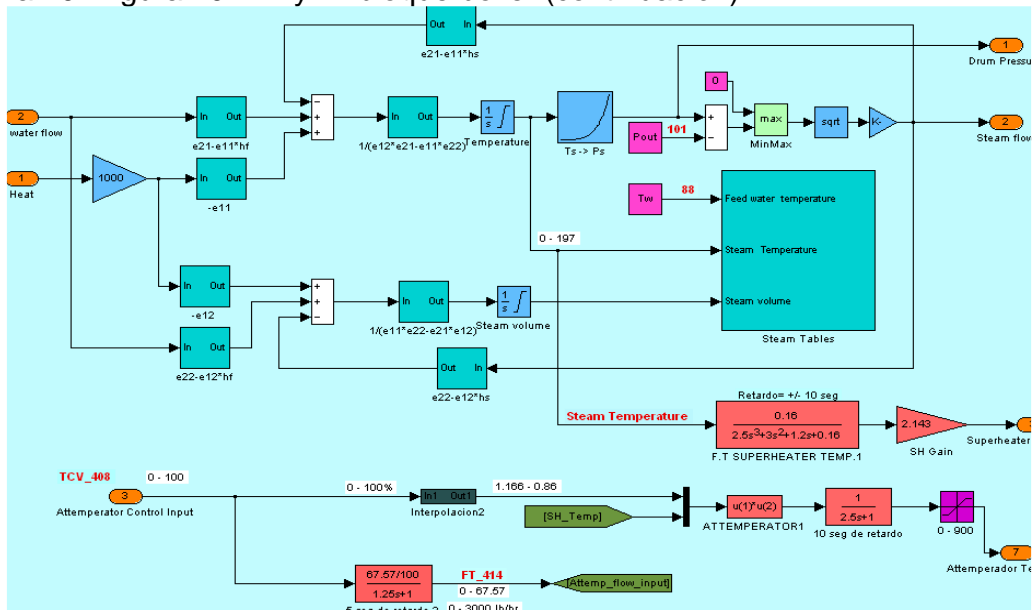
Figura 19. FD y ID bloque boiler



Fuente propia.

La combinación de combustible y oxígeno del aire en cantidades correctas se hace dentro del hogar de la caldera que se encuentra recubierto con material aislante refractario y paredes con tubería de agua.

Figura 20. Figura 20. FD y ID bloque boiler (continuación)



Fuente: propia.

8. OPC

8.1 DEFINICIÓN

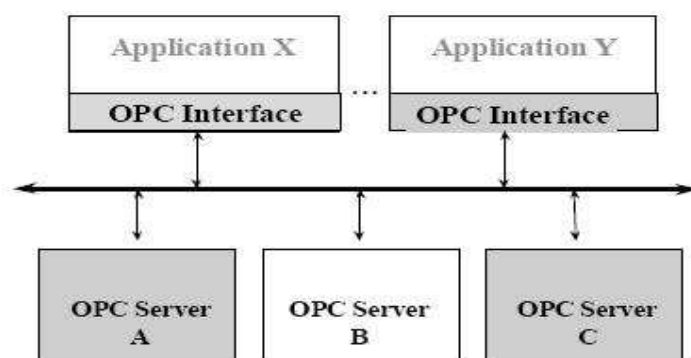
El OPC (*OLE for Process Control*) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos. Este estándar permite que diferentes fuentes envíen datos a un mismo servidor OPC, al que a su vez podrán conectarse diferentes programas compatibles con dicho estándar. De este modo se elimina la necesidad de que todos los programas cuenten con drivers para dialogar con múltiples fuentes de datos, basta que tengan un driver OPC.

Las aplicaciones necesitan una manera común de acceder a los datos de cualquier fuente, como un dispositivo o una base de datos.

8.2 VENTAJAS

- Los fabricantes de hardware sólo tienen que hacer un conjunto de
- componentes de programa para que los clientes los utilicen en sus aplicaciones.
- Los fabricantes de software no tienen que adaptar los drivers ante cambios de hardware.

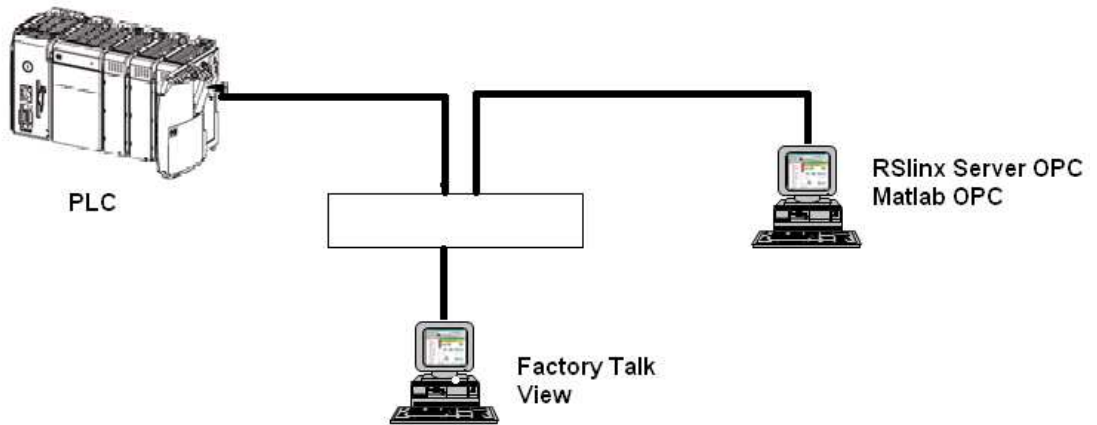
Figura 21. Propósito de OPC



Fuente: OPC (en línea) Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/OPC>

Así mismo como se observa en la figura 21 se hizo la conexión entre el programa de simulink y el del PLC, de la siguiente manera:

Figura 22. Conexión simulador con OPC



Fuente: propia

9. MANUAL OPERACIÓN DE LA CALDERA

Una vez configurado el OPC haciendo la comunicación del PLC con Matlab se procedió a hacer las pruebas y puesta a punto para sincronizar los valores deseados para la caldera y seguidamente a construir un manual de operación de la caldera.

La operación del sistema de control se hace a través de una HMI que se encuentra en el Cuarto de Control.

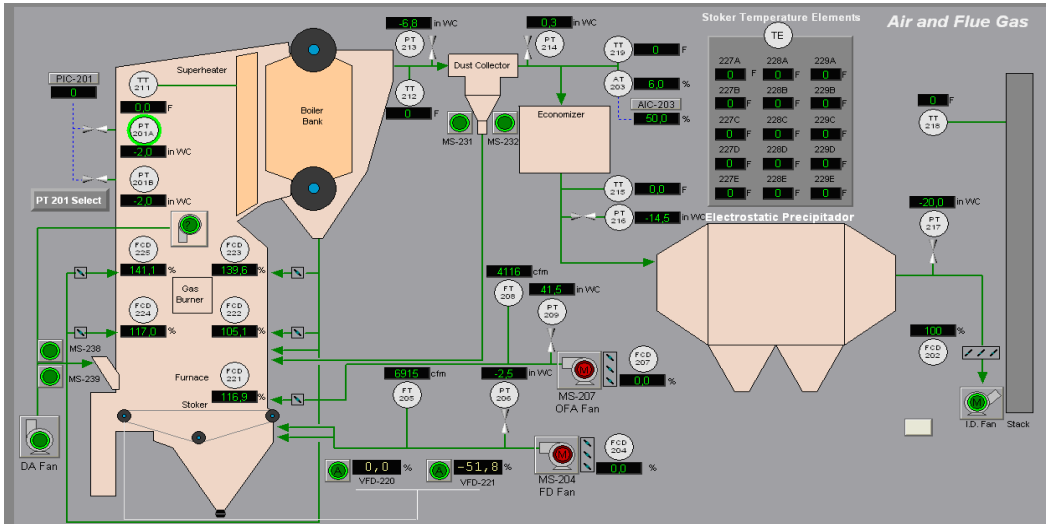
9.1 CONTROL COMBUSTION

La estrategia Control de combustión caldera 6 se puede manejar automáticamente o manualmente desde el cuarto de control con el master de presión de vapor que recibe señal del controlador PID diferencial con entrada de una señal de adelanto de la medición de flujo de vapor.

La señal pasa por un limitador de rata de cambio de demanda; luego esta señal va para el control de aires y controlador de velocidad de alimentadores de combustibles como también al control de velocidad de las parrillas.

El exceso de aire se hace con el PID 201 que recibe señales del analizador de oxígeno AT 201 y flujo de vapor con Bias ajustable

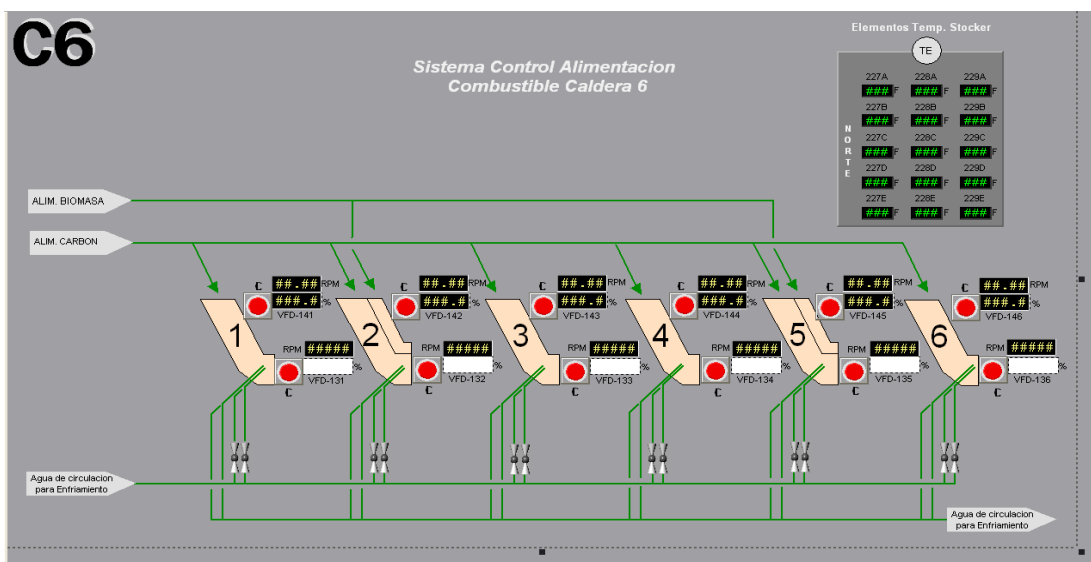
Figura 23. Aire y vapor de humo



Fuente: CASTRO Javier. Libro de operación y mantenimiento. PROPAL S.A.

Para un arranque en frío, este seguro que todos los alimentadores de combustible y los ventiladores de aire start/stops localizados en el aire y vapor de humo y distribución de combustible se encuentren visualizando stop (pare).

Figura 24. Distribución de combustible



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

Para arrancar (start) el quemador de gas (gas burner)

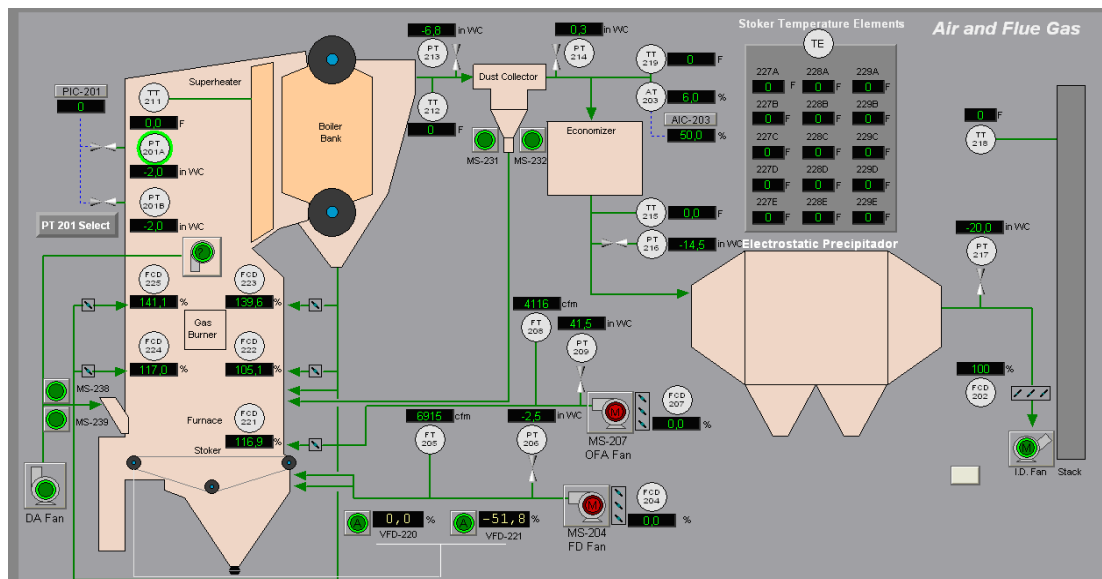
- Arrancar el ventilador de tiro inducido (induced draft)
- Arrancar el ventilador de tiro forzado (forced draft)
- Arrancar el ventilador de sobrefuego (over-fire air)

Primero se pone en marcha el Ventilador de Tiro Inducido. Use la pantalla Aire y Vapor de humo para arrancar el Ventilador de Tiro Inducido (ID FAN).

En la pantalla tiro inducido verifique que el valor de la variable de proceso (pv) se encuentre entre 0.0 a -0.2 pulgadas de agua (water column -wc) (note que el valor es negativo). Si no cumple con ese rango establecido, no es posible arrancar el quemador de gas (gas burner).

El quemador de gas (gas burner) puede ser arrancado localmente usando el panel de control local, ubicado en el quemador de gas o remotamente usando la pantalla aire y vapor de humo. En esta pantalla se puede seleccionar el modo de control local/remoto (local/remote).

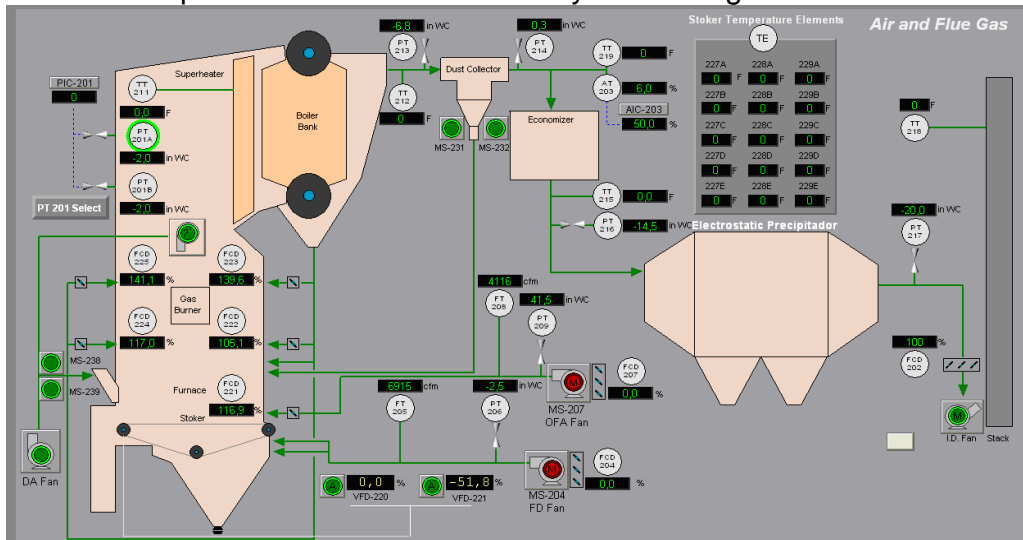
Figura 25. Iniciar el ventilador de Tiro Inducido



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control PROPAL S.A.

De igual forma en la pantalla de aire y vapor de humo arranque los ventiladores de tiro forzado y de sobre-fuego

Figura 26. Arranque ventiladores tiro forzado y sobre fuego



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

Los eventos para que ocurra la alarma de disparo del combustible (fuel trip) se observan en la tabla 4. Para realizar el reset de la alarma (disparo del combustible - fuel trip) todos los eventos deben estar desactivados.

Tabla 2. Eventos que ocasionan el Disparo de Combustible (FUEL TRIP)

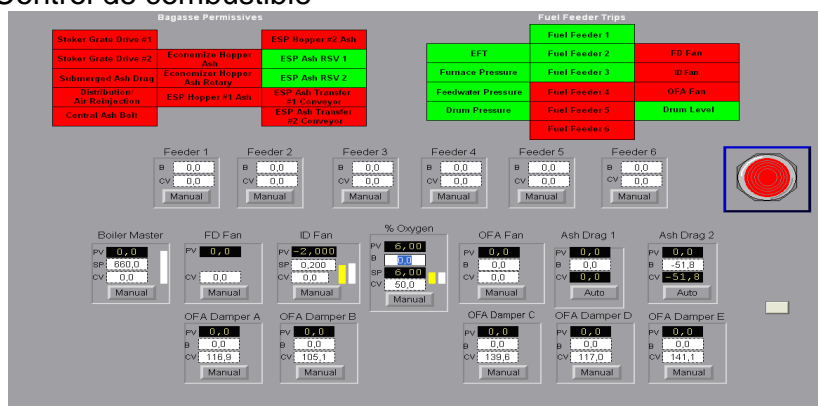
Alta Presión del Hogar (Presión Positiva en alto, Pulgadas de Agua)
Cada una de las Alarmas de Nivel Bajo Bajo del Domo
Presión Bajo Bajo de Agua de Alimentación
Presión Alta Alta del Domo
Parada del Ventilador de Tiro Forzado
Parada del Ventilador de Tiro Inducido
Parada del Sobre-Fuego o Contra-Fuego
Nivel Alto Alto del Domo
Procesador del PLC fuera de Línea

Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

9.1.1 Resetear el disparo de emergencia del combustible

En la pantalla combustion ctrl (control) (control de combustión) la alarma disparo de combustible - emergency fuel trip eft se muestra en rojo, mientras se cumpla por lo menos una de los eventos de la tabla 5. Para resetear la alarma disparo de combustible – fuel trip eft use el pulsador reset (pulsador “físico” ubicado en el cuarto de control, no configurado en la hmi). ahora la alarma eft se muestra en verde.

Figura 27. Control de combustible

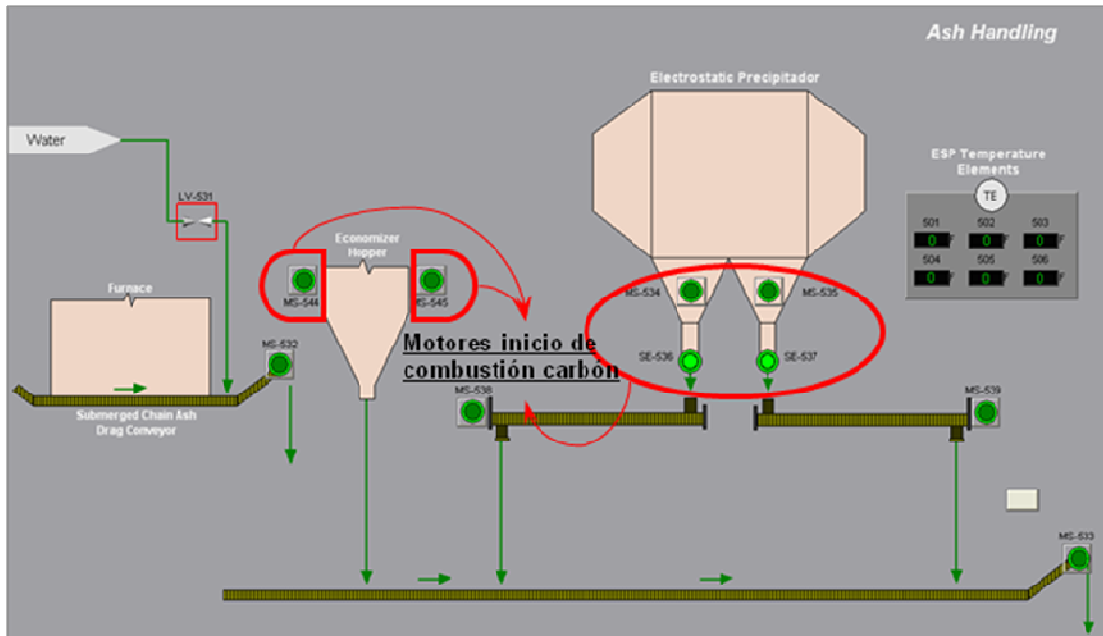


Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A...

9.1.2 Combustión del carbón (coal firing). Primero borre las alarmas.

Use las pantallas de aire y vapor de humo y manejo de la ceniza para activar los motores permisibles para iniciar la combustión del carbón (fire coal).

Figura 28. Manejo de la ceniza



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

La secuencia para iniciar la combustión del carbón se encuentra en la tabla 5. Además el motor del underthrow para cada alimentador debe ser activado antes que cada alimentador.

Tabla 3. Permisivas del carbón

Stoker Grate Drive#1 Corriendo. Tag XL-220
Stoker Grate Drive#2 Corriendo. Tag XL-221
Submerged Ash Drag Chain Corriendo. Tag XL-532
Distribution/Injection Air fan Corriendo. Tag XL-210
Central Ash Belt Conveyor Corriendo. Tag XL-533
Economizer Hopper Ash Screw Running. Tag XL-544
Economizer Hopper Rotary Seal Valve Running. Tag XL-545

ESP Hopper #1 Ash Screw Runnig. Tag XL-534
ESP Hopper #2 Ash Screw Runnig. Tag XL-535
ESP Ash RSV #1 Runnig. Tag XL-536
ESP Ash RSV #2 Runnig. Tag XL-537
ESP Ash Transfer Conveyor #1 Runnig. Tag XL-538
ESP Ash Transfer Conveyor #2 Runnig. Tag XL-539

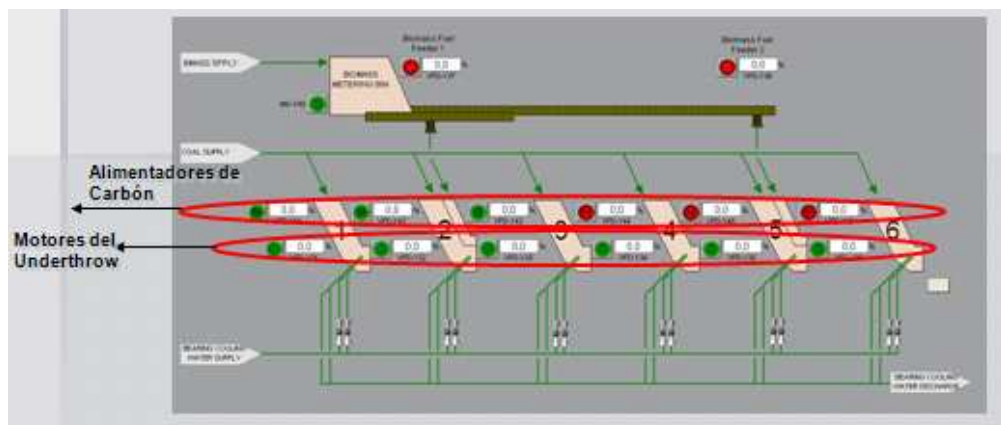
Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

9.1.3 Arranque de los alimentadores de carbón

Note que los ventiladores de tiro inducido, forzado y sobre-fuego han sido puestos en marcha y la alarma de disparo de combustible (emergency fuel trip eft) ha sido reseteada.

En la pantalla distribución de vapor de humo arranque los motores del underthrow [tags vfd-131 hasta vfd-136], y los alimentadores de carbón [tags vfd-141 hasta vfd-146] como se requiere.

Figura 29. Motores del underthrow y alimentadores de carbón

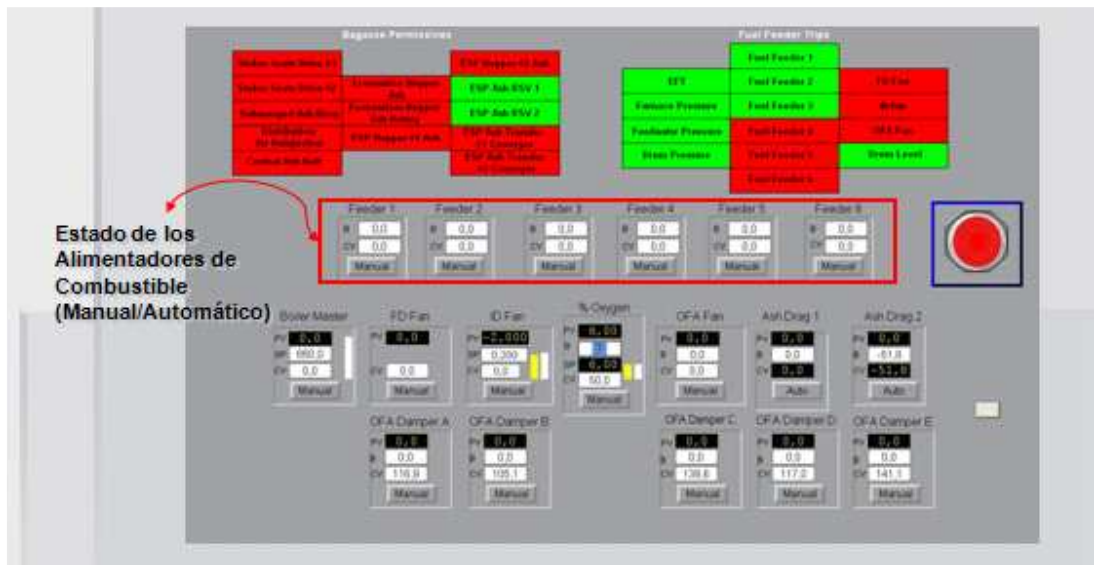


Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

9.1.4 Estabilización manual de la caldera

En la pantalla combustion ctrl (control de combustión) se puede observar el estado (manual/automático) en el que se encuentran operando los alimentadores de combustible

Figura 30. Estado de los alimentadores de combustible



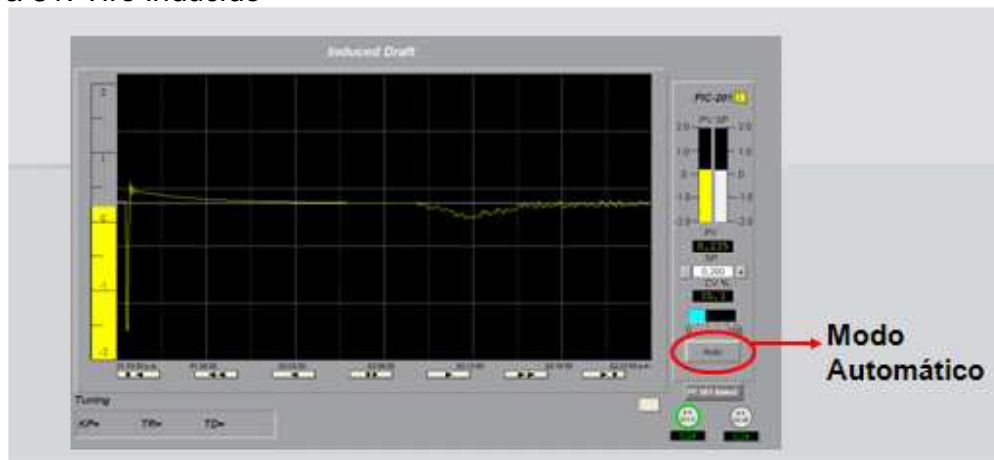
Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

Para estabilizar manualmente la caldera, el tiro forzado, el aire de sobre-fuego, y los alimentadores de combustible deben ser ajustados al modo manual. El tiro inducido puede ser usado en auto por un corto tiempo.

En la pantalla induced draft (tiro inducido), el tiro inducido puede ser colocado en modo automático mientras sube la presión de la caldera manualmente.

En la pantalla combustion ctrl (control de combustión), una vez la rata de carga esté cerca del 20% o por encima, la caldera se encuentra lista para colocar los controles de combustión en modo automático. Debido a que los controles de combustible y aire están en modo manual, el control boiler master (control caldera maestro) y excess air (exceso de oxígeno) están enclavados y no pueden ser ajustados. Es claro que el valor de la salida del combustible y del oxígeno será ajustado manualmente.

Figura 31. Tiro inducido



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

- Alimentadores de combustible cambiar a modo de control auto
- Transportador de cenizas cambiar a modo de control auto
- Tiro forzado cambiar a modo de control auto
- Aire sobre-fuego cambiar a modo de control auto

Con todos los Alimentadores de Combustible en Modo Manual, el Control Boiler Master de salida (CV) seguirá el promedio de los Alimentadores de Combustible.

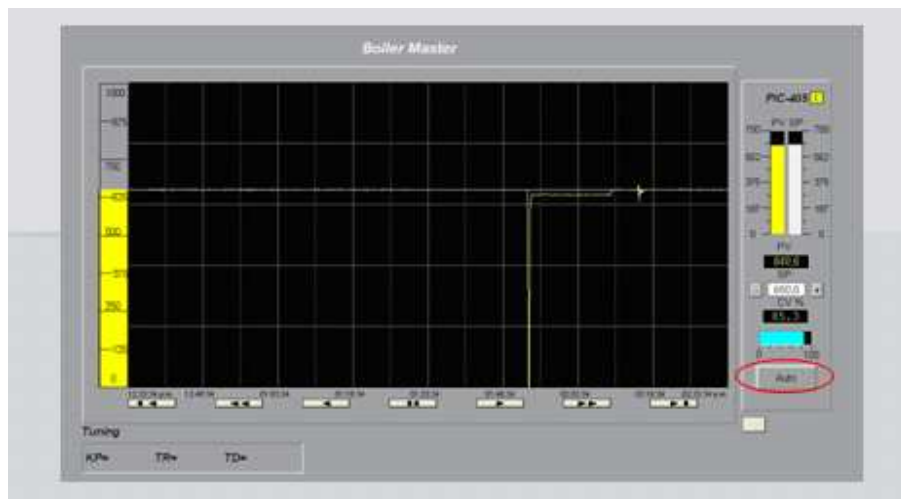
Coloque el Control de los Alimentadores de Combustible y el Transportador de Cenizas en Modo Automático, y se observará que el sistema ajusta Automáticamente todas las salidas (CV) del Control de los Alimentadores. Ahora se coloca el Control del Tiro Forzado y el Aire Sobre-fuego en Modo Automático.

Si por lo menos un Alimentador de Combustible y el Tiro Forzado está en Modo de Control Automático, el Modo de Control M/A (Manual/Automático) del Boiler Master es desbloqueado para el operador.

Si el controlador (plc allen-bradley) detecta un fallo en el transmisor de presión de vapor del cabezal [tag pt-405] o del transmisor de flujo de vapor, el modo de control del boiler master m/a será cambiado a modo manual y se generará una alarma.

El modo de control del boiler master podrá ser colocado en modo automático por el operador, cuando el transmisor en mal estado haya sido reparado o reemplazado e instalado apropiadamente

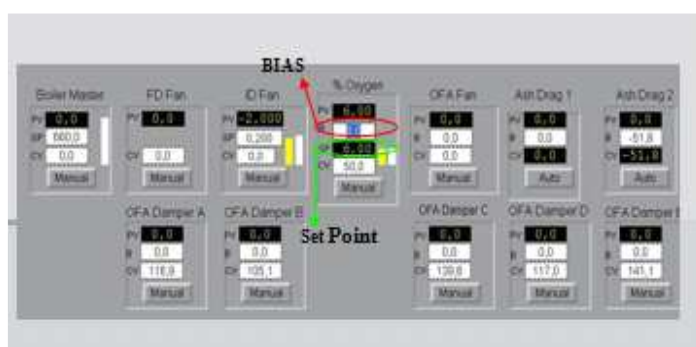
Figura 32. Cambio del boiler master a modo de control automático



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

Cuando el modo de control del tiro forzado está en modo automático, el modo de control de exceso de oxígeno es desbloqueado para el operador. Note que esta salida (cv) ha sido bloqueada en el 50%. Este es el valor neutral donde no ocurre corrección. Cuando la señal de salida (cv) se encuentra por debajo del 50% el exceso de oxígeno se disminuye y por encima del 50% del cv se aumenta.

Figura 33. Porcentaje de oxígeno



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

La referencia (set point - sp) del exceso de oxígeno es generado por el flujo de vapor y no es directamente ajustable por el operador. Sin embargo, existe un ajuste manual a la referencia (bias) que permite al operador ajustar el porcentaje de exceso de oxígeno cuando el modo de control de exceso de oxígeno está en modo automático

Si el controlador (plc allen-bradley) detecta una falla del transmisor de flujo [tag ft-403] o del analizador de oxígeno [tag at-203] el modo de control de exceso de oxígeno será cambiado a modo manual y se generará una alarma.

El modo de control de exceso de oxígeno podrá ser colocado en modo automático por el operador, cuando el transmisor o analizador en mal estado haya sido reparado o reemplazado e instalado apropiadamente.

Cuando el modo de control de exceso de oxígeno se encuentre en modo automático procurará sostener la referencia (set point - sp). note sin embargo que el control tiene límites para ofrecer una cierta protección contra el fallo del analizador de o2.

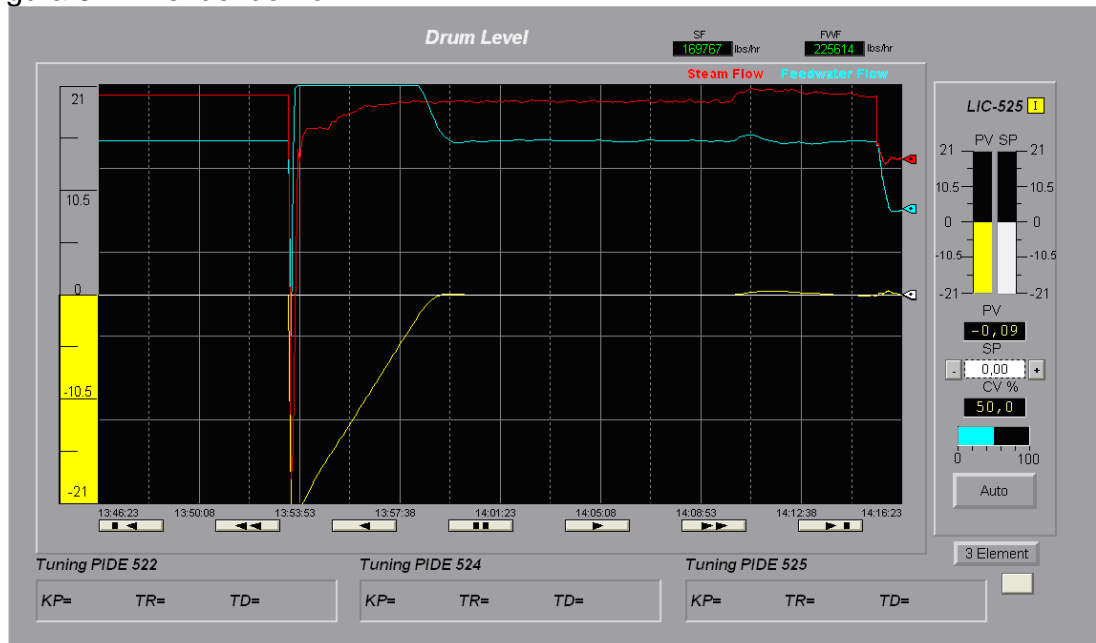
9.2 CONTROL NIVEL DEL DOMO

En la pantalla drum level (nivel del domo), cuando el modo de control del nivel del domo [re:tag válvula de control lcv-402] esté en modo automático se deberá activar el modo de carga baja (low load mode) hasta que el flujo de vapor sea 20% o más del máximo valor del rango seleccionado. Por debajo del 20% del rango máximo seleccionado, los contadores del flujo de vapor y del flujo del agua de alimentación son inestables y por lo tanto no confiables para el control del nivel del domo.

Por esta razón el modo de carga baja usa la señal del nivel del domo compensada con la presión para realizar el control.

- Ajuste la referencia (set point - sp) al valor deseado y coloque el control de nivel del domo en modo auto.
- Una vez el flujo de vapor sea estable y el valor de proceso (pv) sea mayor o igual al 20%, el control del nivel del domo deberá ser colocado en modo de operación de 3-elemento para una mejor respuesta del control.

Figura 34. Nivel del domo



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

Si el controlador (allen-bradley plc) detecta una falla del transmisor de flujo de vapor [tag ft-403], del transmisor de flujo del agua de alimentación [tag ft-404] o del transmisor del nivel del domo [tag lt-401] el control del nivel del domo será cambiado a modo manual y se generará una alarma.

El modo de control del nivel del domo podrá ser colocado en modo automático por el operador, cuando el transmisor en mal estado haya sido reparado o reemplazado e instalado apropiadamente.

9.3 PRESIÓN DEL DESAIREADOR

En la pantalla deaerator press (presión del desaireador) se accede al control de presión del desaireador. También puede acceder al control de presión del desaireador presionando el comando de botón tag pcv-304 (válvula de control del desaireador) que se encuentra en la pantalla boiler fwrt.

Figura 35. Modo de Operación de 3-Elemento



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

Si el controlador (Allen-Bradley plc) detecta una falla del transmisor de presión del desaireador [tag pt-303] el control de presión del desaireador será cambiado a manual y se generará una alarma.

El modo de control de presión del desaireador podrá ser colocado en modo automático por el operador, cuando el transmisor en mal estado haya sido reparado o reemplazado e instalado apropiadamente.

Figura 36. Presión del desaireador



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

9.4 NIVEL DEL DESAIREADOR

Si el controlador (allen-bradley plc) detecta una falla del transmisor de nivel del desaireador [tag lt-301] el control de nivel del desaireador será cambiado a manual y se generará una alarma.

El modo de control de nivel del desaireador podrá ser colocado en modo automático por el operador, cuando el transmisor en mal estado haya sido reparado o reemplazado e instalado apropiadamente.

9.5 CONTROL DE LA TEMPERATURA DE VAPOR DEL SUPERHEATED

Use la pantalla de visualización superheated steam (vapor supercalentado) para acceder al control de la de-superheater spray m/a. referenciado en la válvula de control del de-superheater spray tag tcv-408.

Apropiadamente calibrado, este ciclo de control es diseñado para que permanezca en estado automático a través de todos los rangos de carga de la caldera. Se debe colocar el control del de-superheater spray en automático y el monitor de la temperatura de vapor cuando la caldera comience.

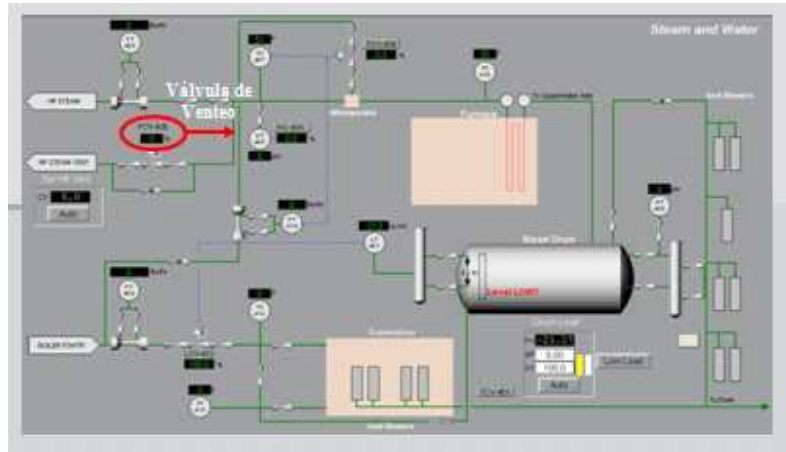
Si el controlador (allen-bradley plc) detecta una falla del transmisor de temperatura final del vapor del superheater [tag tt-407], o del transmisor de flujo del de-superheater spray [tag ft-414], o cada uno de los transmisores de flujo de aire [tags ft-205, ft-208] el control del de-superheater spray será cambiado a manual y se generará una alarma.

El modo del control de de-superheater spray podrá ser colocado en modo automático por el operador, cuando el transmisor en mal estado haya sido reparado o reemplazado e instalado apropiadamente.

9.6 CONTROL DE LA VÁLVULA DE VENDEO DEL SUPERHEATED

Use la pantalla steam and water (vapor y agua) para acceder al control de la válvula de venteo del superheater referenciado en la válvula de control [tag fcv-406].

Figura 37. Vapor y agua



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

Esta válvula de venteo es normalmente usada durante el arranque de la caldera. Sin embargo cuando el flujo de vapor de la caldera se encuentre por debajo de 50,000 lb/hr esta función limitará la temperatura de salida del superheater para el estado automático.

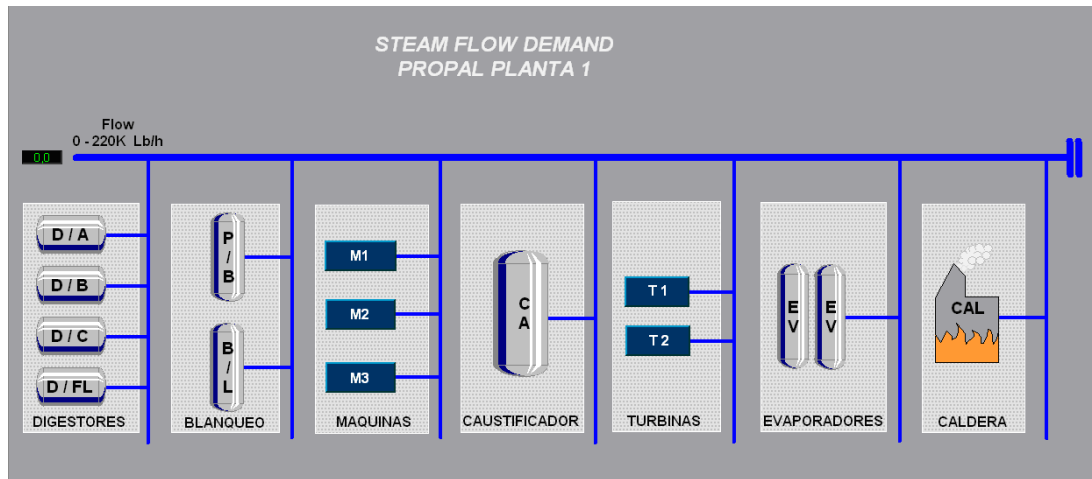
Si el controlador (allen-bradley plc) detecta una falla del transmisor de temperatura final del vapor de la salida del superheater (supercaalentador) [tag te-410], el control de la válvula de venteo del superheater (supercaalentador) será cambiado a manual y se generará una alarma.

El modo del control de la válvula de venteo del superheater (supercaalentador) podrá ser colocado en modo automático por el operador, cuando el transmisor en mal estado haya sido reparado o reemplazado e instalado apropiadamente.

9.7 DEMANDA DE VAPOR EN LA PLANTA

En esta pantalla Plant Demand se puede observar la carga que es solicitada por las diferentes áreas de la planta, es decir, la demanda de flujo.

Figura 38. Flujo de vapor demandada



Fuente: CASTRO Javier. Sistema de control. PROPAL S.A.

10. CONCLUSIONES

- Para un proceso adecuado de la caldera es necesario que todas las variables trabajen en óptimas condiciones y en conjunto.
- Es de gran ayuda un simulador de la caldera para los operarios ya que se pueden ver las fallas con más facilidad y así ser más rápidos a la hora de arreglar el problema en cuestión. Se pueden estudiar de una forma segura condiciones límite o extremas, muy alejadas de las normales de operación para analizar sus consecuencias y así predecir fallas o protecciones necesarias.
- El manual de operación del simulador es una gran ayuda para que los operarios aprendan a manejar el sistema en si.
- El OPC tiene comunicación on line expedita, eficaz y flexible desde el nivel de procesos hasta el nivel de Gestión. Por medio de Softwares industriales específicos se puede lograr un mayor control dentro del proceso productivo, y optimizar Materias Primas, Recursos, costos.
- La interacción con el simulador provee una mayor eficiencia de la caldera garantizando un arranque de la caldera más rápida y segura, reduciendo costos de arranque de la operación y producción más rápida.
- El simulador se puede utilizar para el pre entrenamiento de operarios nuevos.

BIBLIOGRAFÍA

CENTRO DE TECNOLOGÍA AZUCARERA, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. Simulación de una caldera de vapor industrial. España. [Consultado 14 septiembre de 2009]. Disponible en internet: http://www.ceaifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/D_01_S.pdf

CURSO BÁSICO DE OPC. [Consultado 14 de octubre de 2009]. Disponible en internet: www.todocontrol.es

CASTRO, Javier. Operación y mantenimiento de calderas. Propal S.A. 2005. Pdf.

PLATAFORMA VIRTUAL DE ENTRENAMIENTO DE ARRANQUE CALDERA 6. Sistema de control. Propal S.A.

SIEMENS. Procidia™ Control Solutions Feedforward Control. Propal S.A. AD353129_r1.pdf.

SIEMENS. Procidia™ Control Solutions SAMA Diagrams for Boiler Controls. Propal S.A. AD353131r1.pdf.

SIMBOLOS Y DIAGRAMAS. Propal S.A. 2005. Documento Pdf. Capitulo 2.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI. modelado y simulación de una caldera convencional. [consultado 6 de febrero de 2009]. Disponible en internet: <http://sauron.etse.urv.es/public/propostes/pub/pdf/462pub.pdf>