

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MÉCANICA Y ELÉCTRICA**

**AJUSTE A LOS PARÁMETROS DE CONTROL DE UNA
CALDERA PARA OPERAR DE MANERA EFICIENTE**

MEMORIA DE EXPERIENCIA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

P R E S E N T A

JAIR HUMBERTO SÁNCHEZ GARCÍA

**ASESOR: ING. PEDRO FCO. HUERTA GLEZ.
ING. JOSE ÁNGEL MEJÍA DOMINGUEZ**



MÉXICO, D. F. 2016

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

El presente es una parte del trabajo de 15 años como pasante y sin el respaldo de todas esas personas que me apoyaron desde el inicio nunca hubiese plasmado ese esfuerzo. A todos ustedes que con sus consejos y alientos se ha logrado este objetivo, les digo gracias. Mamá, Papá, Esposa amada, Suegros Martin y Aurora que esto sea un pequeño presente por tanto que he recibido.

Para los que vienen detrás deseo les sirva de ejemplo y motivación, a ustedes mis hijos, los amo.

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL
DEBERÁ (N) DESARROLLAR C. JAIR HUMBERTO SÁNCHEZ GARCÍA

**“AJUSTE DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL DE UNA CALDERA DE 200,000 LB
PARA OPERAR DE MANERA EFICIENTE”**

REALIZAR EL AJUSTE DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL CON LA FINALIDAD DE DEJAR OPERATIVA DE MANERA AUTOMÁTICA LA CALDERA EN SU PUNTO DE MAYOR EFICIENCIA, PARA EVITAR EL DESPERDICIO DE ENERGÍA POR SU MAL FUNCIONAMIENTO DEBIDO A QUE LOS AJUSTES DE FÁBRICA NO SON COMPATIBLES A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA.

- GENERALIDADES DE LA EMPRESA
- ANTECEDENTES Y DEFINICIÓN DEL PROYECTO
- DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO
- ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL PROYECTO

MÉXICO D.F. A 29 DE OCTUBRE DE 2015

ASESORES


ING. PEDRO FRANCISCO HUERTA GONZÁLEZ


ING. JOSÉ ÁNGEL MEJÍA DOMÍNGUEZ


M. EN C. MIRIAM GÓMEZ ÁLVAREZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



INDICE

Agradecimientos y Dedicatoria	
Índice General	i
Objetivo General	iii
Resumen	iv
Introducción	vi
CAPÍTULO I. Generalidades de la empresa	7
I.1 Descripción general del proceso	7
CAPÍTULO II. Antecedentes y definición del proyecto.	12
II.1 Definición del proyecto	
II.2 Descripción de las estrategias de control.	16
II.2.1 Estrategia de combustión	16
II.2.2 Estrategias para nivel del domo	17
II.2.2.1 Estrategia para control de nivel de 1 elemento.	17
II.2.2.2 Estrategia de control de nivel de 3 elementos.	18
Capítulo III. Diseño y Desarrollo del Proyecto.	19
III.1 Control de Nivel en el Domo	19
III.1.1 Control de Nivel de Un Elemento.	19
III.1.2 Control de Nivel de Tres Elementos.	20
III.2 Sistema de control de combustión (control flujo de aire y combustible).	22
III.3 Eficiencia en la combustión.	23
III.4 Exceso de aire.	26
III.5 Para una máxima eficiencia.	27

III.6 Instrumentación y control.	28
III.6.1 Especificación del controlador empleado.	41
III.6.2 Especificación de los transmisores empleados.	42
III.6.3 Conexión eléctrica de los transmisores.	44
III.6.4 Especificación de los actuadores empleados.	44
III.7 Pruebas	51
III.7.1 Preparación de las pruebas a realizar.	52
III.7.2 Revisión de seguridad antes de las pruebas.	52
III.7.3 Procedimiento paso a paso.	53
III.8 Resultados.	58
III.8.1 Evaluación del sistema de control.	58
III.8.2 Ajuste de PID.	59
III.8.3 Conclusión.	72
Capítulo IV. Análisis Técnico-Económico del proyecto.	73
IV.1 Cálculo de Eficiencia Directa en la Caldera	74
IV.2 Facturación.	76
Conclusiones	lxxix
Bibliografía	lxxx
Índice de figuras	lxxxii
Índice de tablas	lxxxiii
Anexo A1. Diario Calidad de Gas Natural PEMEX	
Anexo A2 Hoja de PERFORMANCE de la caldera Babcock & Wilcox	

OBJETIVO GENERAL

Explicar cómo se realiza el ajuste de los parámetros de control con la finalidad de dejar operativa de manera automática la caldera en su punto de mayor eficiencia, para evitar el desperdicio de energía por su mal funcionamiento debido a que los ajustes de fábrica no son compatibles a las condiciones de operación de la planta.

RESUMEN

Papeles Ultra S.A de C.V. es una planta de fabricación de papel que utiliza el sistema de cogeneración para alimentarse de energía eléctrica, este sistema consta de una caldera y un generador eléctrico. La capacidad de este sistema es suficiente para alimentarse totalmente y depender del suministro de energía de la Comisión Federal de Electricidad.

La empresa compra una caldera para sustituir la anterior. La caldera o generador de vapor es un equipo nuevo de 200,000 libras/hora de vapor, unas 90 toneladas/hora. Este equipo viene listo para encender, pero con unos ajustes al control del lugar donde fue fabricado. Al ser instalado en México la altura sobre el nivel del mar es diferente, por tal motivo la capacidad de vapor de diseño va a cambiar.

Las condiciones en la demanda de vapor y electricidad en una planta de papel son muy variantes del orden de +/- 35% de la capacidad de la caldera en un tiempo de 2 minutos aproximadamente. Por lo tanto ajustar los lazos de control de la caldera para una demanda de éste tipo es muy importante, porque si la caldera se vuelve inestable con esos cambios puede apagarse cuando alcanza algún límite de seguridad o protección, ocasionando que la planta pare su producción; además se tendría tiempo muerto por arranque de toda la planta que es de aproximadamente 2 a 3 horas, provocando pérdidas económicas.

Además de las variaciones de demanda de energía, está el tema de eficiencia en la combustión que es parte del ajuste de parámetros de control en la caldera, cuando está quemando la cantidad mínima de combustible estará en su máxima eficiencia, pero cuando no está ajustado el control no se garantiza esa condición. La eficiencia es la relación de la cantidad de combustible necesario para convertir por ejemplo 1kg de agua en 1kg de vapor a las condiciones de temperatura y presión específica que requiere la turbina de vapor.

El fabricante de la caldera Babcock & Wilcox garantiza una eficiencia a distintos niveles de su capacidad, el objetivo es ajustar la caldera para cumplir con esa eficiencia, en caso contrario la pérdida de dinero que se tendría con una reducción de 2% en la eficiencia; representando una pérdida al año de alrededor de 1.5 millones de pesos.

Es entonces en el control donde hay que programar los ajustes para alcanzar la eficiencia de diseño y lograr la estabilidad de la caldera, en el caso del primero con la caracterización de la caldera o curva característica y para el segundo con las ganancias de los bloques de sintonía Proporcional, Integral, y Derivativo (PID) en cada uno de los lazos de control.

El control de nivel del domo es para una operación segura y confiable de la caldera, ya que si el nivel sube más de 65% se puede dañar los materiales de la turbina por acarreo de agua, y por bajo nivel puede causar explosión de los tubos por falta de enfriamiento. Debido al tipo de demanda es necesario una estrategia de control de nivel de tres elementos en el que su característica más importante es que controla el flujo de agua que entra con respecto al flujo de vapor que sale de la caldera para ajustar el nivel deseado.

El sistema de control de combustión consta del control de flujo de aire y el de flujo de combustible, este regula en respuesta al índice de desbalance de energía llamado lazo de presión de vapor MAESTRO, que indica cuando sale energía en forma de vapor deberá entrar energía en forma de combustible. La estrategia se llama de límites cruzados y la finalidad es seleccionar que variable del sistema de combustión (flujo de aire o flujo de combustible) responde primero cuando la presión aumenta o cual cuando disminuye.

Para la eficiencia en la combustión influyen varios factores, el objetivo es alcanzar el valor más alto con el menor exceso de aire posible, es decir una apropiada distribución y control de aire-combustible a condiciones de bajo oxígeno, obteniendo así la caracterización de ésta caldera en específico.

Para llevar a cabo las estrategias de control es necesario los instrumentos de medición y control que en este caso son transmisores de presión manométrica, flujo y presión diferencial, los cuales son calibrados para las condiciones reales de operación. Una vez que las mediciones son confiables se está preparado para realizar las pruebas que llevarán a encontrar los valores de la curva característica que por consecuencia obtendrá la eficiencia de diseño esperada.

Una vez concluidas las pruebas se evalúa el sistema de control en su totalidad pasando a automático todos los lazos de control y observar que no haya variaciones en más de un 3% en cada lazo.

El propósito final es ubicar a la caldera en la mejor condición de sintonía posible y alcanzar la máxima eficiencia ahorrando combustible.

INTRODUCCION

La presente memoria de experiencia se refiere al tema de ajustar el control de una caldera de 200,000 lb, se define así:

Ajustar las estrategias de control de nivel del domo y combustión, además obtener la curva característica de la caldera y comprobar que está trabajando de manera eficiente.

La característica principal de estos ajustes es que para cualquier otra caldera son diferentes. La causa es porque depende de muchas variables como son la altura sobre el nivel del mar en que se instala la caldera, la temperatura ambiental, la humedad relativa es decir el clima, el tipo de combustible, la capacidad de la caldera, la forma del quemador y la aplicación del vapor generado.

El interés de ajustar el control de la caldera es que trabaje con la eficiencia que el fabricante garantiza. Esto permite que se quemé el combustible necesario ahorrando energía.

Una vez que se tiene instrumentada la caldera, es decir calibrados los instrumentos instalados y conectados, es de interés profesional conocer que falta para echar andar un equipo así. Y a su vez complementar el conocimiento académico de la instrumentación de la caldera.

La metodología para encontrar los valores de ajuste es experimental de acuerdo a la lectura de variables tomadas en los instrumentos instalados. La problemática de realizar estas pruebas es el gasto de combustible utilizado para llevar la caldera a su máxima capacidad ya que no se utiliza todo el vapor generado ya que una parte se tira a la atmosfera ocasionando ruido que alerta a la población vecina.

En el trabajo se presenta la descripción de la aplicación de la caldera en forma general, las estrategias de control para cada uno de los lazos: nivel del domo (por un elemento y tres elementos además de la conmutación entre estos), el control de combustión Aire-Combustible que funciona como esclavo del control de presión Maestro, la eficiencia en la combustión de la caldera, la instrumentación y su calibración de los instrumentos, los requerimientos para realizar las pruebas experimentales con toda la seguridad para el equipo y el personal, finalmente la obtención del resultado y la evaluación del sistema de control cuando trabaja en automático; por último el análisis técnico – económico de la eficiencia obtenida en las pruebas, y si la caldera llegara a operar fuera de especificaciones, cuánto dinero se pierde al año.

CAPÍTULO 1

Capítulo I. Generalidades de la empresa.

Papeles Ultra S. A. de C.V. Es una empresa dedicada a la fabricación de papel kraft que inició actividades en el año 2000, la cual actualmente produce 7500 toneladas de papel al mes.

El proceso de fabricación en cualquier planta de papel requiere energía, esta empieza en la caldera o generador de vapor, que a partir de la combustión de gas natural produce vapor sobrecalentado para alimentar un sistema de cogeneración formado por una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico de 5 MW, la energía eléctrica producida se utiliza para alimentar toda la planta, el vapor de desecho de la turbina en vez de condensarlo se extrae (vapor de extracción) y se manda a la máquina de papel para reutilizarlo en el secado del papel. Aquí se tiene dos equipos críticos, si uno de estos dos equipos falla, la planta se detiene; por lo tanto es necesario optimizar su operación.

I.1 Descripción general del proceso

En la figura 1.1 se muestra un diagrama a bloques del proceso en general. Inicia en la caldera con la generación de vapor y la turbina con la generación de energía eléctrica, luego la preparación de una pasta a partir de cajas de cartón recicladas que se encuentran contaminadas de grapas, plásticos, metales, piedras, uncel, etc. Limpiar de todos estos contaminantes es parte de la preparación de la pasta para que entre a la máquina de papel y pueda formarse finalmente la hoja, que será secada en las secciones de secado hasta el valor de humedad pedido por el cliente, ya al final es cortada y bobinada de acuerdo a cada especificación dada por el cliente siendo éste el producto final.

La materia prima del papel kraft es las cajas recicladas de cartón, las cuales entran en el proceso de preparación de pasta utilizada para formar el papel. Este material viene en forma de pacas, las cuales tienen que ser hidratadas y batidas para formar un batido de cartón y basura. El Hidrapulper es el equipo encargado para tal fin, consta de una tina y en el fondo tiene una propela que bate las pacas con agua; por ser material reciclado viene muy sucio de grapas, plásticos, uncel, tierra, metales, piedras. El proceso siguiente es limpiar el batido de toda esa basura.

Para llenar el Hidrapulper se transporta las pacas por medio de una banda transportadora que está automatizada, con una báscula se pesa cada una de las pacas y se cuenta el número de ellas; el sistema mide el flujo de agua que entra al hidrapulper para sacar una relación de peso por volumen de agua y así determinar

la consistencia que tiene. Este valor es importante ya que el siguiente proceso necesita una consistencia específica.

La limpieza de la pasta inicia con la separación de lo más pesado que son las piedras y los metales grandes a través de una trampa en la cual caen simplemente por gravedad, lo siguiente es la limpieza de los plásticos a través de un equipo llamado Bell Purge que consta de una platina perforada por la que se hace pasar la pasta para separar los plásticos que son desechados con una purga automatizada; utilizando un Controlador Lógico Programable (plc) abre y cierra las válvulas de bloqueo, de lavado y arranca bombas para vaciado de la pasta aceptada y la rechazada por tiempos programados.

El siguiente paso es separar partículas más pequeñas pero más pesadas que la pasta como lo es la tierra y las grapas, estos materiales son separados dentro de un limpiador ciclónico que utiliza la fuerza centrífuga formada por la presión de una bomba. En esta etapa se controla la presión de entrada al ciclón de alta consistencia, este equipo tiene automatizado su sistema de purga ya que es una secuencia de apertura y cierre de válvulas por medio de un plc. Ya que la pasta ha sido limpiada se prepara para la refinación, bajando su valor de consistencia; es decir quitarle volumen de agua y dejando así más fibra por medio de un espesador. El equipo es un rodillo con malla sujeto a presión negativa (vacío) que forma una película de pasta alrededor succionando el agua para elevar así la consistencia; ya que la refinación requiere un valor de consistencia específico.

El siguiente proceso es la refinación de la pasta, la finalidad es darle el tamaño adecuado a la fibra; es decir cortarla. El refinador es un equipo que consta de unos discos ranurados, montados en una flecha acoplada a un motor, giran uno en contra del otro; se bombea pasta entre los discos para que se corte la fibra que pasa. La operación automática mantiene la potencia del motor que mueve los discos en un valor fijado por el operador, abriendo o cerrando el espacio entre los discos se manipula la potencia. Ya que la pasta ha sido refinada se manda a un tanque de mezcla, ahí la pasta que retorna de la máquina y la pasta recién refinada se va a mezclar.

El último paso antes de entrar a la máquina de papel es la limpieza de unicef y finos utilizando limpiadores ciclónicos de baja densidad. Los ciclones trabajan por secciones y en serie es decir, el aceptado de los primeros ciclones va a la máquina y el rechazo de éstos va a los ciclones secundarios, el aceptado de esta sección también va a la máquina pero el rechazo va a una sección de limpiadores terciarios y éste a su vez a una última sección de limpiadores cuaternarios. A estos limpiadores se les controla el flujo, para que permanezca constante y no haya ninguna variación en el gramaje del papel.

Hasta aquí la pasta ya está preparada para entrar y formar el papel en la mesa de formación, la pasta es bombeada con una bomba de abanico (fan-pump) a una consistencia de 0.4% es decir 99.6% es agua. Se controla la velocidad de esta bomba para que el operador únicamente le pida al sistema de control un valor fijo de velocidad de chorro, eso significa que se mantiene controlada la presión generada por la bomba de abanico dentro de la caja de distribución de pasta. En este punto las variables a controlar son: la velocidad del motor de la bomba de abanico y la velocidad de los motores que mueven la tela de formación, con estas dos variables el operador únicamente le pide al Sistema de Control Distribuido (DCS) un valor fijo de relación (chorro / tela) que es la relación entre estas velocidades es decir; un valor cercano a 1, este valor dependerá del gramaje de papel que se va a fabricar.

Después de la mesa de formación y antes de ser secado el papel, éste es prensado para quitarle humedad.

Los motores que mueven cada sección de la máquina de papel (mesa de formación, las prensas, las secciones de secado y el enrollador) se ajustan desde un valor de referencia maestra de velocidad aquí el operador únicamente coloca dos valores fijos (set-points) el primero es la relación chorro/tela mencionada antes y la segunda es la velocidad de la máquina; esta referencia a su vez aumenta progresivamente en cada uno de los motores de la máquina de papel por cada sección, para explicar esto es necesario saber que el papel se elonga, por lo tanto el operador aumenta de manera independiente el valor de referencia de una sección a otra, "el tiro"; teniendo así en la última sección que es el enrollador una diferencia de 20 metros aproximadamente; si la mesa de formación tiene una velocidad de 300 metros por minuto (mpm), el enrollador tendría 320 mpm. La máquina de papel está automatizada con un Controlador Lógico Programable (PLC) para las secuencias de arranque y paro de cada una de las secciones, la velocidad de cada motor es manipulada con un controlador de velocidad de corriente directa (drive) debido a que se utiliza este tipo de motor, el PLC le manda las referencias de velocidad a cada uno de los drives por medio de una red "device net". Por lo tanto el DCS funciona como maestro y el drive como esclavo.

A la salida de la máquina de papel se mide al menos dos variables que miden la calidad en el papel, estas son el peso base (gr/cm^2) y la humedad (%) con un escaner, estas mediciones son en tiempo real y enviadas al DCS para que éste a su vez corrija estas dos variables a manipular, la primera, se corrige regulando el flujo de pasta que bombea la bomba de abanico hacia la mesa de formación; esto lo hace con una válvula eléctrica de alta precisión. La segunda variable que es la humedad se corrige a través del sistema de secado que consta de 46 secadores divididos por cuatro secciones, a cada una de esas secciones se le controla la

presión de vapor por medio de un sistema en cascada, es decir; la mayor presión se encuentra en la cuarta sección y va disminuyendo hacia la tercera, luego la segunda y al final la primera, cabe mencionar que el vapor de salida de la cuarta sección entra como vapor recuperado (vapor de “flash”) a la tercera sección y lo mismo pasa en la segunda sección, luego a la primera; en esta última sección la presión será la menor presión de vapor. El vapor utilizado es el de extracción que salió de la turbina de vapor que se mencionó antes.

El enrollador es la última sección, aquí se enrolla el papel ya en condiciones adecuadas de peso y humedad, de aquí es llevado para ser cortado en la bobinadora.

En la bobinadora se cortan las bobinas de papel de acuerdo al ancho que solicite el cliente, a estas bobinas se les mide la cantidad de metros lineales, para que el cliente tenga esa información por cada bobina, y pueda determinar cuantos metros de lámina corrugada puede fabricar con cada una que se le vende, aunque la bobina de papel se vende por tonelada. Por lo tanto al cliente le conviene más metros de papel por tonelada.

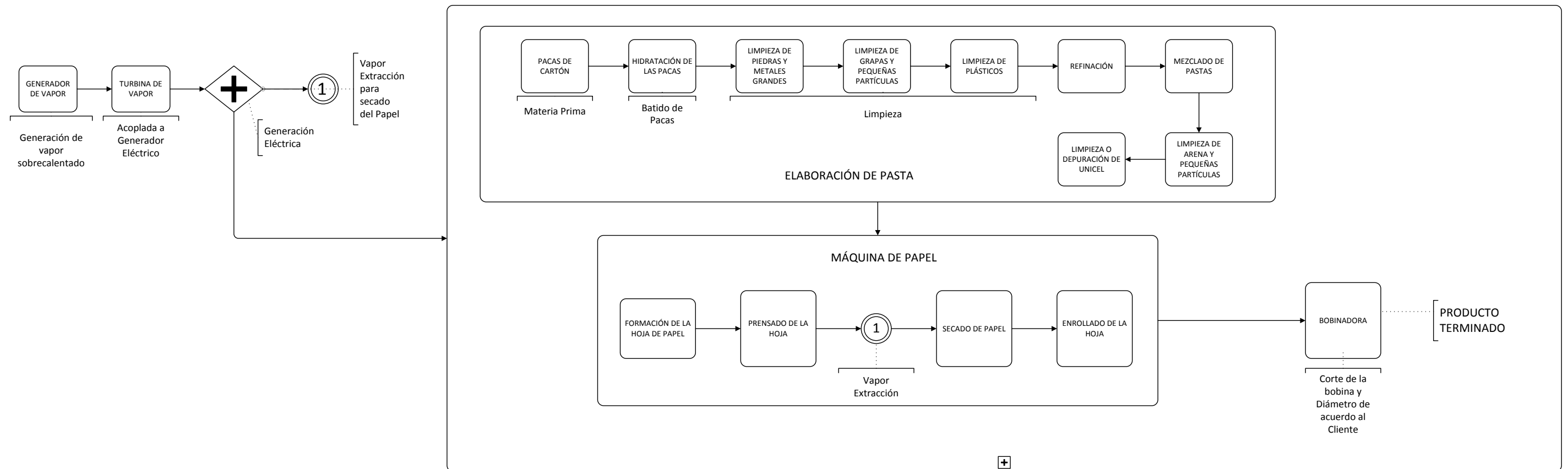


FIGURA 1.1. DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROCESO GENERAL DE LA PLANTA.

CAPÍTULO 2

Capítulo II. Antecedentes y definición del proyecto.

La demanda de energía en una planta de papel es muy variable ya que si la máquina de papel está produciendo de manera estable y de pronto ocurre una falla, ésta se detiene reduciendo el consumo de energía considerablemente, es decir cuando la máquina de papel está estable la caldera produce 37 toneladas por hora (t/h) de vapor sobrecalentado, el conjunto de turbina - generador tienen una demanda de 4.7MW. Si de pronto la máquina se detiene, la caldera baja su carga a 25 t/h y el generador baja su carga a 2.7 MW; al arrancar ésta, la demanda de la caldera aumenta de manera rápida por tanto la estabilidad de estos dos equipos es primordial.

Papeles ultra desde su arranque en el año 2000 ha usado para la cogeneración una caldera que es del año 1960 según su placa de datos, por lo tanto ya es un equipo muy desgastado, ineficiente y obsoleto; por tal motivo adquiere una nueva caldera de tubos de agua Surge entonces el problema de poner en marcha este equipo.

Una caldera de tubos de agua tiene 2 elementos principales, el hogar y el quemador; el primero está formado por paredes de tubos y su área es la que determina la capacidad de vapor a generar, ahí se encuentra la flama que suministra el quemador. Esa flama es una reacción de oxidación del carbón e hidrogeno en el caso de gas natural para formar dióxido de carbón (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y un porcentaje residual de oxígeno. El aire proporciona el oxígeno de dicha reacción, está compuesto de 20% de oxígeno y poco menos del 80% es nitrógeno, el resto son gases como helio y dióxido de carbón.

El quemador está diseñado para mezclar y quemar una cantidad de masa de combustible y aire obteniendo de ello un porcentaje residual de oxígeno, dicho valor es un parámetro de ajuste. Dato que proporciona el fabricante y que se debe respetar.

En el quemador se mezcla la masa de gas natural y aire para dicha reacción de oxidación, la masa de oxígeno que se necesita para cumplir con los valores de diseño depende entonces de la densidad del aire, ya que a condiciones normales de presión y temperatura (1 bar y 20°C) su valor es de 1.29 Kg/m^3 , debido a la altura del lugar de instalación (2460 metros sobre el nivel del mar) la presión atmosférica es menor y por lo tanto la densidad será menor, entonces la masa de oxígeno que contiene el mismo volumen de aire es menor. De ahí que se necesite más volumen de aire para tener la misma masa y llevar así la oxidación en el quemador a los valores de diseño. Entonces es necesario ajustar los flujos de gas y aire que entran al quemador, siendo los parámetros de control que debemos ajustar para el

arranque de la caldera, también llamado caracterización de la caldera. Siendo esto la definición de este proyecto.

Por tal motivo si se arranca la misma caldera en otro lugar es necesario volver a caracterizarla o ajustar los parámetros de control.

En el caso contrario de tener mas masa de aire de lo necesario para la combustión, se tendrá por la chimenea salida de más gases calientes; se considera que esa energía térmica está desperdiciandose, si se logra controlar ésta variable es ahí donde se puede ahorrar dinero, parte del objetivo de mantener ajustados todos los parámetros de control, es ahorrar dinero. En el capítulo 4 se hace una supuesta reducción de la eficiencia en un 2%, calculando cuánto dinero representaría esa disminución, concluyendo que tan importante y necesario son estos ajustes de parámetros de combustión para eficientar este proceso y al mismo tiempo cumplir con las normas ambientales; no sólo eso también hay que adecuar la filosofía de control de combustión y control flujo agua de alimentación y nivel del domo para condiciones tan variantes como lo es aumentar o disminuir 12 toneladas de agua en un lapso de 1 ó 2 minutos, siendo algo crítico aunque en una fábrica de papel estas condiciones son normales.

II.1 Definición del proyecto

Antes de un arranque de la caldera los controles deberán operarse de manera manual **hasta que los controles automáticos hayan sido ajustados a las condiciones específicas del sitio. La operación no podrá pasar a automático hasta que ha sido calibrada y/o ajustados los parámetros y así asegurar que en cambios de carga funciona adecuadamente.[1]**

En la figura 2.1 se muestra un diagrama a bloques de un sistema de control de caldera conceptual. **[2]**

El control de la caldera es la regulación de las condiciones de presión y temperatura de salida del flujo de vapor, que es utilizado en la turbina de vapor para mover un generador eléctrico de 5000 KW. En términos de control las condiciones del vapor de salida de la caldera son llamadas las variables controladas.

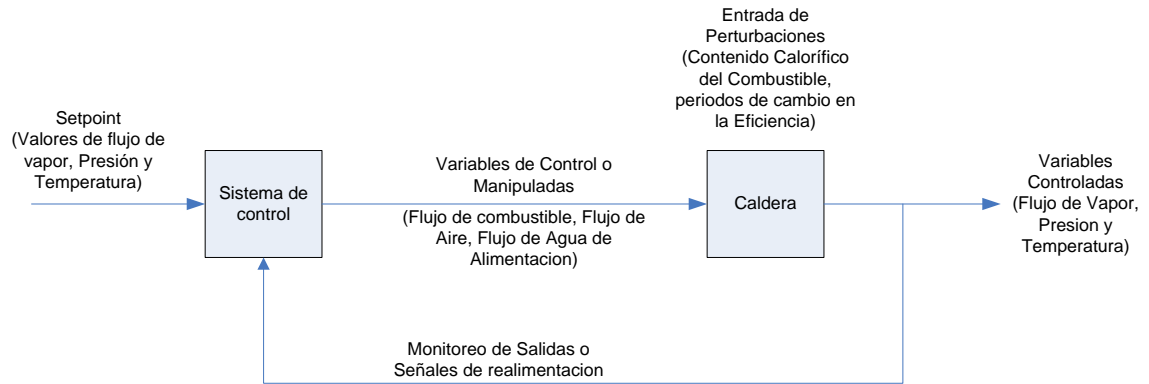


Figura 2.1 Diagrama a Bloques del Sistema de Control Conceptual de una Caldera

Los valores pedidos de las condiciones de salida son valores fijos (set points) o señales de entrada de demanda. La cantidad de combustible, aire y agua se ajustan para obtener las condiciones de salida de vapor y son llamadas las variables controladas o manipuladas. A las variaciones del poder calorífico del combustible, cambios de carga, son llamadas entrada de perturbaciones. El controlador ve el set point y el valor actual de las condiciones de vapor de salida y éste ajusta la cantidad de combustible, aire y agua (variables manipuladas) para que las condiciones de salida sean iguales a los valores de setpoint. El controlador es un sistema electrónico, las señales de entrada son proporcionadas por transmisores electrónicos y las variables manipuladas son actuadores electro-neumáticos.

La caldera tiene que encender y posteriormente ajustar la presión de vapor, así estará lista para la demanda del proceso de cogeneración. Lo primero es por medio de una secuencia de encendido automatizada con un programador que ya tiene esa secuencia hecha por el fabricante y se usa para cualquier caldera. El control de las variables en la caldera lo hace un controlador electrónico y es ahí donde se programa los ajustes y parámetros para su operación segura y eficiente. En la figura 2.2 se muestra la arquitectura de control que se tiene, nótese que el control es independiente de el programador de encendido aunque sí están comunicados ya que una vez que encendió la caldera, el control recibe la señal de listo para poder abrir las válvulas. Cuando existe una falla detectada por el programador quita la señal de listo al control para que cierre las válvulas.

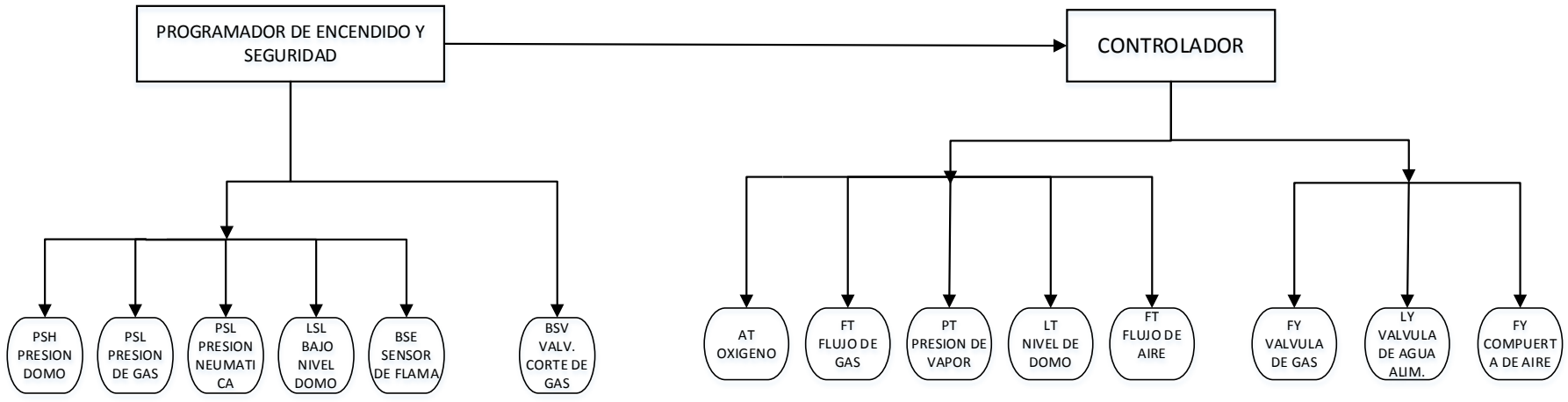


Figura 2.2 Diagrama general de la arquitectura de control de una caldera

II.2 Descripción de las estrategias de control.

II.2.1 Estrategia de combustión

En La figura 2.3 se observa la estrategia de control de combustión de una caldera, consta de 3 bloques de control, llamados Maestro, Flujo de aire y Flujo de combustible. Cada bloque tiene a la entrada su variable de proceso (PV) y su salida corregida por el algoritmo de control. El control Maestro mantendrá la presión de la caldera en el valor que se requiere ajustando su salida que se convierte en el valor de ajuste (setpoint) para ambos lazos restantes, además que está relacionada con la variable de proceso del lazo contrario. Esa relación de setpoint se llama límites cruzados, sirve para que el lazo de aire sea límite del lazo de combustible y el lazo de combustible sea límite del lazo de aire.

La salida de los dos últimos lazos si es física y corresponde a una válvula automática y a una compuerta de ventilador respectivamente.

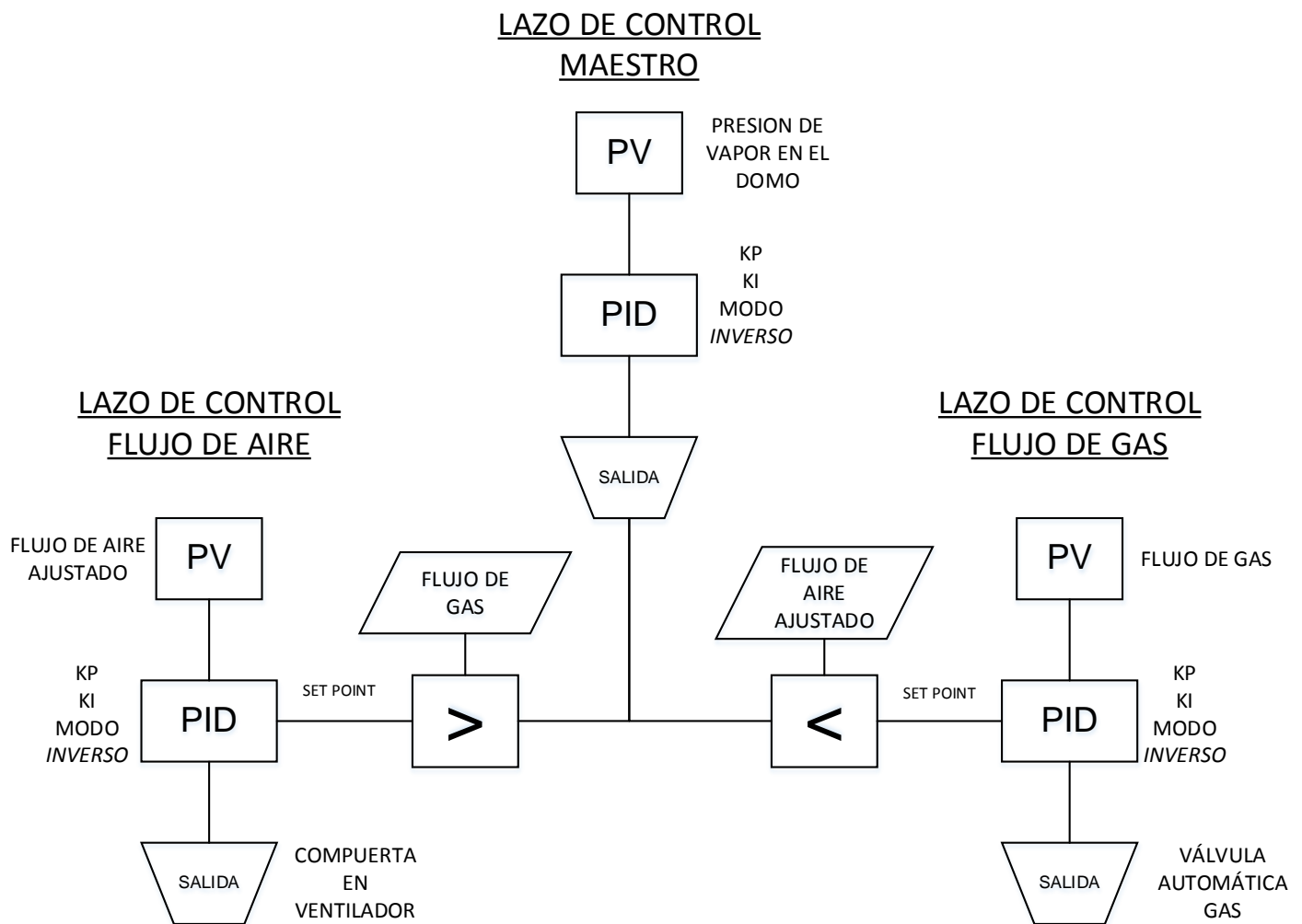


Figura 2.3 Diagrama general de la estrategia control de combustión

II.2.2 Estrategias para nivel del domo

II.2.2.1 Estrategia para control de nivel de 1 elemento.

En una caldera el nivel del domo se controla con dos estrategias, una sencilla que solo considera la variable a controlar (nivel del domo), el algoritmo de control (PID) y la salida física que es la válvula, se utiliza cuando la caldera está calentando para llegar a la presión de trabajo (véase figura 2.4).

Si el modo del PID está en inverso entonces al aumentar el nivel (PV) la respuesta será cerrar la válvula. En caso inverso al disminuir la PV el PID manda salida para abrir la válvula.

LAZO DE CONTROL NIVEL 1 ELEMENTO

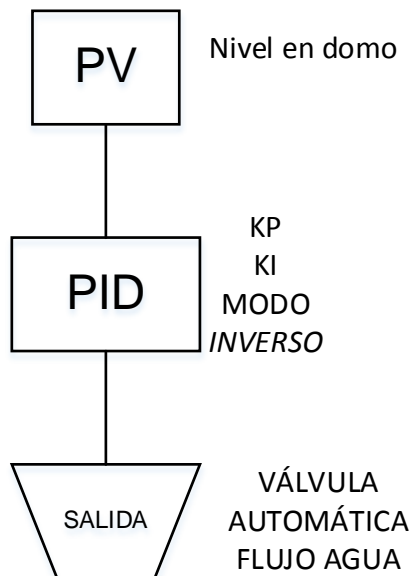


Figura 2.4 Diagrama general de la estrategia de control nivel domo de 1 elemento

II.2.2.2 Estrategia de control de nivel de 3 elementos.

La segunda es una estrategia de balance de masa, considera la masa que sale del sistema en forma de vapor y la que entra en forma de agua, formando así una estrategia de 3 elementos, (Nivel, flujo de agua y flujo de vapor). Consta de dos lazos de control, el primero tiene como variable de proceso el nivel del domo y la salida del bloque PID es un valor que sirve de setpoint al segundo lazo de control. Este segundo lazo tiene como variable de proceso el flujo de agua y en el segundo bloque de control (PID) se agrega el flujo de vapor como una señal de prealimentación (FeedForward) que se anticipa y se suma a la respuesta del PID dando ahora la salida a una válvula de control de flujo de agua.

Esta estrategia se utiliza cuando la caldera ya está suministrando vapor al proceso de cogeneración. (Véase figura 2.5)

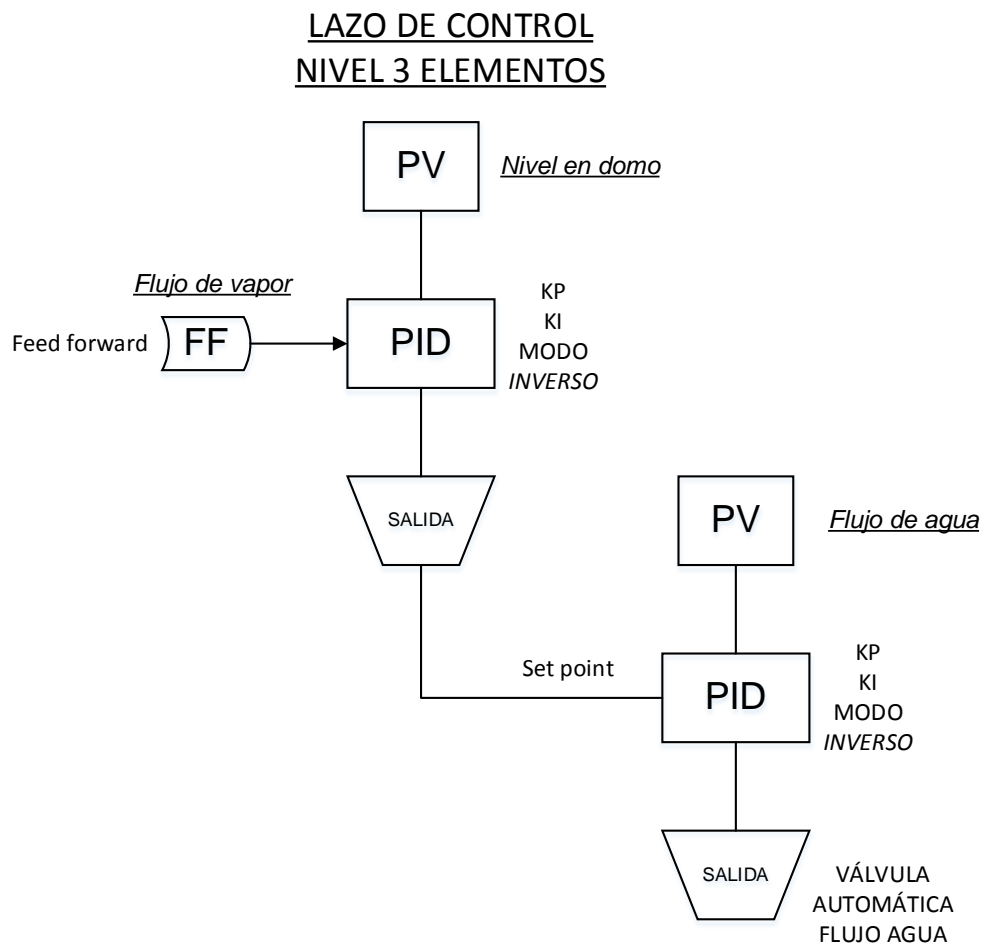


Figura 2.5 Diagrama general de la estrategia de control nivel domo de 3 elementos

CAPÍTULO 3

Capítulo III. Diseño y Desarrollo del Proyecto.

III.1 Control de Nivel en el Domo

El nivel de agua del domo es una de las mediciones más importantes para una operación segura y confiable de una caldera. Si el nivel está en un 65% o más es considerado muy alto, el agua puede fluir dentro del sobrecalentador acarreando gotitas hacia la turbina, éstas al pasar en el sobrecalentador y la turbina dañan los tubos y los álabes de la turbina. La consecuencia de un bajo nivel de domo es más severo. Un nivel insuficiente de agua causa una reducción en la recirculación del horno, causando que los tubos se sobre calienten y fallen. Para tener un sistema confiable se utiliza tres transmisores de nivel independientes uno para control otro para alarma y otro para corte, y uno mas para corte redundante.

El control agua de alimentación, regula el flujo de agua a la caldera para mantener el nivel del domo dentro de los límites. El sistema de control varía con el tipo y capacidad de la caldera y con las características de la carga. La estrategia de control del agua de alimentación es de uno y tres elementos, cuando la caldera no tiene carga o demanda utiliza de un elemento pero cuando la caldera ya tiene variaciones de carga utiliza de tres elementos.

III.1.1 Control de Nivel de Un Elemento.

En el control de un elemento, el nivel en el domo es la señal del transmisor de nivel, el controlador aplica una acción Proporcional Integral (PI) a la diferencia entre el nivel del domo y la señal de setpoint, cambiando la posición de la válvula de regulación. Un sistema de control de este tipo mantiene un nivel constante en lentos cambios de carga, de presión de vapor o presión del agua de alimentación.

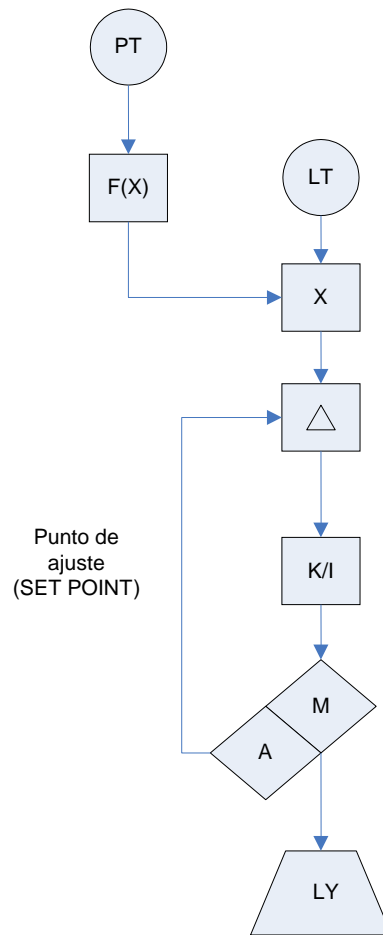


Figura 3.1 Diagrama a Bloques Control de Agua Alimentación de 1 Elemento.

En la figura 3.1 se muestra un lazo de control donde la variable manipulada es la señal del transmisor de nivel que es previamente ajustada por la presión que tiene el domo, el controlador aplica la acción correctiva (representada por las ganancias (K/I) manipulando el actuador o válvula que regula el flujo (representado por LY).

III.1.2 Control de Nivel de Tres Elementos.

En cambio, cuando hay grandes y rápidos cambios en la demanda de vapor, se utiliza el control de tres elementos, en el caso de el aumento de carga; el volumen de vapor dentro del domo crece y el nivel sube, o cuando la carga desciende, el volumen de vapor dentro del domo también decrece y el nivel baja; estos efectos resultarán en variaciones del nivel en un tiempo grande para estabilizar el nivel del domo al setpoint dado, por eso se utiliza una estrategia apropiada que es el sistema de control de nivel más utilizado en la industria.

El control tres elementos es un lazo de control cascada-prealimentación (cascada-feedforward), el cual mantiene la entrada del flujo de agua igual a la demanda del flujo de vapor. La medición del nivel del domo busca mantenerse estable, debido a errores en la medición de flujo, por purgas de fondo y otras causas.

En la figura 3.2 se muestra una estrategia de control de tres elementos. El control aplica una acción proporcional al error entre el nivel del domo y su setpoint. La suma del error en el nivel del domo más el flujo de vapor será la demanda de agua de alimentación. La señal de flujo agua de alimentación se compara con el flujo de vapor y la diferencia será la salida del controlador. A la proporcional se le agrega la acción integral (PI) la corrección en el suministro de agua es a través de la regulación de la válvula. Con un selector de automático-manual el operador puede controlar la válvula. Un sistema de control de tres elementos puede ajustar o restablecer un determinado nivel a diferentes cargas. Pero a bajas cargas de operación (0-20%) es difícil obtener precisos flujo de agua y vapor, por que los transmisores de flujo usualmente son calibrados para operar a altas cargas. Es mejor transferir el sistema de control al de un elemento, donde el nivel del domo es la única variable usada. Por eso se proporciona una transferencia en automático en función de la carga, entre control de un elemento y tres elementos.

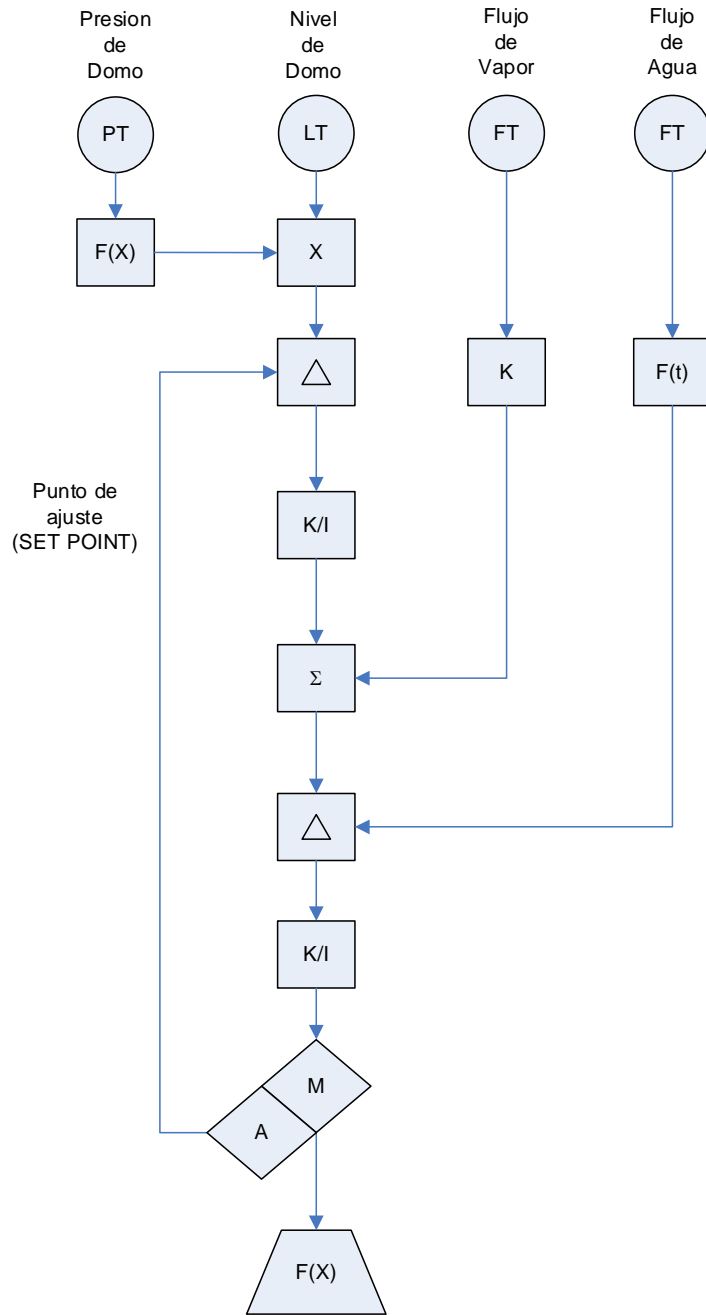


Figura 3.2 Diagrama a Bloques Control de Agua Alimentacion de 3 Elementos

III.2 Sistema de control de combustión (control flujo de aire y combustible).

El sistema de combustión deberá estar diseñado para cumplir tres objetivos. Estos son:

1. La entrada de calor debe ser igual al calor de demanda continuamente,
2. La mínima cantidad de combustible y aire de combustión debe usarse, y
3. El sistema de control debe mantener condiciones seguras en la caldera.

Un sistema de control de combustión regula la relación aire - combustible a la entrada del hogar en respuesta a un índice de carga. Por lo tanto una demanda de entrada de energía en el sistema será igual a un retiro de energía en algún punto. Para la operación de la caldera, el sistema de control mide las variaciones en la presión de salida de la caldera, y la usa como un índice de desbalance entre la entrada de energía-combustible y la energía retirada por el vapor de salida.

Los flujos de combustible y aire se controlan a partir de la presión de vapor, a través del control maestro de la caldera con la corrección precisa de flujo de combustible y flujo de aire. La presión en el cabezal de combustible líquido (llamado oil) o en el de gas, puede ser utilizada como un índice de flujo de combustible y la diferencial entre el hogar y la caja de aire, como índice del flujo de aire; tales índices son comunes para calderas de quemador sencillo. Para calderas con múltiples quemadores se utiliza un tubo pitot u otros instrumentos de medición de flujo, que son usados para proporcionar mayor precisión en la medición de flujo de aire.

La estrategia de control AIRE - COMBUSTIBLE es por límites cruzados, es decir; el aire es límite del gas y el gas es límite del aire, en la figura 3.3 se muestra la estrategia y en las figuras 3.15A y 3.12A se observa la programación hecha en un controlador electrónico. La finalidad es que cuando el control MAESTRO pida subir presión de vapor, primero suba el flujo de AIRE; y cuando pida bajar presión de vapor, baje primero el flujo de GAS.

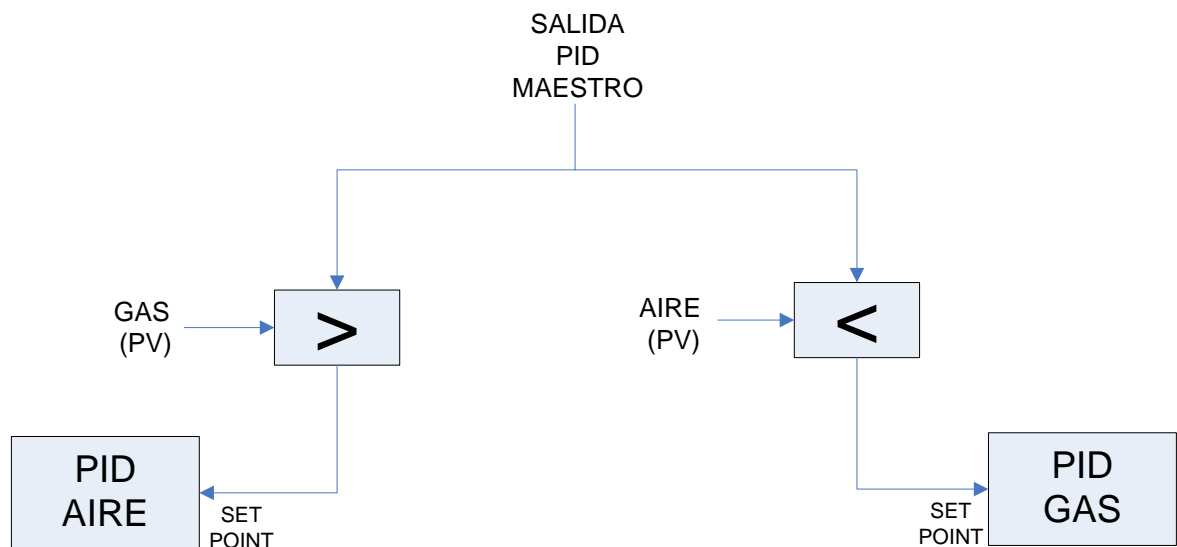


Figura 3.3 Estrategia de límites cruzados

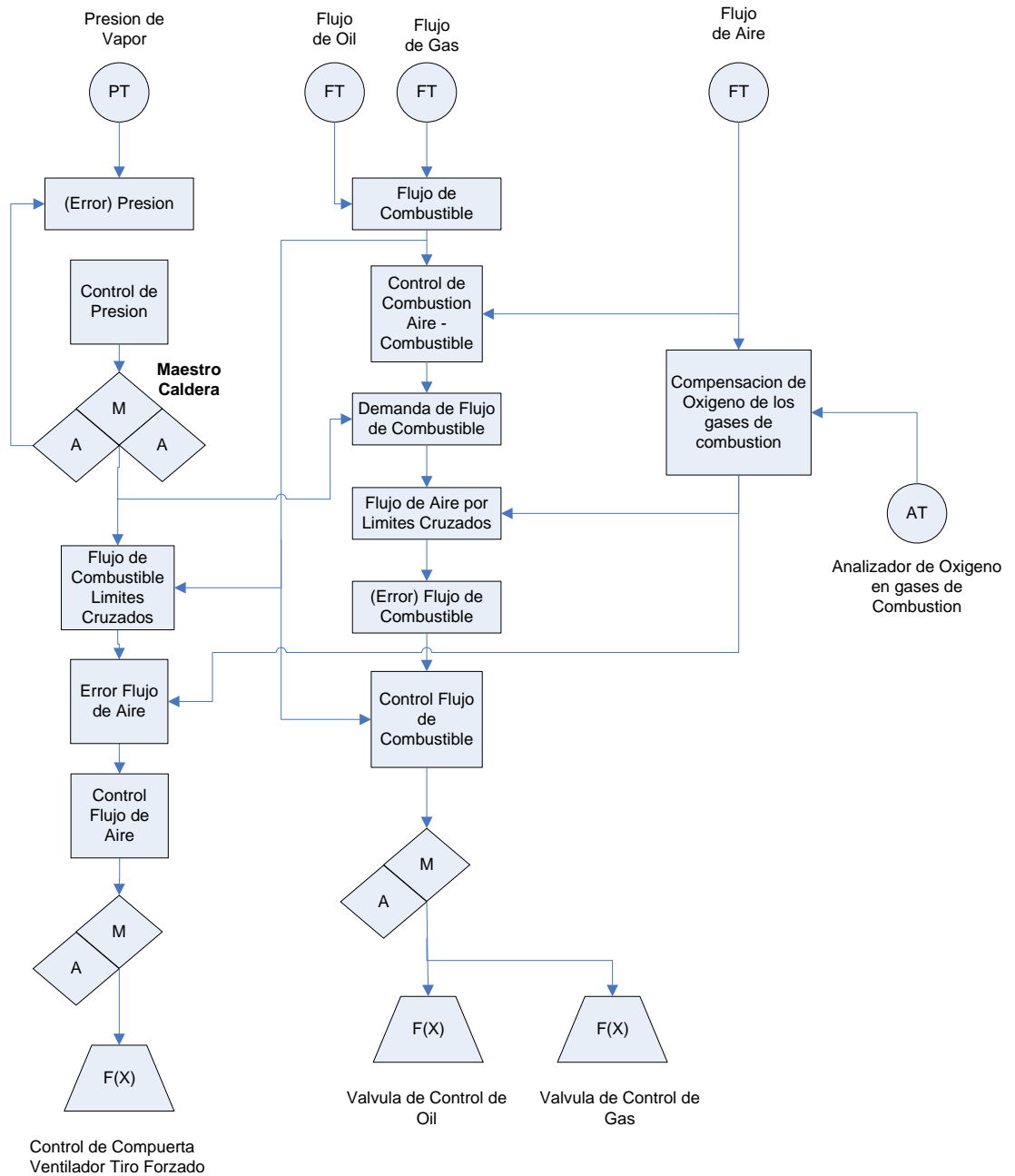


Figura 3.4 Diagrama a Bloques de un Control de Combustión Quemando Oil o Gas en una Caldera.

En la figura 3.4 se muestra el control de combustión utilizando dos combustibles gas y líquido (oil), consta de tres controles, uno es presión de vapor llamado MAESTRO, otro es control flujo de combustible ya sea líquido o gas y el control flujo de aire. Además de un control de compensación por oxígeno en los gases de combustión. El MAESTRO mantiene la presión de vapor en el valor de ajuste (setpoint) manipulando el flujo de aire y combustible. Si se necesita aumentar

la presión de vapor, la estrategia está hecha para que primero aumente el flujo de aire y éste a su vez haga que aumente el flujo de combustible, llámese a esto límite cruzado; ahora el MAESTRO necesita bajar la presión de vapor, la estrategia primero reducirá el flujo de combustible y éste a su vez hace que reduzca el flujo de aire. Cuando hay que aumentar la presión de vapor, la salida del MAESTRO es el setpoint del control flujo de aire que manipula la compuerta del ventilador de aire. Cuando hay que disminuir la presión de vapor, la salida del MAESTRO es el setpoint del control flujo de gas que manipula la válvula de gas, de tal manera que la estrategia selecciona cuál control actúa primero para subir o bajar presión de acuerdo al error de presión en el control MAESTRO.

El control de oxígeno sirve de compensación al control flujo de aire para ajustar el valor de oxígeno en los gases de combustión, la compensación es de +/- 20%. La salida del control de oxígeno entra al control de aire como error, a eso se le llama compensación.

III.3 Eficiencia en la combustión

Muchos factores influyen en la eficiencia de la combustión incluyendo, el exceso de aire, mezcla de gases en el quemador, las propiedades del combustible, la temperatura en el hogar, el tiempo de residencia y el tamaño y distribución de las partículas. Una combustión completa ocurre cuando todos los elementos del combustible y compuestos del mismo son totalmente oxidados. Aquí el objetivo es alcanzar el mayor grado de eficiencia en la combustión con el menor exceso de aire posible, ya que la eficiencia térmica disminuye con incrementos en la cantidad de exceso de aire, es decir; el desempeño de la combustión es entonces medida en términos de pérdidas de eficiencia en la caldera, debido a una combustión incompleta junto con la pérdida de eficiencia debido al calor sensible que se va en la chimenea.

Los siguientes puntos son críticos para la eficiencia óptima de combustión:

1. Apropia distribución y control de aire - combustible en el quemador.
2. El diseño del quemador de gas o petroleo debe proporcionar una mezcla de aire - combustible rápida y turbulenta.
3. Una apropiada geometría del quemador y el hogar para dar suficiente tiempo de residencia y así se complete la reacción química en un ambiente térmico que conduzca a la combustión estable.

La pérdida de eficiencia, debido a pérdidas de carbón cuando se quema gas es despreciable, pero cuando se quema residuos de petróleo el orden es de 0.1%, y se mide en términos de monóxido de carbón (CO) y humo visible en la chimenea. Los niveles de CO deben ser menores a 400 ppm con un %O₂ de 3% para que se considere satisfactorio. [2, pag 10-15]

III.4 Exceso de aire

El nivel de exceso de aire es un índice usado comúnmente para determinar el rendimiento de la caldera y para guiar su funcionamiento. El exceso de aire es la cantidad de aire suministrado por encima de la cantidad del aire teórico necesario para la combustión. Esto siempre es necesario, suministrar algún exceso de aire para asegurar la combustión completa del combustible. Cualquier exceso de aire no utilizado se constituye una pérdida en la eficiencia de la caldera por escape de calor a través de la chimenea. Entendiendo como eficiencia **la relación entre la cantidad de calor útil y la cantidad de calor disponible de la caldera.**

Siendo calor útil Q_u: La cantidad de calor introducido a la caldera y utilizado para el calentamiento del agua hasta la temperatura de ebullición, su evaporación y el sobrecalentamiento del vapor. se expresa en kcal/kg.

$$Q_U = D.(H_V - H_1)$$

DONDE:

D - PRODUCCIÓN DE VAPOR, t/h.

H_v – ENTALPÍA DEL VAPOR A LA SALIDA, kcal/kg.

H₁ - ENTALPÍA DEL AGUA A LA ENTRADA DE LA CALDERA, kcal/kg.

Siendo calor disponible de la caldera Q_{disp}: la cantidad de calor introducida al horno con el combustible .

$$Q_{DISP} = M_c.Q_{VCI}$$

DONDE:

M_c - CONSUMO DE COMBUSTIBLE, Kg/h.

Q_{vci} – PODER CALORÍFICO DEL COMBUSTIBLE, kj/m³.


III.5 Para una máxima eficiencia.

El combustible en la operación de la caldera es el que tiene mayor costo, es por lo tanto importante minimizar el consumo de este y maximizar la producción de vapor; de inicio es a través del buen diseño de la caldera, después la operación puede mantener y mejorar la eficiencia controlando las pérdidas de calor en la chimenea. El total de calor que sale por la chimenea es controlada por la cantidad y temperatura de los gases, la cantidad de gases depende del combustible y también influye la cantidad de exceso de aire en el quemador, que si es mucho este acarrea calor hacia la salida. La temperatura de los gases de combustión también son afectados por la limpieza en la superficie de transferencia de calor de la caldera, mientras haya altas temperaturas de salida de gases es porque se está saliendo la energía, en cambio; excesivamente bajas temperaturas tampoco es aceptable, ya que puede producir condensado y presentar corrosión debido a la formación de ácido en las superficies metálicas frías.

III.6 Instrumentación y control

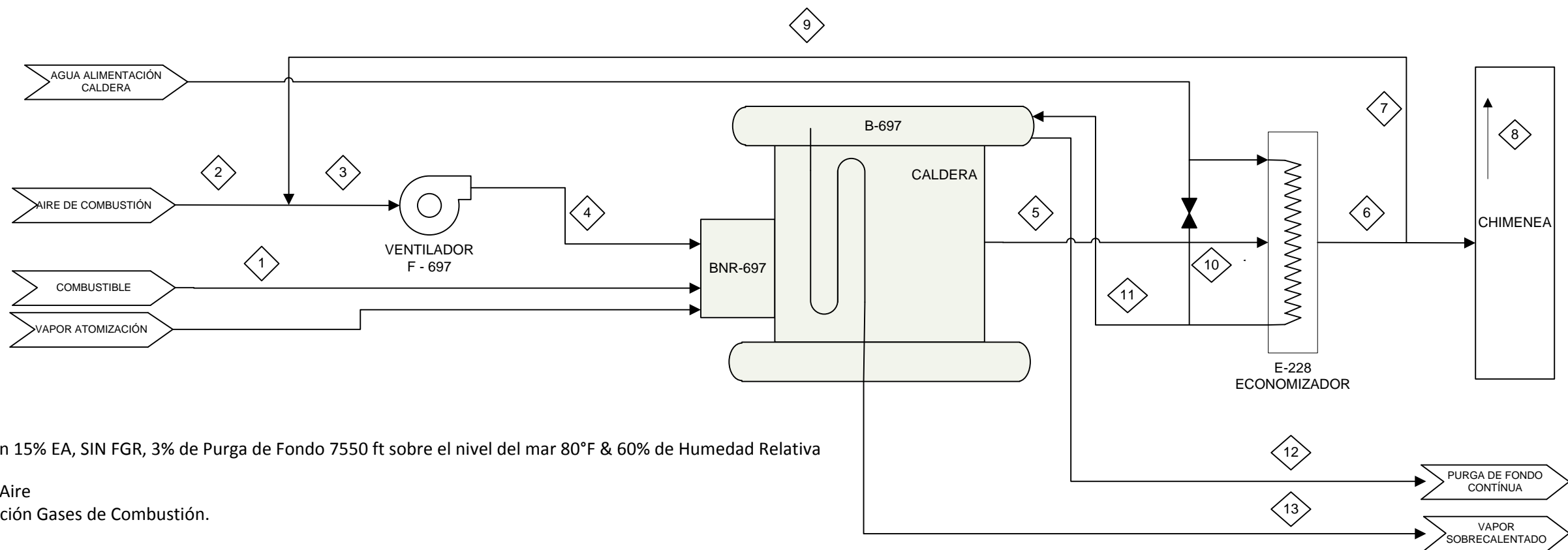
Cada circulación natural de la caldera tiene al menos dos instrumentos indicadores, presión de agua y de vapor, y además una mirilla de nivel visual; también medidores de flujo e indicadores de temperatura, estos indicadores son importantes para mantener dentro de los límites de diseño la presión, temperatura, nivel y flujo. La puesta en marcha no puede iniciar si los instrumentos no están calibrados incluyendo las correcciones para las condiciones actuales de operación, para poder controlar de manera automática la operación de la caldera.

En la figura 3.5 se muestra el proceso de la caldera en un diagrama a bloques que describe el flujo que tiene la caldera al 100 % de su capacidad, que es de 140,000 lb/h (valor ya corregido a nivel de la ciudad). En la tabla 3.1 está el valor de cada sección de la caldera por tipo de combustible.

Por ejemplo, el número  en el diagrama le corresponde en la tabla al flujo de agua alimentación, que tiene los siguientes datos:

Presión	690 psi
Flujo	378 gpm
Flujo másico	145,250 lb/h
Temperatura	227°F

De esta manera se describe los valores máximos que tiene el flujo de agua alimentación cuando la caldera está al 100% de su capacidad. Esto a una altura de 2301 m sobre el nivel del mar, 27°C de temperatura ambiente y 60% de humedad relativa.



Nota: Se asume un 15% EA, SIN FGR, 3% de Purga de Fondo 7550 ft sobre el nivel del mar 80°F & 60% de Humedad Relativa

EA: Exceso de Aire

FGR: Recirculación Gases de Combustión.

Figura 3.5 Diagrama de Flujo de Proceso

Tabla 3.1 Capacidades de Flujo Caldera Babcock & Wilcox

Num		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
DESCRIPCIÓN		GAS NATURAL	AIRE COMBUSTIÓN	MEZCLA DE COMBUSTIÓN	MEZCLA DE COMBUSTIÓN	GASES DE COMBUSTIÓN	GASES DE COMBUSTIÓN	GASES DE COMBUSTIÓN	GASES DE COMBUSTIÓN	AGUA ALIMENTACIÓN	AGUA ALIMENTACIÓN BYPASS	AGUA ALIMENTACIÓN	PURGA CONTINUA DE FONDO	VAPOR SOBREALENTADO
UNIDADES	FLUJO PRESION VER UNIDADES	SCFH PSIG	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	GPM PSIG	GPM PSIG	GPM PSIG	GPM PSIG	PSIG
FLUJO	VER UNIDADES	251,440	63,790	64,210	59,490	150,415	103,580	0	103,745	378	0	404	13.3	--
FLUJO MASICO	LB/HR	11,520	210,185	210,185	210,185	220,705	220,705	0	220,705	180,250	0	145,250	5,250	140,000
TEMPERATURA	'F	80	80	80	95	715	343	343	343	227	227	348	497	745
PRESIÓN	VER UNIDADES	15	0	-2.0	31.4	2.9	0.5	0.5	0	690	670	655	650	600
Num.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
DESCRIPCIÓN		COMBUSTIBLE OIL NO.6	AIRE COMBUSTIÓN	MEZCLA DE COMBUSTIÓN	MEZCLA DE COMBUSTIÓN	GASES DE COMBUSTIÓN	GASES DE COMBUSTIÓN	GASES DE COMBUSTIÓN	GASES DE COMBUSTIÓN	AGUA ALIMENTACION	AGUA ALIMENTACIÓN BYPASS	AGUA ALIMENTACIÓN	PURGA CONTINUA DE FONDO	VAPOR SOBREALENTADO
UNIDADES	FLUJO PRESION VER UNIDADES	GPM PSIG	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	ACFM IN WC	GPM PSIG	GPM PSIG	GPM PSIG	GPM PSIG	PSIG
FLUJO	VER UNIDADES	32	64,040	64,460	59,645	149,385	101,895	0	102,060	367	0	395	13.0	--
FLUJO MASICO	LB/HR	13,475	210,565	210,565	210,565	224,040	224,040	0	224,040	175,100	0	175,100	5,100	170,000
TEMPERATURA	'F	80	80	80	94	753	361	361	361	227	227	360	497	705
PRESIÓN	VER UNIDADES	160	0	-2.0	31.5	2.9	0.5	0.5	0	690	670	655	650	600

En la tabla 3.2 se muestra los datos técnicos de la instrumentación y los materiales utilizados en la caldera. Está dividido en las siguientes secciones:

1. Caldera.
2. Ventilador.
3. Quemador.
4. Tren de gas.
5. Tren de piloto.
6. Tren de combustible (Oil).
7. Tren de atomización vapor/aire.
8. Economizador.

En la tabla también se encuentra la marca, el modelo y su calibración para cada instrumento, además el tamaño, tipo, capacidad o medida si así le corresponde a el equipo instalado.

Tabla 3.2 Lista de Instrumentos, materiales y accesorios.

Etiqueta (TAG)	Descripción del Servicio	Dimensión/Calibración	Fabricante	Numero de Modelo
Caldera				
B-697	Caldera	200,000 lb/hr at 750 psig design / 750" F	Babcock & Wilcox	FM120-124
PI-800	Presión de Vapor Domo	8 1/2" Dial. 0-1000 psig	Ashcroft	85-1010SS-04L
PI-801	Presión de Vapor Domo	6" Diam, 1/4" NPT, 0-800 psig	Ashcroft	1010S-02B-X50-1000 psi
PT-802	Presión de Vapor Domo	Calibración: 0-700 psig	Rosemount	3051TG3A2B21AE5Q4M5
	Tubo colector múltiple (Manifold) de 2 válvulas	Manifold de 2 valvulas	Anderson Greenwood	M25VIS-44-SG
LEC-803	común	Tipo Probe	Clark Reliance	W0900-EA4
LELL-804	Corte bajo nivel	Tipo Probe	Clark Reliance	W0900-EA4
LEL-805	Alarma bajo nivel	Tipo Probe	Clark Reliance	W0900-EA4
LEH-806	Alarma alto nivel	Tipo Probe	Clark Reliance	W0900-EA4
HMS-807	interruptor Bypass Corte bajo nivel		GE	CR-2940
LWCO808	Corte bajo-bajo nivel	Tipo flotador	Clark Reliance	EA101S
LG-809	Mirilla de nivel	Mirilla de vidrio	Clark Reliance	Fig. 909
LT-810	Nivel de domo	Calibración: 0-21"	Rosemount	3051 CD 1A02A1AM5S5
	Tubo colector múltiple (Manifold) de 3 válvulas	Manifold de 3 valvulas	Rosemount	0305RT32A11B1L4
LG-811	Mirilla de nivel	Mirilla de vidrio	Clark Reliance	Fio. 909
PSH-811	Alta presión de vapor del domo	Calibración 715 psig	Ashcroft	B420S-XFM-XFS-1000 psig
PSH-812	Alta-Alta presión de vapor del domo	Calibración 730 psig	Ashcroft	B420S-XFM-XFS-1000 psig
SC-815	Enfriador de muestras de purga de fondo	3/8" NPT agua, 1/4" muestra	Neptune	SC-316
HV-816	Enfriador de muestras Entrada de muestras	1/4" NPT roscado	Apollo	60A-101-24
HV-817	Enfriador de muestras Salida de muestras	1/4" NPT roscado	Apollo	60A-101-24
HV-818	Enfriador de muestras Agua de entrada	3/8" NPT roscado	Nibco	NI T595-CS-R-66-LL-3/8
HV-819	Enfriador de muestras Agua de salida	3/8" NPT roscado	Nibco	NI T595-CS-R-66-LL-3/8
HV-820	Válvula de bloqueo agua alimentación	4" 600 lb RF Fig Compuerta	Newco	Fig. 16F-CB2
XV-821	Válvula Check agua alimentación	4" 600 lb RF Fig Check	Newco	Fig. 36F-CB2
HV-823	Válvula by-pass agua alimentación	4" 600 lb RF Fig Globo	Newco	Fig. 26F-CB2
HV-824	Válvula de bloqueo agua alimentación	4" 600 lb RF Fig Compuerta	Newco	Fig. 16F-CB2
FCV-825	Válvula de control agua alimentación	2 1/2" 600 lb	Fisher	Design ET, Type 667 Actuator
FY-825	Posicionados de válvula de control agua alimentación	Tamaño de actuador 45 /Eq Pere Trim	Fisher	DVC6200 Positioner
HV-826	Válvula de bloqueo agua alimentación	4" 600 lb RF Fig Compuerta	Newco	Fig. 16F-CB2
FE-827	Placa de orificio agua alimentación	316SS Placa de Orificio 3.072" Orificio	Rosemount	1495, 6" Sch.120
FT-827	Transmisor de flujo agua alimentación	Calibración: 0-200" WC	Rosemount	3051CD2A02A1AH2B7 L4E5 w/ LCD
	Tubo colector múltiple (Manifold) de 3 válvulas	Manifold de 3 valvulas	Anderson-Greenwood	M4TVIS-4
PSV-850	Válvula de seguridad del domo	Calibración 720 psig para flujo de 87,032 lb/hr	Consolidated	2735B. 2 1/2" 600 lb x 6" 150 lb
PSV-851	Válvula de seguridad del domo	Calibración 735 psig f para flujo de 88,810 lb/hr	Consolidated	27356,2 1/2" 600 lb x 6" 150 lb
PSV-852	Válvula de seguridad del sobrecalentado	Calibración 635 psig para flujo de lb/hr	Consolidated	2755D, 3" 600 lb x 6" 150 lb
HV-855	Cierre Purga continua	3/4" 800 lb NPT Compuerta	Vogt	12111
HOV-856	Control Purga continua	3/4" 600 lb NPT Globo	Vogt	12443
HV-860	Válvula para purga de fondo.	1 1/2" 600 lb RF Fig	Edward	1641/1643
HV-865	Válvula de cierre alimentación de químicos	1/2" 800 lb NPT Compuerta	Vogt	12111
XV-866	Válvula anti retorno (Check) alimentación de químicos	1/2" 800 lb NPT anti retorno (Check)	Vogt	S701

Tabla 3.2.1 Lista de Instrumentos, materiales y accesorios.

Etiqueta (TAG)	Descripción del Servicio	Dimensión/Calibración	Fabricante	Numero de Modelo
HV-870	Válvula principal de vapor anti retorno	10" 600lb válvula recta (Straight Valve)	Crane	CR171XU-10 Globe Mod
HV-871	Válvula principal de vapor de cierre	10" 600lb válvula recta (Straight Valve)	Crane	CR 76XUF-10 Gate Mod
HV-872	Válvula principal de vapor de venteo	1" 800lb NPT Compuerta	Vogt	12111
HV-880	Válvula de cierre atomización de vapor	1" 800 lb NPT Compuerta	Vogt	12111
XV-881	Válvula check atomización de vapor	1" 800 lb NPT Check	Vogt	S701
HV-882	Venteo de vapor del domo	3/4" 800 lb NPT Compuerta	Vogt	12111
FE-890	Placa de orificio flujo de vapor sobrecalentado	316SS Placa de orificio con orificio de 7,149"	Rosemount	1495, 10" Sch.80
FT-890	Transmisor de flujo de vapor sobrecalentado	Calibración: 0-250" WC	Rosemount	3051CD2A02A1AH2B7E5L4 w/ LCD
	Tubo colector múltiple (Manifold) de tres válvulas	Manifold de tres válvulas	Anderson-Greenwood	M4TVIS-4
PT-89Q	Presión de vapor sobrecalentado	Calibración: 0-1000 psig	Rosemount	3051TG3A2B21AB4E5M5
	Tubo colector múltiple (Manifold) de dos válvulas	Manifold de dos válvulas	Anderson Greenwood	M25VIS-44-SG
PI-891	Presión de vapor sobrecalentado	4" Diam, 1/4" NPT, 0-1000 psig	Ashcroft	100-1008S-02L-XNH-1000 psi
TI-892	Temperatura Presión de vapor sobrecalentado	5" Diam, 3/4" NPT, 200-1000 F	Ashcroft	50E160E060-XNH-200/1000 F
HV-895	Venteo Presión de vapor sobrecalentado	3/4" 800 lb NPT Compuerta	Vogt	12111
HV-898	Dren sobrecalentador	1" 800 lb NPT Compuerta	Vogt	12111
HV-899	Dren sobrecalentador	1" 800 lb NPT Compuerta	Voot	12111
Fan F-697	Carcasa del ventilador	83 .500 ACFM at 35" WC	IAP	No. 580-91%, B-95
Ventilador				
FM-697	Motor Ventilador	700 HP, 1800 RPM, TEFC, 1 15 SF	TECO	4160V/3ph/60hz
XMS-701	Arrancador motor del ventilador		IAP	
FCV-701	Compuertas de entrada del ventilador			External Inlet Vane
FCZ-701	Actuador de las compuertas de entrada		ABB	UP20U01100
FY-701	Posicionador del actuador en las compuertas de entrada		ABB	UP20U01100
ZSH-701	Fuego alto compuertas de entrada		ABB	TZID-C
ZSL-701	Fuego bajo compuertas de entrada		ABB	TZIO-C
XFA-701	Silenciador de entrada del ventilador		IAP	10575-1-2
FCV-70Z	Comporta de aire fresco		IAP	
FCZ-702	Actuador Compuerta de aire fresco		ABB	UP2CU01100
FY-702	Posicionador de actuador compuerta de aire fresco		ABB	UP20U01100
ZSH-702	Fuego alto compuertas de entrada aire fresco		ABB	TZID-C TZID-C
ZSL-702	Fuego bajo compuertas de entrada aire fresco		ABB	
FE-703	Elemento primario de flujo de aire entrada	40" x 96"	Phoenix Air Flow	RCT
FT-703	Transmisor de flujo de entrada	Calibración: 0-0.6" WC	Rosemount	3051CD1A02A1AM5H2L4Q4 w/ LCD
	Tubo colector múltiple (Manifold) de tres válvulas	3-valve manifold	Anderson Greenwood	M4TVIS-4
TE-703	Temperatura de flujo de entrada	Type K Termopar w/ 316SS thermowell	Omega Eng	HWA/NB1-CASS14G-L/3/4-260S-U30-316SS
FV-705	Compuerta para recirculación de gases combustión (FGR)		IAP	36" diameter
FCZ-705	Actuador Compuerta para recirculación de gases combustión		ABB	UP10U01100
FV-705	Posicionador de actuador compuerta para (FGR)		ABB	UPIOUOIIIOO
ZSH-705	Interruptor de posición compuerta para (FGR)		ABB	TZID-C

Tabla 3.2.2 Lista de Instrumentos, materiales y accesorios.

Etiqueta (TAG)	Descripción del Servicio	Dimensión/Calibración	Fabricante	Numero de Modelo
ZSL-705	Interruptor de posición compuerta para (FGR)		ABB	TZID-C
Quemador				
BNR-697	Quemador	286 MMBTUH Nat Gas. 276 MMBTUH No.2 Oil	Coen/Todd	Lo-Nox, Variflame SV925IGOXXX
PCV-300	Filtro regulador de aire	1/2" NPT, 0-150 psig	SpeedAire	4ZK97
PI-301	Indicador de presión de aire instrumentos	2 1/2" Dial, 1/4" NPT, 0-200 psig	Ashcroft	25-1009AW-02L-XNH-200 psi
PSL-302	Baja presión de aire instrumentos	Set80 psig Dec	Ashcroft	B424B-XFM-XFS-200 psig
PCV-303	Regulador de purga Detector de flama	1/4" NPT, 0-2 psig	Fairchild	10212
FSL-710	Bajo flujo de aire combustión	1/8" NPT, Field Set, Range 0.15" to 0.5"WC	Dwyer	1824-0-WP
FSL-711	Bajó flujo de aire. Purga	1/8" NPT. Field Set, range 3" lo 22" WC	Dwyer	1824-20-WP
PIC-500	Sistema de protección de la caldera		Honeywell	HC900
BSE-500	Detector de flama		Honeywell	C7061A1012
IT-500	Transformador de ignición	120 VAC. 0.175 kVA	Donqan	A06-SA6
Tren de gas				
PI-501	Presión de gas al quemador	4" Dial, 1/4" NPT	Ashcroft	100-1008A-02B-XFF-15 psi
HV-502	Válvula corte principal de gas	6" 150 lb RF	Jamesbury	7150-31-2236XT/LD57
FCV-503	Válvula control de gas	4" 150 lb RF	Fisher	V150 w/ No. 1052/33 Actuator
FY-503	Posicionador Válvula control de gas		Fisher	DVC602Q Positioner
ZSL-503	Switch límite bajo fuego		Fisher	304 Limit Switches
PI-503	Juego de manómetros válvula de control		Fisher	Air Set
PSH-504	Alta presión de gas	Set at 18 psig Inc	Ashcroft	B424B-XFM-30 psig
BSV-S05	Válvula de seguridad corte de gas	6" 150 lb RF	Jamesbury	7150-31-2236XT N PVL600SR4/5BFJ
ZSC-505	Interruptor confirmación de cierre		Stone!	QZM2VB12DSS
ZPV-505	válvulas solenoide		Asco	EF8316G054
BSV-506	Válvula de venteo Gas	3" 150 lb RF	Jamesbury	7150-31-2236XT, VPV:350SR4.5
ZPV-5D6	Válvula solenoide		Asco	EF8551A1MS
BSV-507	Válvula de seguridad corte de gas	6" 150lb RF	Jamesbury	7150-31-2236XT/VPVL600 SR4/5 BF J
ZSC-507	Interruptor confirmación de cierre		Slonel	OZM2VB12DSS
ZPV-507	Válvula solenoide		Asco	EF8316G054
HV-508	Prueba de fugas	1/4" NPT	Jamesbury	9FB-2200MT
HV-509	Válvula de cierre venteo	3" 150 lb RF	Jamesburv	7150-31-2236XT/LD56
HV-510	Prueba de fugas	1/4" NPT	Jamesbury	9FB-2200MT
PSL-511	Tren de gas baja presión	Set at 9 psig Dec	Ashcroft	B424B-XFM-30 psig
PI-512	Indicador de presión suministro	4" Dial, 1/4" NPT	Ashcroft	100-1008A-02B-XFF-30 psi
HV-513	Válvula de suministro de gas	6" 150 lb RF Plug with wrench	Nordstrom	NO 1945-«/NO DB-4
FE-514	Placa de orificio flujo de gas	316SS Orifice Plate with 4.190" Bore	Rosemount	1495 6" Sch.40
FT-514	Transmisor flujo de gas	Calibración: 0-125" WC	Rosemount	3051CD2A02A1AH2B7L4E5 w/ LCD
	Tubo colector múltiple (Manifold) de tres válvulas	3-valve manifold	Anderson Greenwood	M4TVIS-4
PCV-515	Regulador del suministro de gas			As required for 15 psig supply
PI-516	Presión de suministro de gas	4" Dial, 1/4" NPT, 0-100 psig	Ashcroft	100-1008A-02L-XNH-100 psi
XX-517	Filtro de suministro de gas	6" 150 lb RF	Mueller	781, 100 mesh screen
HV-518	Válvula de aislamiento suministro de gas	1 1/2" NPT	Jamesbury	Fig. 356

Tabla 3.2.3 Lista de Instrumentos, materiales y accesorios.

Etiqueta (TAG)	Descripción del Servicio	Dimensión/Calibración	Fabricante	Numero de Modelo
Tren de piloto				
HV-551	Válvula manual de cerrar el piloto	3/4" NPT	Jamesbury	Fig. 356
PI-552	Indicador de presión quemador	2 1/2" Dial, 1/4" NPT	Ashcroft	25-1490A-02L 0-100" WC
BSV-553	Válvula de cerrar piloto	3/4" NPT	Asco	8215G30
BSV-554	Válvula de venteo piloto	3/4" NPT	Asco	8215G33
BSV-555	Válvula de cerrar piloto	3/4" NPT	Asco	8215G30
PCV-556	Piloto PRV	3/4" NPT	Fisher	HSR-BHJAMYN
XX-557	Filtro de suministro piloto	3/4" NPT	Mueller	11M
HV-558	Válvula de cierre de suministro piloto	3/4" NPT	Jamesbury	Fig. 356
Tren de combustible (OIL)				
PI-401	Indicador de presión	4" Dial, 1/4" NPT	Ashcroft	100-1006A-02B-XFF-200 psi
XV-402	Válvula anti retorno de combustible líquido (Check oil)	1 1/2" NPT	Durabla	SCV
HV-403	Válvula de cierre manual	1 1/2" NPT	Vogl	12141
BSV-404	Válvula de seguridad de cierre	1 1/4" NPT	Maxon	1.25"-4730
ZSC-404	Interruptor de confirmación cerrado		Maxon	VCS-1
BSV-405	Válvula de seguridad de cierre	1 1/4" NPT	Maxon	1.25"- 4730
ZSC-405	Interruptor de confirmación cerrado		Maxon	VCS-1
FCV-406	Válvula para control de flujo	1" 250 lb RF Fig	Fisher	667-EZw/ No. 30 Actuator
FY-406	Posicionador y actuador	30 Actuator	Fisher	□CV6010 Positioner
ZSL-406	Interruptor de límite bajo fuego		Fisher	304 Limit Switches
PI-406	Manómetros de válvula de control		Fisher	Air Set
PSL-407	Baja presión del tren de combustible	Set at 140 psig Dec	Ashcroft	B424B-XFM-200 psig w/ 50-200SB-02T-CG
PM08	Indicador de presión de suministro	4" Dial, 1/4" NPT	Ashcroft	100-1008A-02B-XFF-300 psi
HV-409	Válvula dren	1/2" NPT	Jamesbury	Fig. 356
FE-410	Placa de orificio flujo de combustible	316SS Orifice Plate with 0.822" Bore	Rosemount	1495 1 1/2" Sch.80
FT-410	Transmisor flujo de combustible	Calibración: 0-150" WC	Rosemount	3051CD2A02A1AH2B7L4E5 w/ LCD
	Tubo colector múltiple (Manifold) de tres válvulas	3-valve manifold	Anderson Greenwood	M4TVIS-4
PCV-411	Regulador de suministro de combustible			As required for 180 - 185 psig supply
XX-412	Filtro suministro de combustible	1 1/2" NPT	Hayward	72
HV-413	Válvula de cierre manual	1 1/2" NPT	Jamesbury	1 1/2" 6F-2236
TI-414	Temperatura de combustible	3" Dial. 1/4" NPT, 50-300 F w/Thermowell	Weksler	3A0444FRX / S3G4
TSL/TSH-415	Interruptor de baja temperatura de combustible	Set at 180 F Drop, 230 F Rise w/ Thermowell	Burling Instalment	B-2C-672-NN /1184
PSH-416	Alta presión tren de combustible	Set at 180 psig Ine	Ashcroft	B424BXFMXF-200 psig w/ 50-200SB-02T-CG
BSV-417	Válvula de recirculación combustible No.6	3/4" NPT	Jamesbury	0.75FNCS / VPVL 100 SR6 B LT
ZPV-417	Válvula de recirculación combustible No.6	1/4" NPT. 120 VAC	ASCO	8320G701

Tabla 3.2.4 Lista de Instrumentos, materiales y accesorios.

Etiqueta (TAG)	Descripción del Servicio	Dimension/Calibracion	Fabricante	Numero de Modelo
Tren de atomización vapor/aire				
PSL-601	Baja presión de vapor que atomización	1/4" NPT, Set at 40 psig Dec	Ashcroft	B424B-XFM-XFS-200 psig
PI-602	Indicador de presión atomización	4" Dial. 1/4" NPT	Ashcroft	100-1008S-02B-XFF-200 psi
HV-603	Válvula de manual vapor quemador	1" NPT	Vogt	12111
CV-604	Válvula check vapor en quemador	1" NPT	Durabla	SCV
FO-605	Orificio suministro de vapor	1" NPT	Todd	3000 lb union w/1/2" hole
BSV-606	Válvula de seguridad cierre de vapor	1" NPT	Jamesbury	4C-2236XT/VPVL100SR45/QZM2VE1R
ZPV-606	Válvula solenoide		Asco	EF8551A1MS
XV-607	Válvula Check suministro de vapor	1" NPT	Durabla	SCV
PCV-608	Válvula control de presión suministro de vapor	1" NPT	Cashco	1000HP-15+45
PSL-609	Baja presión de vapor atomización	1/4" NPT, Set at 105 psig Dec	Ashcroft	B424S-XFM-XFS-1000 psig
PI-610	Indicador de presión suministro de vapor	4" Dial, 1/4" NPT	Ashcroft	100-1008S-02B-XFF-1000 psi
XX-611	Filtro suministro de vapor	1" NPT	Mueller	581
HV-612	Válvula cierre suministro de vapor	1" NPT	Vogt	12111
XV-613	Válvula anti retorno (Check) purga atomización	1/2" NPT	Durabla	SCV
HV-614	Válvula cierre purga atomización	1/2" NPT	Vogt	12111
FO-615	Orificio limitante de flujo	1/2" NPT	Todd	3000 lb union w/1/32" hole
HV-616	Válvula de cierre condensarlo	1/2" NPT	Vogt	12111
XXX-617	Trampa de vapor	1/2" NPT	Armstrong	981
XV-618	Válvula Check suministro de aire	1"NPT	Durabla	SCV
PSL-619	Baja presión atomización Aire	1/4" NPT, Set at 60 psig Dec	Ashcroft	B424S-XFM-XFS-200 psig
XX-620	Filtro de aire atomización	1" NPT	Mueller	581
HV-621	Válvula cierre aire atomización	1" NPT	Jamesbury	Flq. 356
Economizador	Ductos/chimenea			
E-222	Economizador	935 psig, 700F Design	ECO	J-1491-1
PSV-630	Válvula de seguridad	Set at 935 psig	Consolidated	1912-J-P1-5-33 RF-SS, 3" 600 lb x 4" 150 lb
HV-831	Válvula de cierre salida de agua Economizador	6" 600 lb RF Fig Gale	Crane	CR 76XUF-6
TI-832	Temperatura salida de agua alimentación	5" Dial, 3/4" NPT, 50-550 F	Ashcroft	50EI60E060-XNH-50/550 F w/75W0250LHT260S well
PI-833	Presión salida Economizador	4" Dial, 1/4" NPT, 0-1000 psig	Ashcroft	45-1009-SW-04L-XNH-1000 psi
HV-834	Válvula cierre salida Economizador	3/4" 800 lb NPT Gate	Vogt	12111
HV-835	Salida Economizador venteo	3/4" 800 lb NPT Gate	Vogt	12111
TI-836	Temperatura entrada agua alimentación	5" Dial, 3/4" NPT, 50-550 F	Ashcroft	50EI60E060-XNH-50/550 F w/ 75W0250LHT260S well
PI-837	Presión de entrada Economizador	4" Dial, 1/4" NPT, 0-1000 psig	Ashcroft	45-1009-SW-04L-XNH-1000 psi
HV-838	Cierre entrada Economizador	3/4" 800 lb NPT Gate	Vogt	12111
HV-839	Entrada Economizador venteo	3/4" 800 lb NPT Gate	Vogt	12111
HV-840	Válvula de bloqueo entrada de agua Economizador	6" 600 lb RF Fig Gate	Crane	CR 76XUF-6
HV-841	Válvula by pass agua alimentación Economizador	4" 600 lb RF Fig Gate	Crane	CR 76XUF-4
PSH-900	Presión del hogar	1/4" NPT, Set at 15" WC Dec	Ashcroft	D424BXCFM-30" WC

Tabla 3.2.5 Lista de Instrumentos, materiales y accesorios.

Etiqueta (TAG)	Descripción del Servicio	Dimension/Calibracion	Fabricante	Numero de Modelo
TI-901	Temperatura de gases salida de la caldera	5" Dial, 3/4" NPT, 200-1000 F	Ashcroft	50EI60E345XNH-200/1000 F W/T075B260H3000L3475S01 well
HV-902	Dren salida de la caldera	3/4" NPT Ball	Nibco	NI T595-CS-R-66-LL-3/4
HV-903	Ducto dren	3/4" NPT Ball	Nibco	NI T595-CS-R-66-LL-3/4
HV-904	Cabezal de dren Economizador	1" NPT Ball	Nibco	NI T595-CS-R-66-LL-1
HV-905	Cabezal de dren Economizador	1" NPT Ball	Nibco	NI T595-CS-R-66-LL-1
HV-906	Dren salida de Economizador	3/4" NPT Ball	Nibco	NI T595-CS-R-66-LL-3/4
TI-907	Temperatura gases de salida Economizador	5" Dial, 3/4" NPT, 50-550 F	Ashcroft	50EI60E345XNH-50/550 F w/ T075B260H3000L3475S01 wet
AE-910	Sensor de oxígeno (Zr)	2" NPT, 14" muestreador tipo tubo	ABB	AZ122/143040
AIT-910	Indicador de analizador de oxígeno	115V AC montaje en pared	ABB	AZ122/143040

En la figura 3.6 se muestra el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) de la caldera babcock & Wilcox

En la lista de instrumentos y materiales de la tabla 3.2 esta la descripción de las etiquetas (TAG) mencionadas a continuación.

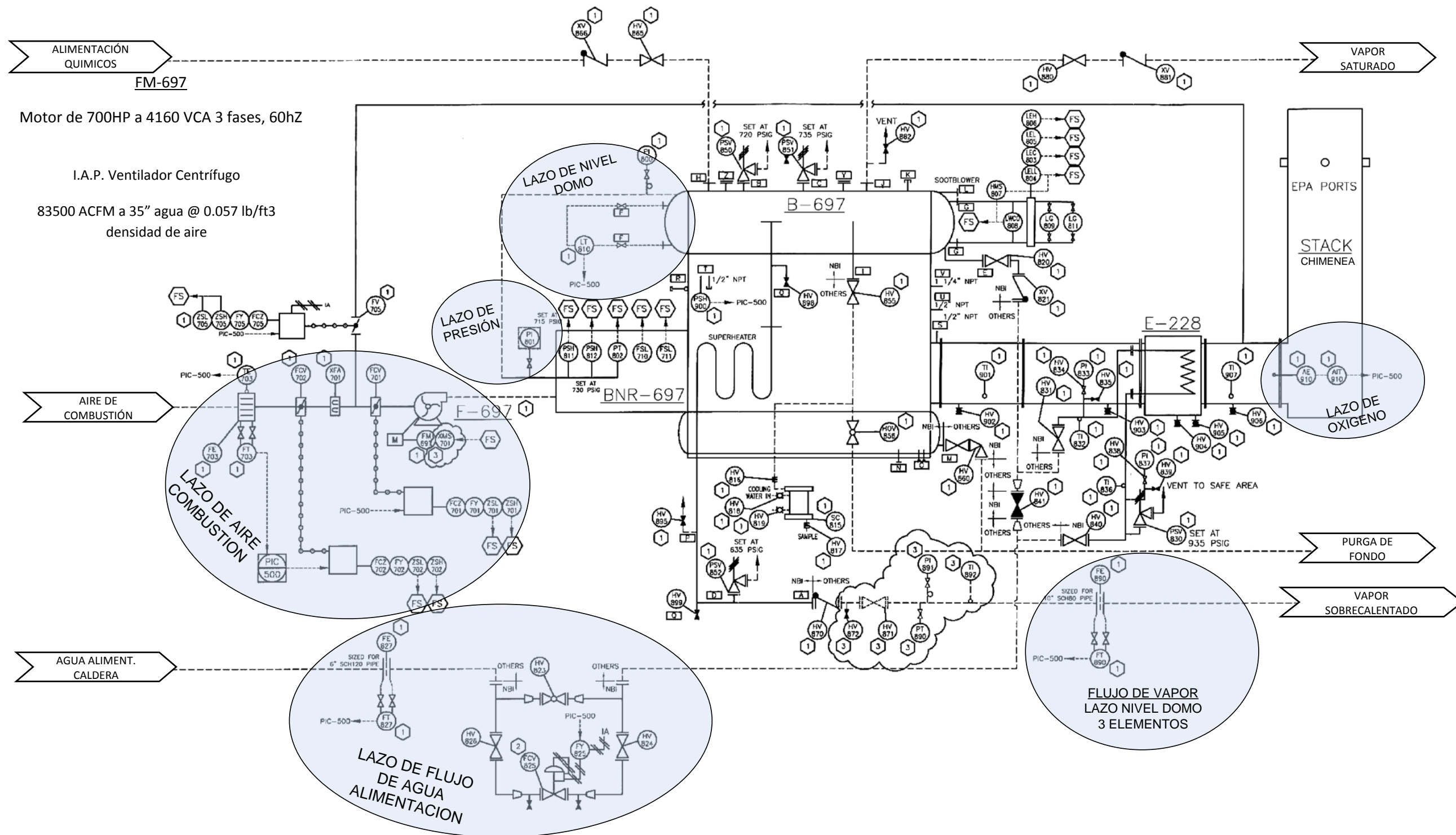
En el DTI se puede ver la instalación de los lazos de control descritos anteriormente, como son el de combustión, y nivel de domo. El primero consta de GAS y AIRE como se explica en la sección 3.2, aquí se muestra su ubicación en el cabezal de GAS donde primero se regula la presión con un PCV 515, luego se mide el flujo con una placa de orificio FE-514 y un transmisor de presión diferencial FT-514 que envía señal eléctrica al control PIC-500, seguido de las valvulas de bloqueo y venteo (BSV 507 y BSV 505), la regulación del flujo de gas que entra finalmente al quemador BNR-697 es manipulada por el actuador FCV-503. Los indicadores de presión (PI) están instalados antes y después de la válvula de regulación.

El AIRE de combustión que entra al quemador es proporcionado por un ventilador (F-697), el flujo de aire es medido con un elemento primario FE-703 y un transmisor de presión diferencial FT-703 que envía una señal eléctrica al PIC-500, la regulación del aire se hace con compuertas (FCV-702 y FCV-701) a la entrada del ventilador F-697.

El lazo de compensación de oxígeno, utiliza un sensor de Zirconia AE910 y un transmisor AT910 que se encuentra montado después del economizador en la salida de gases de combustión; este transmite una señal eléctrica al control PIC-500 para completar la estrategia de combustión.

El lazo de control MAESTRO, es la presión de vapor medida en el domo superior de la caldera B-697 por el transmisor de presión PT-802, manipulada por el lazo de combustión AIRE-COMBUSTIBLE.

El lazo de control nivel de domo regula el agua de alimentación que entra al domo superior de la caldera B-697 pasando antes por un economizador E-228, como se describe en la sección 3.1 las estrategias utilizan el flujo de agua, éste es medido con una placa de orificio FE-827 y un transmisor de presión diferencial FT-827, la regulación es hecha por la válvula FCV-825 y manipulada por el PIC-500. La estrategia de uno y tres elementos usa dos variables más que son el flujo de vapor y el nivel del domo, el primero sale del domo superior y pasa antes por el sobrecalentador para llegar finalmente al cabezal principal; antes de eso es medido por una placa de orificio FE-890 y un transmisor FT-890 que envía señal eléctrica al PIC-500. El nivel del domo es medido por un transmisor de presión diferencial LT-810 en el domo superior que envía señal eléctrica al control PIC-500. .



B - 697

CALDERA BABCOCK & WILCOX FM120 – 24
 200,000 LB/H
 A DISEÑO 750 PSIG Y 750°F

E - 228

ECO ECONOMIZADOR 935
 DISEÑO 935 PSIG @ 700°F





-  CONEXIÓN SISTEMA SEGURIDAD DE FLAMA
-  INSTRUMENTO ENVIADO SUELTO, MONTADO Y/O CABLEADO POR CLIENTE
-  INSTRUMENTO MONTADO SEPARADAMENTE Y/O CABLEADO POR CLIENTE
-  INSTRUMENTO SUMINISTRADO POR CLIENTE

Figura 3.6.2. Diagrama de Tubería e Instrumentación

III.6.1 Especificación del controlador empleado.

El controlador utilizado en este proyecto se llama HC900 es de tipo modular y marca Honeywell.



Figura 3.7 Controlador HC900

Este controlador se compone de un rack de 8 ranuras (slots) y utiliza en cada una las siguientes tarjetas.

	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>MODELO</u>
HC900	I/O GABINETE DE 8 RANURAS	900R08-001
PS1	FUENTE DE PODER 60W	900P01-001
HC900	C50 CPU	900C51-0244-00
HC900	TARJETA ENTRADA ANALOGICAS 8 CANALES	900A01-0002
HC900	TARJETA SALIDAS ANALOGICAS 4 CANALES	900B01-0001
HC900	TARJETA ENTRADAS DIGITALES 16 CANALES	900G03-0001
HC900	TARJETA DE SALIDAS RELE 8 CANALES	900H01-0001
HMI-135	PANTALLA TACTIL DE 15" LCD	900CS51-00

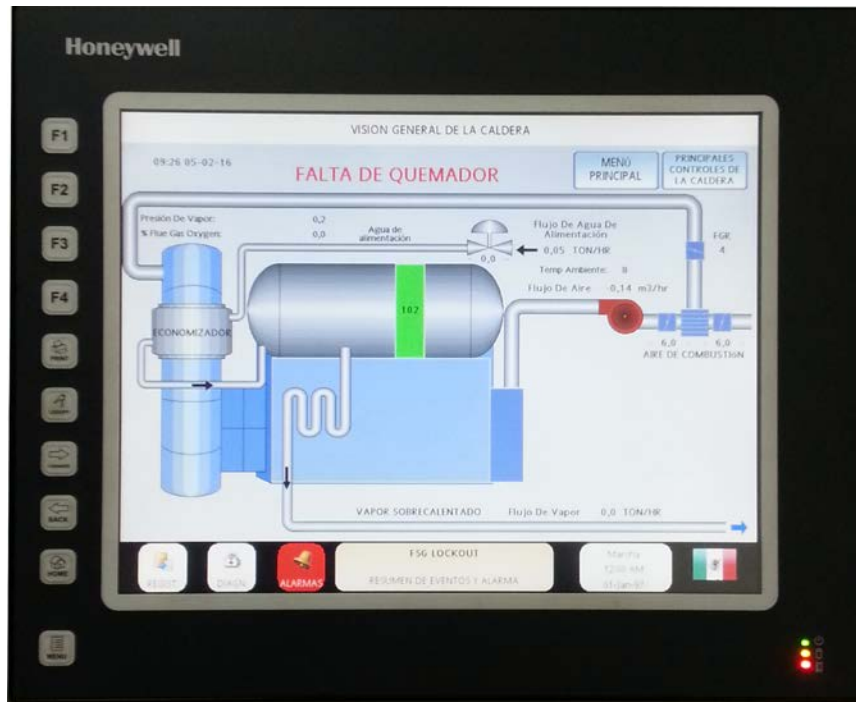


Figura 3.8 Pantalla Táctil 15" HMI

III.6.2 Especificación de los transmisores empleados.

Los transmisores fueron elegidos debido a su aplicación de acuerdo a las condiciones de presión y temperatura de la variable a medir, también esas se utilizan para calcular la calibración como se muestra en la figuras 3.12, 3.13 y 3.14 respectivamente. Físicamente los transmisores son similares cambia el modelo de acuerdo a la presión que soporta y al rango que va a medir. También si es presión manométrica o diferencial lo que va a utilizar en el caso de medición de flujos. Se anota en la tabla 3.3 estos datos.



Figura 3.9 Transmisor de presión diferencial Rosemount

Tabla 3.3 Modelos y calibraciones de transmisores

FT-514	Transmisor flujo de gas	
Calibración	Marca	Modelo
0-125" WC	Rosemount	3051CD2A02A1AH2B7L4E5 w/ LCD
FT-703	Transmisor de flujo aire de combustión	
Calibración	Marca	Modelo
0-0.6" WC	Rosemount	3051CD1A02A1AM5H2L4Q4 w/ LCD
FT-410	Transmisor de flujo de combustible	
Calibración	Marca	Modelo
0-150" WC	Rosemount	3051CD2A02A1AH2B7L4E5 w/ LCD
LT-810	Nivel de domo	
Calibración	Marca	Modelo
0-21" WC	Rosemount	3051 CD 1A02A1AM5S5
FT-890	Transmisor de flujo de vapor sobrecalentado	
Calibración	Marca	Modelo
0-250" WC	Rosemount	3051CD2A02A1AH2B7E5L4 w/ LCD
FT-827	Transmisor de flujo agua alimentación	
Calibración	Marca	Modelo
0-200" WC	Rosemount	3051CD2A02A1AH2B7 L4E5 w/ LCD
PT-802	Presión de Vapor Domo	
Calibración:	Marca	Modelo
0-700 psig	Rosemount	3051TG3A2B21AE5Q4M5

III.6.3 Conexión eléctrica de los transmisores.

El controlador utiliza una tarjeta de 8 canales para los transmisores ahí se conecta cada uno. Una vez conectados se configura el rango de cada uno de acuerdo a la estrategia usada.

La señal de los transmisores es de tipo analógico 4-20mA, se utiliza una fuente de voltaje de 24 vcd para alimentar el lazo. La conexión se muestra en la figura 3.10

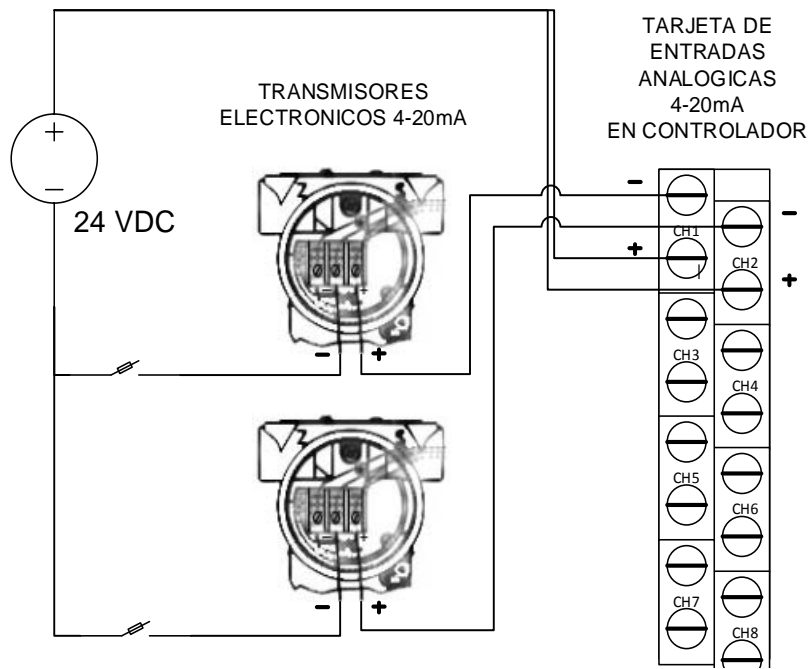


Figura 3.10 Diagrama de Conexión Eléctrica Transmisor y Controlador

III.6.4 Especificación de los actuadores empleados.

Los actuadores fueron elegidos debido a su capacidad de flujo, característica de flujo dentro de los valores normales y límites de presión que soporta el cuerpo de la válvula, y la conexión de la válvula al sistema de tubería de acuerdo a las condiciones de presión y temperatura del flujo a controlar.

Se anota en la tabla 3.4 los datos de los modelos usados para el control de flujos de aire, agua y gas.

Tabla 3.4 Modelos y marca de los actuadores automáticos.

FCV 825	Válvula de control Agua de Alimentación	
Tamaño	Marca	Modelo
2 ½"600 lb/in ²	Fisher	Design ET Type 667 Actuator
FY 825	Posicionador Válvula de control flujo de agua	
	Marca	Modelo
	Fisher	DVC6200 Positioner
FCZ 701	Actuador de la compuerta flujo aire de combustión	
	Marca	Modelo
	ABB	UP20u01100
FCV 503	Válvula de control flujo de combustible (gas)	
Tamaño	Marca	Modelo
4" - 150 lb/in ²	Fisher	V150 Actuador 1052/33
FY 503	Posicionador Válvula de control flujo de combustible (gas)	
	Marca	Modelo
	Fisher	DVC 602Q



Figura 3.11 Válvula de control flujo de gas

III.6.5 Calibración de los instrumentos.

Las estrategias de control para combustión y nivel de domo utilizan las mediciones siguientes:

1. Presión de vapor PT-802
2. Flujo de vapor FT-890
3. Flujo de gas FT-514
4. Oxígeno AIT-910
5. Flujo de agua FT-827
6. Nivel de domo LT-810

La calibración para el transmisor de Flujo de vapor (FT-890) se calcula con el software del fabricante y la hoja de resultado se muestra en la figura 3.12

La calibración para el transmisor de Flujo de gas (FT-514) se calcula con el software del fabricante y la hoja de resultado se muestra en la figura 3.13

La calibración para el transmisor de Flujo de agua (FT-827) se calcula con el software del fabricante y la hoja de resultado se muestra en la figura 3.14

La calibración para el transmisor de oxígeno (AIT-910) viene dada por el fabricante y es:

0% @ 20.5 %O₂ (4 – 20mA).

La calibración para el transmisor de presión de vapor (PT-802) es: 0 – 700 psig

La calibración para el transmisor de nivel de domo se basa en la presión diferencial que mide entre las tomas de alta (P_H) y baja presión (P_L), el controlador es programado con un algoritmo de compensación que está en función de la presión del domo. El concepto es, que la gravedad específica para el vapor y agua dentro del domo no es la misma que tiene el agua en las tomas P_H y P_L del transmisor, debido a que en las tomas hay agua sujeta a la misma presión que hay en el domo. Debido a esto, si la presión en el domo es de 49.21kg/cm² (700psig), existe un error en la medición del nivel en un 8.9%.**[8]**. Para corregir se compensa de la siguiente manera.

La ecuación 3.1 se programa en el controlador, puede verse en la figura 3.21A. (bloque “MATH897”)

Ecuación 3.1

$$m = \frac{\Delta P - (G_s - G_o)M}{(G_w - G_s)}$$

Donde:

M = Distancia desde el nivel normal de operación (NWL) y valor mínimo de nivel a medir.(100)

ΔP = Presión diferencial medida por el transmisor.(Transmisor)

Gs = Gravedad específica del vapor dentro del domo.

Gw = Gravedad específica del agua dentro del domo.

Go = Gravedad específica del agua en la pierna de referencia.

Gs -Go = Función de la presión del domo. (Datos de la curva son de tablas de vapor) (Fx)

Gw -Gs = Función de la presión del domo. (Datos de la curva son de tablas de vapor) (Fx)

La calibración para el transmisor de nivel de domo (LT-810) es: -3.08 – -98.92 %


ROSEMOUNT INC.			
1495 - Standard Orifice ASME MFC-3M-2004			
CALCULATION DATA SHEET			
			
GENERAL DATA			
Customer:			
Project:	PAPELES ULTRA		
S. O. No:			
P. O. No:			
Calc. Date:			
Model No:	1495PC100A6SA07161		
Tag No:	FE-890/FT-890		
PRODUCT DESCRIPTION			
Bore Type:	Concentric, Square Edged	Tap Type:	Flange tapping
Plate Type:	Paddle, Concentric	Tap Location:	Upstream
Plate Material:	316/316L Stainless Steel	Line Size:	10 inches (DN250)
Meter Schedule:		Pipe Schedule:	80
Process Connection:		Pipe Material:	Carbon Steel
INPUT DATA			
Fluid Type:	Steam		
Fluid Name:	Superheated		
Pipe I.D.:	9.562 inch	Base Pressure:	
Pressure at Flow:	605.000 psig	Base Temperature:	
Temperature at Flow:	705.00 F		
Absolute Viscosity:	0.02322 cP		
Isentropic Exponent:	1.291	Base Density:	
Compressibility at Flow:	0.9296	Atmospheric Pressure:	14.696 psia
Density at Flow:	0.9601 lb/ft3		
Flow Rates:			
Minimum:	50000.00 lb/hr		
Normal:	100000.00 lb/hr		
Maximum:	200000.00 lb/hr		
Full Scale:	207000.00 lb/hr		
CALCULATED DATA (Calculation Performed at Normal Conditions.)			
Orifice Bore Size:	7.149 inch	Pipe Reynolds Number (Normal):	2831379
DP at Min Flow:	14.586 inH2O@68F	Gas Expansion Factor:	0.9986
DP at Normal Flow:	58.344 inH2O@68F	Permanent Pressure Loss	
DP at Max Flow:	233.378 inH2O@68F	at Normal Flow:	26.55 inH2O@68F
URV (DP at Full Scale):	250.000 inH2O@68F	at Max Flow:	106.35 inH2O@68F
Beta:	0.7477	Velocity at Max Flow:	116.03 ft/sec
Discharge Coefficient:	0.5963		
Pipe ID (thermally corrected)	9.607 inch	Plate Thickness:	0.125 Inch
		Bore Size (thermally corrected)	7.195 inch
GUIDELINES			
Primary Element Min Limit of Use	18658.65 lb/hr	Min Recommended Pipe Reynolds:	23263.8
Max. Allow. Pressure @ Temp:	1055.5 psig	705.00 F	Recommended Min DP:
Design Pressure/Temperature:	605.000 psig	705.000 F	2.000 inH2O@68F
		Max. Allow. Temp.:	1500.000 F
WARNINGS			
NOTES			
This report is provided according to the terms and conditions of the Instrument Toolkit(TM) End-Use Customer License Agreement.			
Version: 3.0 (Build179E)		Printed On:	12-Jun-13

Figura 3.12 Hoja de Cálculo Transmisor Flujo de Vapor (FT890)

ROSEMOUNT INC.
1495 - Standard Orifice AGA3
CALCULATION DATA SHEET



GENERAL DATA

Customer:
 Project: PAPELES ULTRA
 S. O. No:
 P. O. No:
 Calc. Date:
 Model No: 1495PC060A3SA04250
 Tag No: FE-514/ FT-514

PRODUCT DESCRIPTION

Bore Type: Concentric, Square Edged	Tap Type: Flange tapping
	Tap Location: Upstream
Plate Type: Paddle, Concentric	Line Size: 6 inches (DN150)
Plate Material: 316/316L Stainless Steel	Pipe Schedule: 40
Meter Schedule:	Pipe Material: Carbon Steel
Process Connection:	

INPUT DATA

Fluid Type: Gas			
Fluid Name: Typical Natural Gas (Gulf Coast)	←		
Pipe I.D.: 6.065 inch		Base Pressure: 14.696 psia	
Pressure at Flow: 17.000 psig		Base Temperature: 60.00 F	
Temperature at Flow: 70.00 F			
Absolute Viscosity: 0.01027 cP			
Isentropic Exponent: 1.300		Base Density: 0.0444 lb/ft3	
Compressibility at Flow: 0.9957		Atmospheric Pressure: 14.696 psia	
Density at Flow: 0.0941 lb/ft3			
Flow Rates:			
Minimum: 71500.00 SCFH	←		
Normal: 143000.00 SCFH			
Maximum: 286000.00 SCFH			
Full Scale: 317000.00 SCFH	←		

CALCULATED DATA

(Calculation Performed at Normal Conditions.)

Orifice Bore Size: 4.190 inch		Pipe Reynolds Number (Normal): 643278	
		Gas Expansion Factor: 0.9901	
DP at Min Flow: 5.658 inH2O@68F	←	Permanent Pressure Loss	
DP at Normal Flow: 23.119 inH2O@68F		at Normal Flow: 12.11 inH2O@68F	
DP at Max Flow: 99.367 inH2O@68F		at Max Flow: 52.12 inH2O@68F	
URV (DP at Full Scale): 125.000 inH2O@68F	←	Velocity at Max Flow: 186.72 ft/sec	
Beta: 0.6909			
Discharge Coefficient: 0.6058			
		Plate Thickness: 0.125 Inch	
Pipe ID (thermally corrected): 6.065 inch		Bore Size (thermally corrected): 4.190 inch	

GUIDELINES

Primary Element Min Limit of Use: 9697.91 SCFH		Min Recommended Pipe Reynolds: 4000.0	
Max. Allow. Pressure @ Temp: 740.0 psig	70.00 F	Recommended Min DP: 0.100 inH2O@68F	
Design Pressure/Temperature: 17.000 psig	70.000 F	Max. Allow. Temp.: 1500.000 F	

WARNINGS

NOTES

This report is provided according to the terms and conditions of the Instrument Toolkit(TM) End-Use Customer License Agreement.

Version: 3.0 (Build179E)

Printed On:

12-Jun-13

Figura 3.13 Hoja de Cálculo Transmisor Flujo de Gas (FT514)

ROSEMOUNT INC.			
1495 - Standard Orifice ASME MFC-3M-2004			EMERSON <small>Flowmeter Technology</small>
CALCULATION DATA SHEET			
GENERAL DATA			
Customer:			
Project:	PAPELES ULTRA		
S. O. No:			
P. O. No:			
Calc. Date:			
Model No:	1495PC060A6SA03072		
Tag No:	FE-827/ FT-827		
PRODUCT DESCRIPTION			
Bore Type:	Concentric, Square Edged	Tap Type:	Flange tapping
Plate Type:	Paddle, Concentric	Tap Location:	Upstream
Plate Material:	316/316L Stainless Steel	Line Size:	6 inches (DN150)
Meter Schedule:		Pipe Schedule:	120
Process Connection:		Pipe Material:	Carbon Steel
INPUT DATA			
Fluid Type:	Liquid		
Fluid Name:	WATER	←	
Pipe I.D.:	5.501 inch		Base Pressure:
Pressure at Flow:	670.000 psig		Base Temperature:
Temperature at Flow:	365.00 F		
Absolute Viscosity:	0.14673 cP		Base Density:
Isentropic Exponent:			Atmospheric Pressure:
Compressibility at Flow:			14.696 psia
Density at Flow:	55.1893 lb/ft3		
Flow Rates:			
Minimum:	51500.00 lb/hr	←	
Normal:	103000.00 lb/hr		
Maximum:	206000.00 lb/hr		
Full Scale:	228000.00 lb/hr	←	
CALCULATED DATA (Calculation Performed at Normal Conditions.)			
Orifice Bore Size:	3.072 inch		Pipe Reynolds Number (Normal): 804375
DP at Min Flow:	10.204 inH2O@68F	←	Gas Expansion Factor: 1.0000
DP at Normal Flow:	40.816 inH2O@68F		Permanent Pressure Loss
DP at Max Flow:	163.266 inH2O@68F		at Normal Flow: 27.49 inH2O@68F
URV (DP at Full Scale):	200.000 inH2O@68F	←	at Max Flow: 109.99 inH2O@68F
Beta:	0.5585		Velocity at Max Flow: 6.28 ft/sec
Discharge Coefficient:	0.6050		
Pipe ID (thermally corrected)	5.512 inch		Plate Thickness: 0.125 inch
			Bore Size (thermally corrected) 3.081 inch
GUIDELINES			
Primary Element Min Limit of Use	8132.25 lb/hr	Min Recommended Pipe Reynolds:	7437.1
Max. Allow. Pressure @ Temp:	1280.8 psig	365.00 F	Recommended Min DP: 0.250 inH2O@68F
Design Pressure/Temperature:	670.000 psig	365.000 F	Max. Allow. Temp.: 1500.000 F
WARNINGS			
NOTES			
This report is provided according to the terms and conditions of the Instrument Toolkit(TM) End-Use Customer License Agreement.			
Version: 3.0 (Build179E)		Printed On: 24-May-13	

Figura 3.14. Hoja de Cálculo Transmisor Flujo de Agua Alimentación (FT827) 50

III.7 Pruebas

La optimización de una caldera a condiciones de bajo oxígeno requiere tres mediciones básicas:

1. Concentración de oxígeno y dióxido de carbono (O₂% y CO₂) para determinar el nivel de exceso de aire.
2. Monóxido de carbono determinará el mínimo exceso de aire requerido para una combustión completa.
3. La temperatura de gases en la chimenea determinará las pérdidas de gases en la chimenea (stack gas loss).

El procedimiento para encontrar el menor nivel de oxígeno experimental es reducir el nivel poco a poco hasta que las emisiones de monóxido de carbono (CO) se eleven hasta 400 ppm en el caso de quemar gas. [3]

El nivel mínimo experimental encontrado deberá ser comparado con el nivel recomendado del fabricante para diferentes cargas (referirse a Figura 3.16), ya que un alto nivel de oxígeno puede indicar problemas de mal funcionamiento o mal ajuste de los equipos.

Después de que se estableció el nivel de oxígeno el siguiente paso es establecer el margen apropiado de oxígeno por encima del mínimo donde la caldera pueda operar continuamente, esto es necesario porque rápidos cambios de carga pueden causar una combustión incompleta si no es adecuado ese margen.

La no repetibilidad de los controles automáticos, entienda como excesivo juego en las partes móviles de los actuadores, de las compuertas, de levas o palancas, etc. Para determinar esto es repitiendo un punto de carga alto, bajamos carga y volvemos a subir comparando el oxígeno una vez que estabilice debe llegar a lo mismo, si no es así podemos pensar en algún problema en los equipos.

Las variaciones extremas de condiciones atmosféricas pueden causar cambios en el oxígeno de +/-1% o más.

Las fluctuaciones en las propiedades del gas pueden modificar los requerimientos de oxígeno.

III.7.1 Preparación de las pruebas a realizar.

- Requerimiento de personal disponible suficiente para monitorear continua y simultáneamente los controles, la instrumentación, la apariencia de la flama y las condiciones de la chimenea.
- Todos los instrumentos requeridos y equipos de medición deberán ser chequeados para una operación apropiada, es decir; deberán estar calibrados y probados.
- La toma de datos y mediciones, éste se enfoca en la medición de las condiciones de combustión y suministro de oxígeno a la caldera al incrementar carga a ésta.
- El personal debe estar instruido en tomar los datos únicamente en condiciones estables de la caldera y hacerlo simultáneamente.
- Manuales de la caldera, los manuales de operación y mantenimiento para los equipos deberán estar marcadas las secciones pertinentes para una rápida referencia durante las pruebas y ajuste de la caldera. Los manuales deberán ser revizados para los aparentes conflictos con el procedimiento de ajuste.
- Corte el servicio de vapor, la combustión es controlada manualmente durante las pruebas para obtener condiciones estables y presión de vapor constante, dependiendo en la cantidad de carga de vapor generado puede ser mayor o menor que la demanda de vapor, en tal caso debemos descargar el exceso de vapor durante las condiciones de alta carga o el suministro de vapor puede temporalmente ser cerrado en condiciones de combustión a baja carga.

III.7.2 Revisión de seguridad antes de las pruebas.

- Todos los cortes (interlocks) y límites de seguridad están operando y funcionando adecuadamente.
- Los electrodos del piloto se han ajustado satisfactoriamente.
- La presión de combustible y nivel de la caldera está dentro del rango de operación aceptable.
- El color y dirección de la flama indica condiciones de combustión satisfactoria.
- La operación y condición de la combustión es estable.
- Conocer el impacto en todo momento de cualquier ajuste en el flujo de combustible o aire y del sistema de control.
- Estar alerta de cualquier cambio en la presión del combustible ya que esto afecta al quemador y produce un efecto incontrolable en el exceso de oxígeno.

- Extremar precauciones cuando se hacen cambios de oxígeno cercanos al límite de CO; hacerse en muy pequeños pasos, ya que acercarse y alcanzar el oxígeno mínimo es una condición potencialmente inestable que puede ocurrir con pequeños cambios de oxígeno.
- No se recomienda ajustar el sistema de control mientras opera a baja carga, ya que los requerimientos a condiciones de bajo fuego usualmente están dictados por las características de ignición de la flama en lugar de la combustión eficiente.
- Observar y mantener el nivel apropiado en la caldera ya que si es muy bajo puede dejar expuesta la superficie de transferencia de calor y explotar la caldera o dañarse.
- Mirar muy de cerca la instrumentación de la caldera mientras se hace cualquier cambio y observar frecuentemente la apariencia de la flama como indicador de la combustión.

III.7.3 Procedimiento paso a paso.

Operar la caldera al nivel de carga requerido por la tabla 3.5 con los controles de combustión en modo manual. asegurar que todos los límites de corte estén funcionando.

Al subir la carga de la caldera el procedimiento es abrir primero la compuerta del aire y después la válvula de flujo del gas.

Tome lectura del analizador de gases y del analizador de oxígeno de la caldera, si el oxígeno está cercano o por debajo de su valor recomendado por el fabricante, asegure que el límite de CO esté dentro de 400 ppm **[3]**; es totalmente posible que estemos operando dentro del óptimo exceso de oxígeno para esta carga en particular.

En cambio si el nivel de CO está muy por debajo del límite de 400 ppm **[3]** el exceso de aire deberá estar muy alto del valor recomendado para este combustible, por lo tanto es necesario cerrar la compuerta de flujo de aire hasta reducir el exceso de aire y aumentar el CO sin cruzar el límite.

Después de que la caldera ha estabilizado, observe las condiciones de flama y tome una lectura completa de todos los parámetros de la tabla 3.5. Esto establece las condiciones de operación existente a esta carga en particular. La eficiencia de la caldera está prácticamente en la cumbre de la eficiencia, lo cual ocurre cerca del mínimo exceso de oxígeno

Aumente la carga al siguiente valor dictado por la tabla 3.5, y repita para cada nivel de demanda de la caldera.

Al llegar al 100% de la demanda y con todos las lecturas tomadas procedemos a la construcción de la curva característica de la caldera. Tabla 3.6

Para asegurar que la eficiencia se mantiene dentro del valor adecuado, es necesario programar un ajuste automático de oxígeno que compensa las variaciones de poder calorífico del combustible y la humedad del aire, con los datos obtenidos se constriye la tabla 3.7 la cuál está programada en la figura 3.19A

Una vez descargada la curva de caracterización en el control de combustión ya estamos en posibilidad de poner en automático el control de combustión.

Ahora se verifica que los nuevos ajustes sean aceptables durante todos los cambios de carga que ocurran, provocar cambios de carga bruscos y observar la flama y la chimenea para buscar cualquier condición inaceptable. Si se detecta alguna condición así, se ajusta ligeramente más o menos valor de oxígeno a la condición particular que se presente.

Tabla 3.5. Pruebas de combustión

Datos experimentales - Pruebas de combustión												
Presion domo	Flujo agua		Flujo vapor			Flujo gas			Flujo aire		O2 Teórico	O2 Real
PT-802	FT-827	FT-827	FT-890	FT-890		FT-514	FT-514	Válvula GAS	FT-703	compuerta VTF	AIT-910	AIT-910
(kg/cm²)	(t/h)	%	(t/h)	%	% LOAD (t/h) Teórico	(%)	8100m³/h	(%)	(%)	(%)	(%) Teórico	(%)
	No son estables las mediciones				11 (9.5)							
42.9	19.1	20.4	18	19.8	20 (18.2)	18.6	1510	34.5	35.7	13	6.3	6.2
43.2	33.2	35.5	32	35.3	30 (27.3)	31.3	2532	38	38.3	14	5.2	5.3
43.4	42.2	45.2	41	45.2	40 (36.3)	40.6	3287	44	41.9	15.5	4.2	4.15
43.5	43.2	46.2	42	46.3	45(40.85)	42.2	3418	45.2	42	15.5	3.55	3.5
43	48	51.4	47	51.8	50(45.4)	46.7	3783	49	44.8	16.5	3.5	3.5
43.1	52.4	56.1	51	56.2	55 (49.9)	51.0	4130	51.3	47.1	17.5	3.3	3.3
43.4	54.4	58.2	53	58.4	60(54.5)	51.9	4205	55.5	47.6	18	3	3
42.8	64.3	68.8	63	69.4	70(63.5)	62.3	5045	60	50.2	20	3	3

Tabla 3.6 Curva de caracterización

<i>Flujo Aire</i>	<i>Flujo Gas</i>
<i>FT-703</i>	<i>FT-514</i>
(%)	(%)
35.7	18.6
38.3	31.3
41.9	40.6
42	42.2
44.8	46.7
47.1	51
47.6	51.9
50.2	62.3

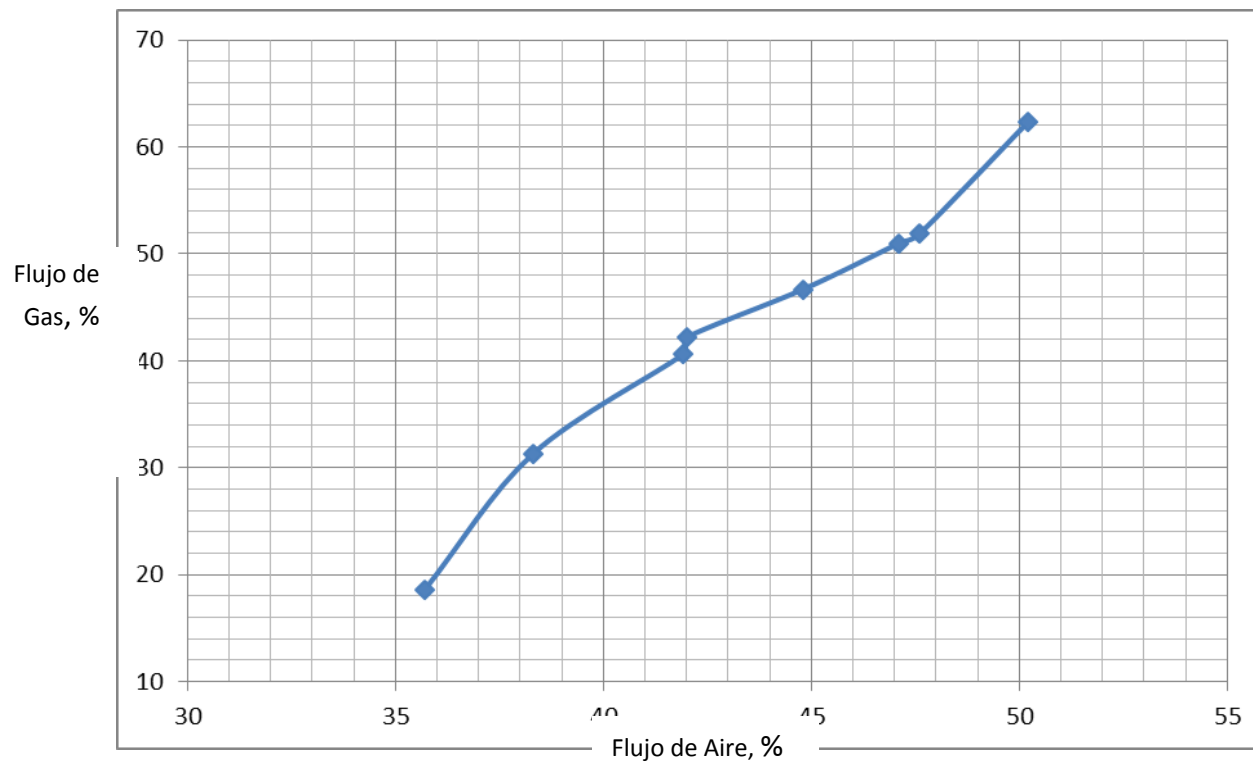


Figura 3.15 Curva de caracterización

Oxígeno Teórico

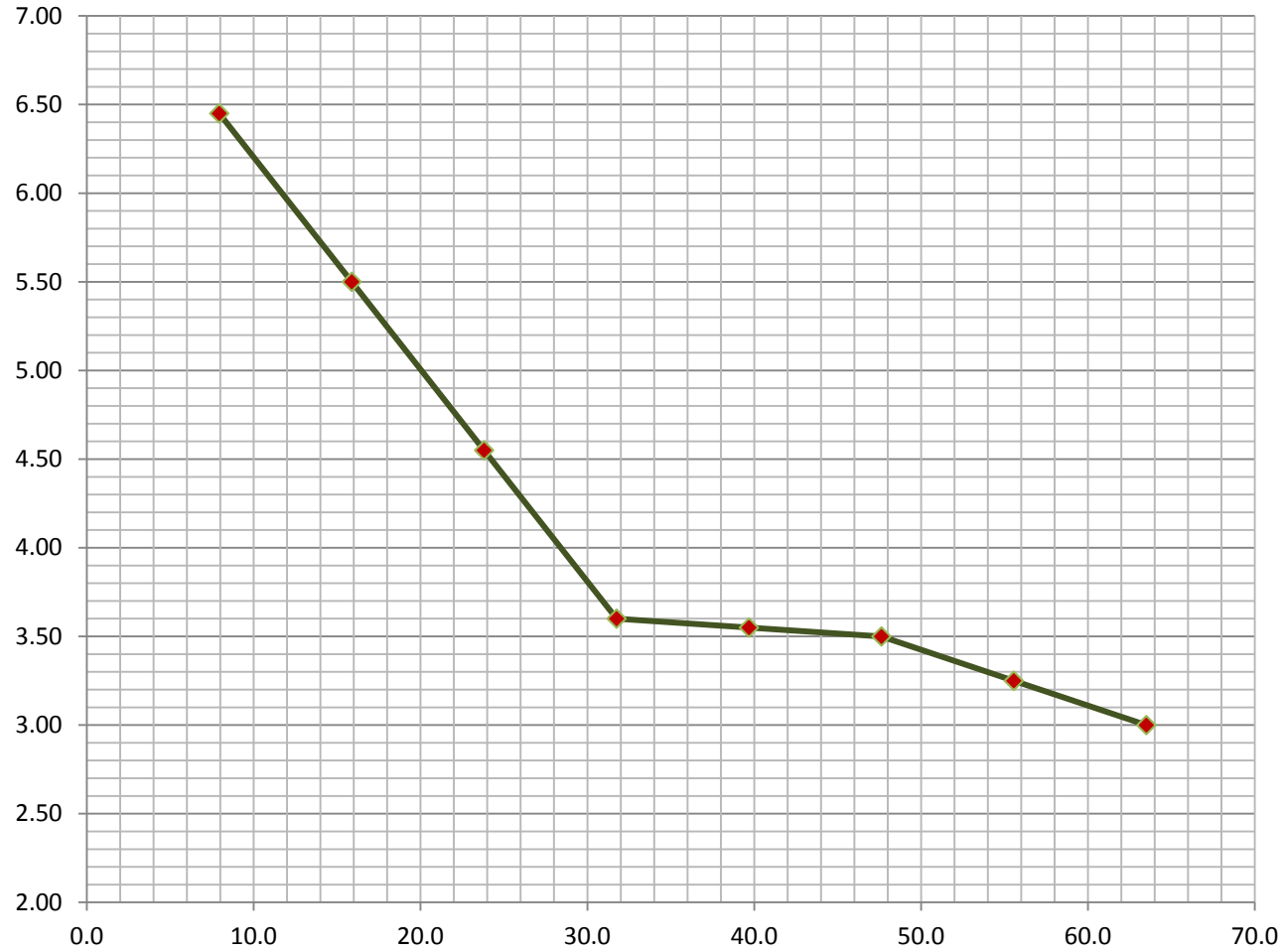


Figura 3.16 Curva de oxígeno vs Flujo de vapor

Tabla 3.7 Curva de oxígeno vs Flujo de vapor

<i>Flujo Vapor</i>	<i>Oxígeno</i>
<i>FT-890</i>	<i>AIT-910</i>
<i>(%)</i>	<i>(%)</i>
19.8	6.2
35.3	5.3
45.2	4.15
46.3	3.5
51.8	3.5
56.2	3.3
58.4	3
69.4	3

III.8 Resultados

III.8.1 Evaluación del sistema de control.

La observación de algunos parámetros nos indicará cuando existen problemas con el sistema de control de la caldera.

Una vez que se ha realizado la fase de pruebas y se ha programado el controlador con las curvas de caracterización y oxígeno, ya está en condiciones de pasar a automático el control de combustión.

1. Pasamos a AUTO el control de FLUJO AIRE, y no debe variar la medición de flujo en más de un 3%. Si no es así debemos ajustar las ganancias del PID partiendo de los valores de referencia que se tienen de la caldera anterior, podemos ajustar +/- 0.5 la ganancia proporcional, hasta lograr que la medición de aire se mantenga estable.
2. Pasamos a AUTO el control de FLUJO GAS, y no debe variar la medición de flujo en más de un 3%. Si no es así debemos ajustar las ganancias del PID partiendo de los valores de referencia que se tienen de la caldera anterior, podemos ajustar +/- 0.5 la ganancia proporcional, hasta lograr que la medición de gas se mantenga estable.
3. Pasamos a AUTO el control MAESTRO y la presión de la caldera debe mantenerse dentro de una variación de +/- 0.2 Kg/cm² máximo.
4. Pasamos a AUTO el control OXÍGENO y debe mantener la salida del control en un valor cercano a 50% debería mantenerse entre 25% y 75% indicando así, que está dentro de los valores programados.
5. La carga de la caldera al moverse al menos un 20 %, la presión de vapor debe mantenerse en el mismo rango de variación. Lo mismo para el oxígeno
6. La medición de exceso de oxígeno debe controlarse dentro de los valores programados para garantizar la eficiencia de la caldera.

III.8.2 Ajuste de PID

La programación de los lazos de control de aire, maestro, oxígeno, gas, nivel y flujo de agua se muestran en las siguientes figuras. Los parámetros de sintonía de los bloques PID para esos controles, se ajustan usando como referencia los valores ya conocidos de una caldera similar anterior, los valores actuales para cada lazo de control están en las siguientes figuras:

Control de AIRE	Figura 3.17B.
Control MAESTRO	Figura 3.18B
Control OXIGENO	Figura 3.19B
Control GAS	Figura 3.20B
Control NIVEL	Figura 3.21B
Control FLUJO DE AGUA	Figura 3.22

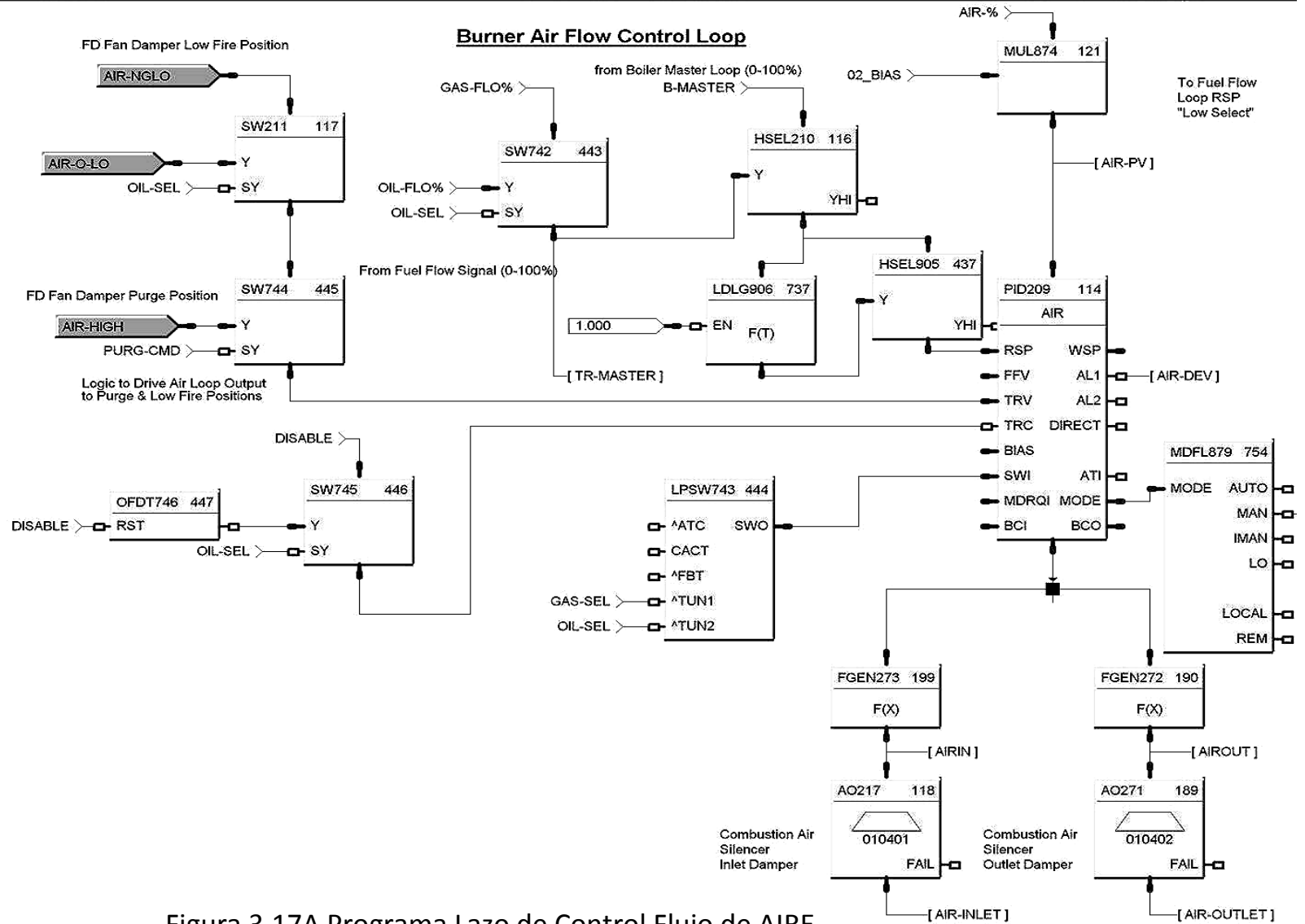


Figura 3.17A Programa Lazo de Control Flujo de AIRE

Block Parameter Report

PID209	Exec Order 114	AIR	Air Flow Control
Engineering units	%	RSP units type	ENG UNITS
Decimal Places	1	Ratio / Bias type	No Ratio or Bias
Algorithm	PID A	Local Bias	0.00
Direction	Reverse	Ratio	1.00
SP Tracking	None	Gain	0.20
Automatic mode is permitted	YES	Reset (minutes)	0.40
Local SP is permitted	NO	Rate (minutes)	0.00
Remote SP is permitted	YES	Gain 2	0.80
Manual mode is permitted	YES	Reset 2 (minutes)	0.13
Initial Mode	Auto	Rate 2 (minutes)	0.00
Power up mode	Retain Last Mode	Manual Reset	0.00
Setpoint initial mode	Remote Setpoint	Accutune III	Disable
Setpoint power up mode	Retain Last LSP/RSP	Fuzzy	OFF
Power Up Output	FAILSAFE	Criteria	Normal
Failsafe Out	0.00	Duplex Tuning	Manual
Use initial LSP value	Default LSP	SP Step Change	5.00
PV high range	100.00	SP Tune Step Direction	Up
PV low range	0.00	Process Gain	1.00
SP high limit	100.00	PV Adaptive Tuning	Disable
SP low limit	0.00	Alarm 1 Setpoint 1	DEV HIGH, 15.00
Output High Limit	100.00	Alarm 1 Setpoint 2	DEV LOW, 15.00
Output Low Limit	6.00	Alarm 2 Setpoint 1	NO ALARM, 5.00
SP rate limit down	0.00	Alarm 2 Setpoint 2	NO ALARM, 0.00
SP rate limit up	0.00	Alarm Hysteresis (%)	0.50

Figura 3.17B. Parámetros de Ajuste PID Lazo de Control Flujo de AIRE.

Los parámetros en el bloque PID:

Unidades de ingeniería (Engineering Units), es en % para el flujo de aire, porque deben escalarse igual que el flujo de combustible, es decir los dos PID deben trabajar con la misma escala.

Dirección (Direction) del PID es inverso (Reverse) porque al aumentar la variable de proceso (PV) la acción del PID hace que la salida disminuya.

El Rango Bajo (PV Low) y Rango Alto (PV High) van de 0 – 100 (%), por lo tanto el setpoint también. (SP high Limit) en 100 y (SP low limit) en 0.

En el parámetro límite de salida bajo (output low limit) el valor es de 6% porque físicamente lo que mueve es una compuerta de un ventilador, por lo tanto no puede estar totalmente cerrado ya que mecánicamente el ventilador necesita un mínimo de apertura.

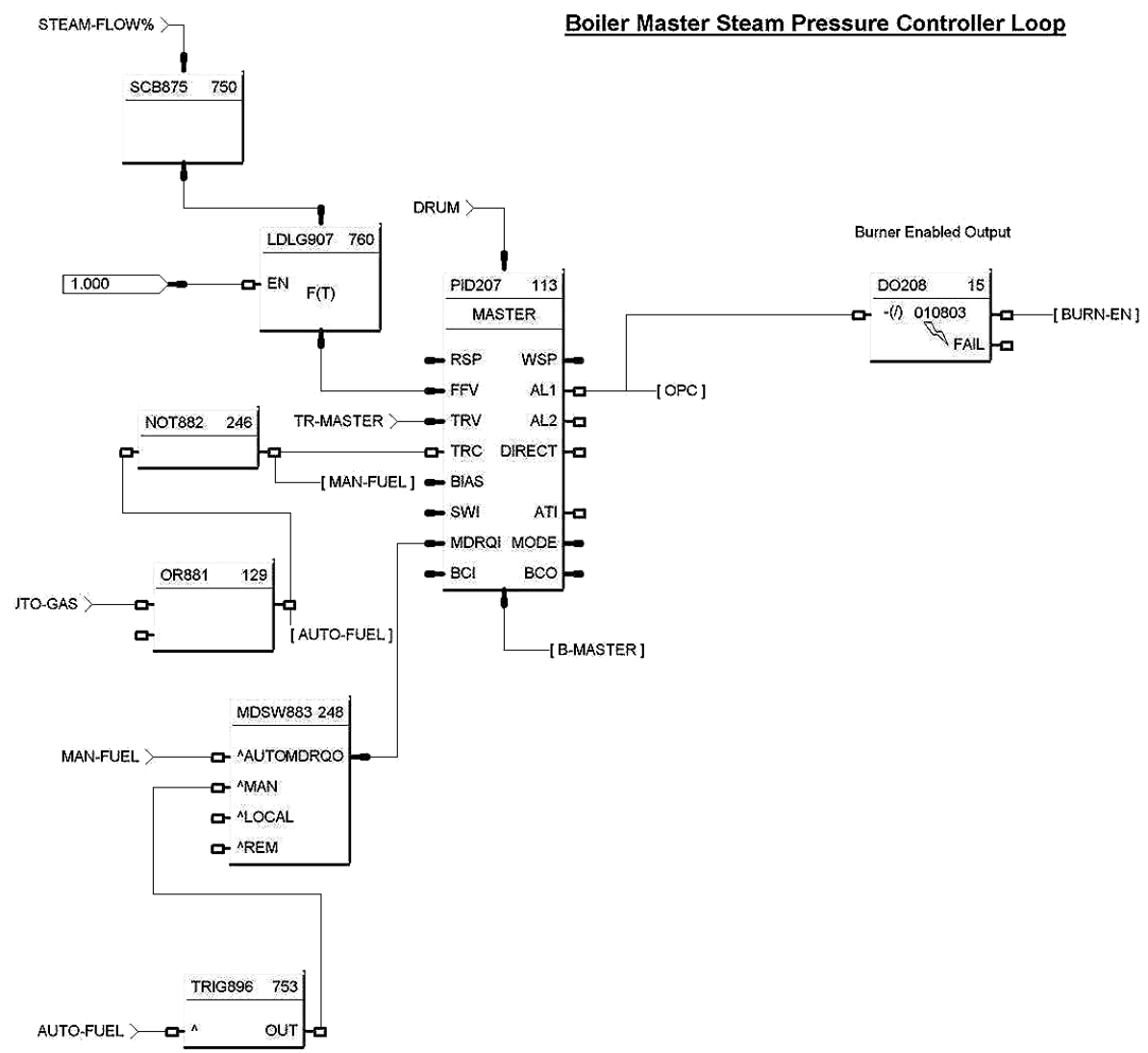


Figura 3.18A Programa Lazo de Control MAESTRO (PRESIÓN)

Block Parameter Report

PID207	Exec Order 113	MASTER	Boiler Master
Engineering units	kg/cm ²	RSP units type	ENG UNITS
Decimal Places	1	Ratio / Bias type	No Ratio or Bias
Algorithm	PID A	Local Bias	0.00
Direction	Reverse	Ratio	1.00
SP Tracking	None	Gain	2.50
Automatic mode is permitted	YES	Reset (minutes)	5.60
Local SP is permitted	YES	Rate (minutes)	0.00
Remote SP is permitted	NO	Gain 2	1.00
Manual mode is permitted	YES	Reset 2 (minutes)	0.00
Initial Mode	Manual	Rate 2 (minutes)	0.00
Power up mode	Manual	Manual Reset	0.00
Setpoint initial mode	Local Setpoint	Accutune III	Disable
Setpoint power up mode	Local Setpoint	Fuzzy	ON
Power Up Output	FAILSAFE	Criteria	Normal
Failsafe Out	0.00	Duplex Tuning	Manual
Use initial LSP value	Default LSP	SP Step Change	5.00
PV high range	49.20	SP Tune Step Direction	Up
PV low range	0.00	Process Gain	1.00
SP high limit	49.20	PV Adaptive Tuning	Disable
SP low limit	0.00	Alarm 1 Setpoint 1	DEV HIGH, 25.00
Output High Limit	62.30	Alarm 1 Setpoint 2	NO ALARM, 0.00
Output Low Limit	0.00	Alarm 2 Setpoint 1	NO ALARM, 0.00
SP rate limit down	0.00	Alarm 2 Setpoint 2	NO ALARM, 0.00
SP rate limit up	0.00	Alarm Hysteresis (%)	2.00

FIGURA 3.18B Parámetros de Ajuste PID Lazo de Control MAESTRO

Los parámetros en el bloque PID:

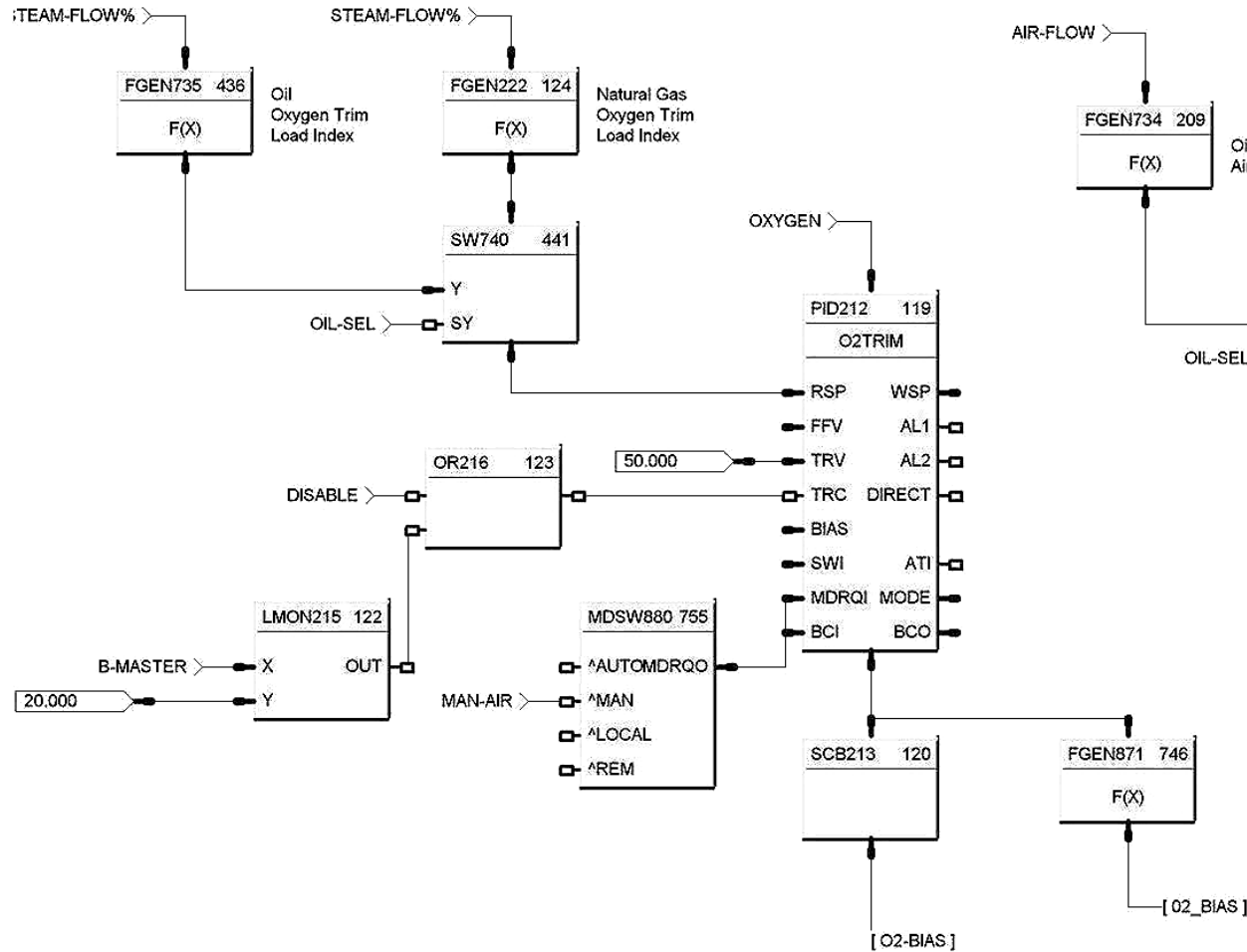
Unidades de ingeniería (Engineering Units), es en kg/cm² para el control MAESTRO, porque la presión es la variable principal a controlar.

Dirección (Direction) del PID es inverso (Reverse) porque al aumentar la variable de proceso (PV) la acción del PID hace que la salida disminuya.

El Rango Bajo (PV Low) y Rango Alto (PV High) van de 0 – 49.2 (kg/cm²), por lo tanto el setpoint también. (SP high Limit) en 49.2 kg/cm² y (SP low limit) en 0.

En el parámetro límite de salida alto (output high limit) el valor es de 50% porque físicamente lo que mueve es el setpoint de la combustión (AIRE-COMBUSTIBLE), por lo tanto es el setpoint máximo que puede dar.

Burner Oxygen Trim Loop



Burner Air/Fuel Ratio Curves

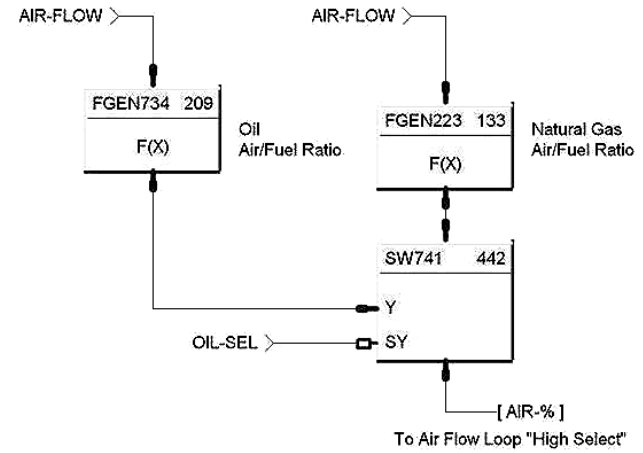


Figura 3.19A Programa Lazo de Control OXIGENO Y CURVA CARACTERISTICA

Block Parameter Report

PID212	Exec. Order 119	O2TRIM	Oxygen Trim
	Engineering units	%	RSP units type ENG UNITS
	Decimal Places	1	Ratio / Bias type No Ratio or Bias
	Algorithm	PID A	Local Bias 0.00
	Direction	Reverse	Ratio 1.00
	SP Tracking	None	Gain 0.50
	Automatic mode is permitted	YES	Reset (minutes) 1.05
	Local SP is permitted	NO	Rate (minutes) 0.00
	Remote SP is permitted	YES	Gain 2 1.00
	Manual mode is permitted	YES	Reset 2 (minutes) 0.00
	Initial Mode	Manual	Rate 2 (minutes) 0.00
	Power up mode	Manual	Manual Reset 0.00
	Setpoint initial mode	Remote Setpoint	Accutune III Disable
	Setpoint power up mode	Retain Last LSP/RSP	Fuzzy OFF
	Power Up Output	FAILSAFE	Criteria Normal
	Failsafe Out	50.00	Duplex Tuning Manual
	Use initial LSP value	Default LSP	SP Step Change 5.00
	PV high range	21.00	SP Tune Step Direction Up
	PV low range	0.00	Process Gain 1.00
	SP high limit	21.00	PV Adaptive Tuning Disable
	SP low limit	0.00	Alarm 1 Setpoint 1 NO ALARM, 0.00
	Output High Limit	100.00	Alarm 1 Setpoint 2 NO ALARM, 0.00
	Output Low Limit	0.00	Alarm 2 Setpoint 1 NO ALARM, 0.00
	SP rate limit down	0.00	Alarm 2 Setpoint 2 NO ALARM, 0.00
	SP rate limit up	0.00	Alarm Hysteresis (%) 0.00

Figura 3.19B Parámetros de Ajuste PID lazo de control Oxígeno

Los parámetros en el bloque PID:

Unidades de ingeniería (Engineering Units), es en % para el control de OXIGENO, porque es la unidad en que se mide.

Dirección (Direction) del PID es inverso (Reverse) porque al aumentar la variable de proceso (PV) la acción del PID hace que la salida disminuya.

El Rango Bajo (PV Low) y Rango Alto (PV High) van de 0 – 21 (%), por lo tanto el setpoint también. (SP high Limit) en 21 (%) y (SP low limit) en 0 (%).

En el parámetro límite de salida alto (output high limit) el valor es de 100% porque físicamente lo que mueve es una compensación, donde 0 es -20% de compensación, 50% es cero de compensación y 100% es +20% de compensación. Esta compensación es una estrategia que ajusta el oxígeno de los gases de combustión, para que permanezca dentro de el valor programado, y siempre trabaje la caldera con la mayor eficiencia.

File Name: HC900-C50 Rev 4.4x : BOILER Babcock & Wilcox.cde

Controller: BOILER

Title: Control Combustion Babcock & Wilco

Author: Jack Valentine - Ponder Burner Co.

FLUJO DE AIRE, %

FLUJO DE GAS, %

FGEN223		Exec Order 133	
Breakpoint In 1	0.00	Breakpoint Out 1	0.00
Breakpoint In 2	35.70	Breakpoint Out 2	18.60
Breakpoint In 3	38.30	Breakpoint Out 3	31.30
Breakpoint In 4	41.90	Breakpoint Out 4	40.60
Breakpoint In 5	42.00	Breakpoint Out 5	42.20
Breakpoint In 6	44.80	Breakpoint Out 6	46.70
Breakpoint In 7	47.10	Breakpoint Out 7	51.00
Breakpoint In 8	47.60	Breakpoint Out 8	51.90
Breakpoint In 9	50.20	Breakpoint Out 9	62.30
Breakpoint In 10	50.20	Breakpoint Out 10	62.30
Breakpoint In 11	50.20	Breakpoint Out 11	62.30

Figura 3.19C Parámetros de Ajuste Programados en el Controlador.

Los parámetros en el bloque FGEN (generador de curva):

Los valores de entrada (breakpoint In) representan el flujo de aire medido en %, los valores de salida (breakpoint out) representan los valores de flujo de combustible medido también en %. Valores de la tabla 3.6

Burner Gas Flow Control Loop

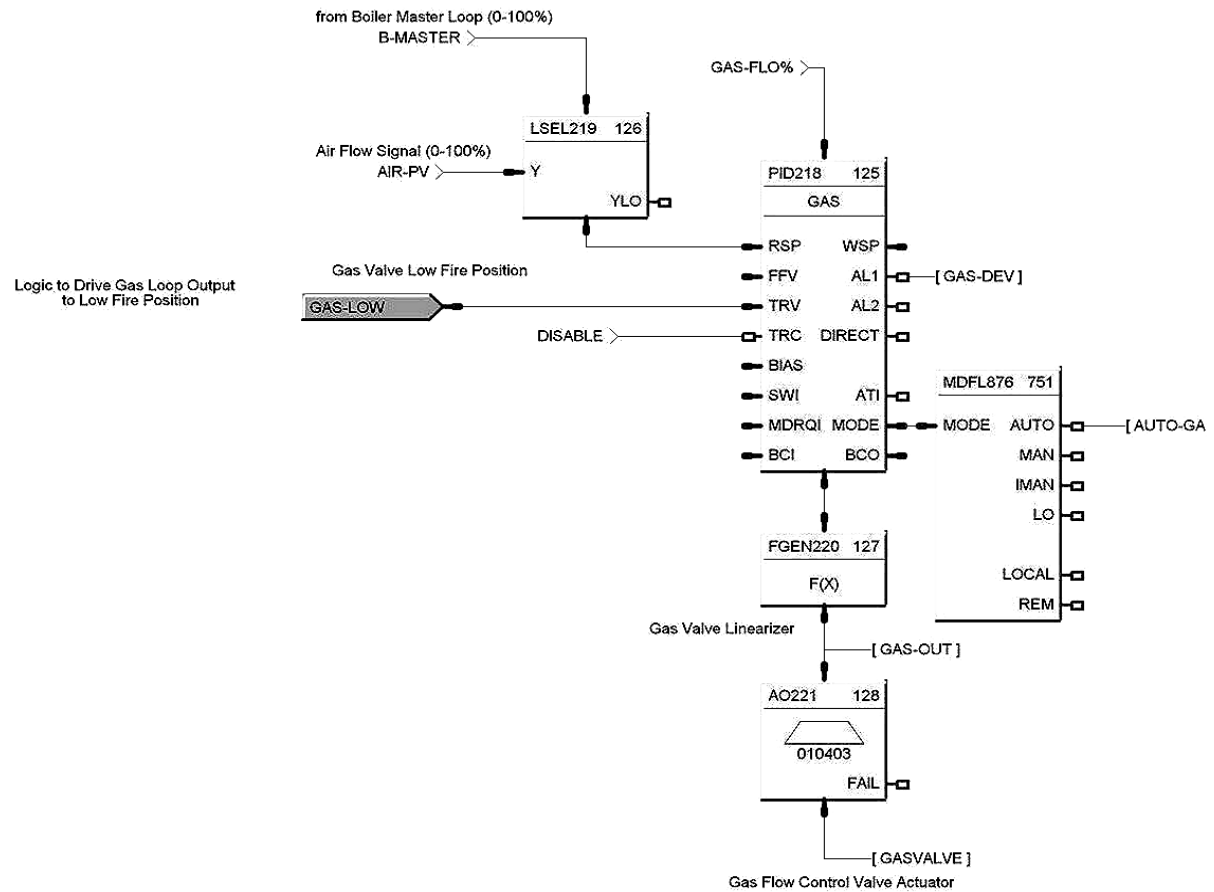


Figura 3.20A Programa Lazo de Control Flujo de GAS

Block Parameter Report

PID218	Exec Order 125	GAS	Gas Flow Control
Engineering units	%		RSP units type ENG UNITS
Decimal Places	1		Ratio / Bias type No Ratio or Bias
Algorithm	PID A		Local Bias 0.00
Direction	Reverse		Ratio 1.00
SP Tracking	None		Gain 0.60
Automatic mode is permitted	YES		Reset (minutes) 0.50
Local SP is permitted	NO		Rate (minutes) 0.00
Remote SP is permitted	YES		Gain 2 0.50
Manual mode is permitted	YES		Reset 2 (minutes) 0.90
Initial Mode	Auto		Rate 2 (minutes) 0.00
Power up mode	Retain Last Mode		Manual Reset 0.00
Setpoint initial mode	Remote Setpoint		Accutune III Disable
Setpoint power up mode	Retain Last LSP/RSP		Fuzzy OFF
Power Up Output	FAILSAFE		Criteria Normal
Failsafe Out	0.00		Duplex Tuning Manual
Use initial LSP value	Default LSP		SP Step Change 5.00
PV high range	100.00		SP Tune Step Direction Up
PV low range	0.00		Process Gain 1.00
SP high limit	100.00		PV Adaptive Tuning Disable
SP low limit	0.00		Alarm 1 Setpoint 1 DEV HIGH, 15.00
Output High Limit	100.00		Alarm 1 Setpoint 2 DEV LOW, 15.00
Output Low Limit	16.00		Alarm 2 Setpoint 1 NO ALARM, 5.00
SP rate limit down	0.00		Alarm 2 Setpoint 2 NO ALARM, 0.00
SP rate limit up	0.00		Alarm Hysteresis (%) 0.50

Figura 3.20B Parámetros de Ajuste PID Lazo de Control Gas

Los parámetros en el bloque PID:

Unidades de ingeniería (Engineering Units), es en % para el flujo de gas, porque deben escalarse igual que el flujo de aire, es decir los dos PID deben trabajar con la misma escala.

Dirección (Direction) del PID es inverso (Reverse) porque al aumentar la variable de proceso (PV) la acción del PID hace que la salida disminuya.

El Rango Bajo (PV Low) y Rango Alto (PV High) van de 0 – 100 (%), por lo tanto el setpoint también. (SP high Limit) en 100 y (SP low limit) en 0.

En el parámetro límite de salida bajo (output low limit) el valor es de 16% porque físicamente lo que mueve es una válvula automática, por lo tanto no puede estar totalmente cerrada ya que necesita un mínimo de apertura al inicio para encender el quemador.

Boiler Drum Level Control Loop

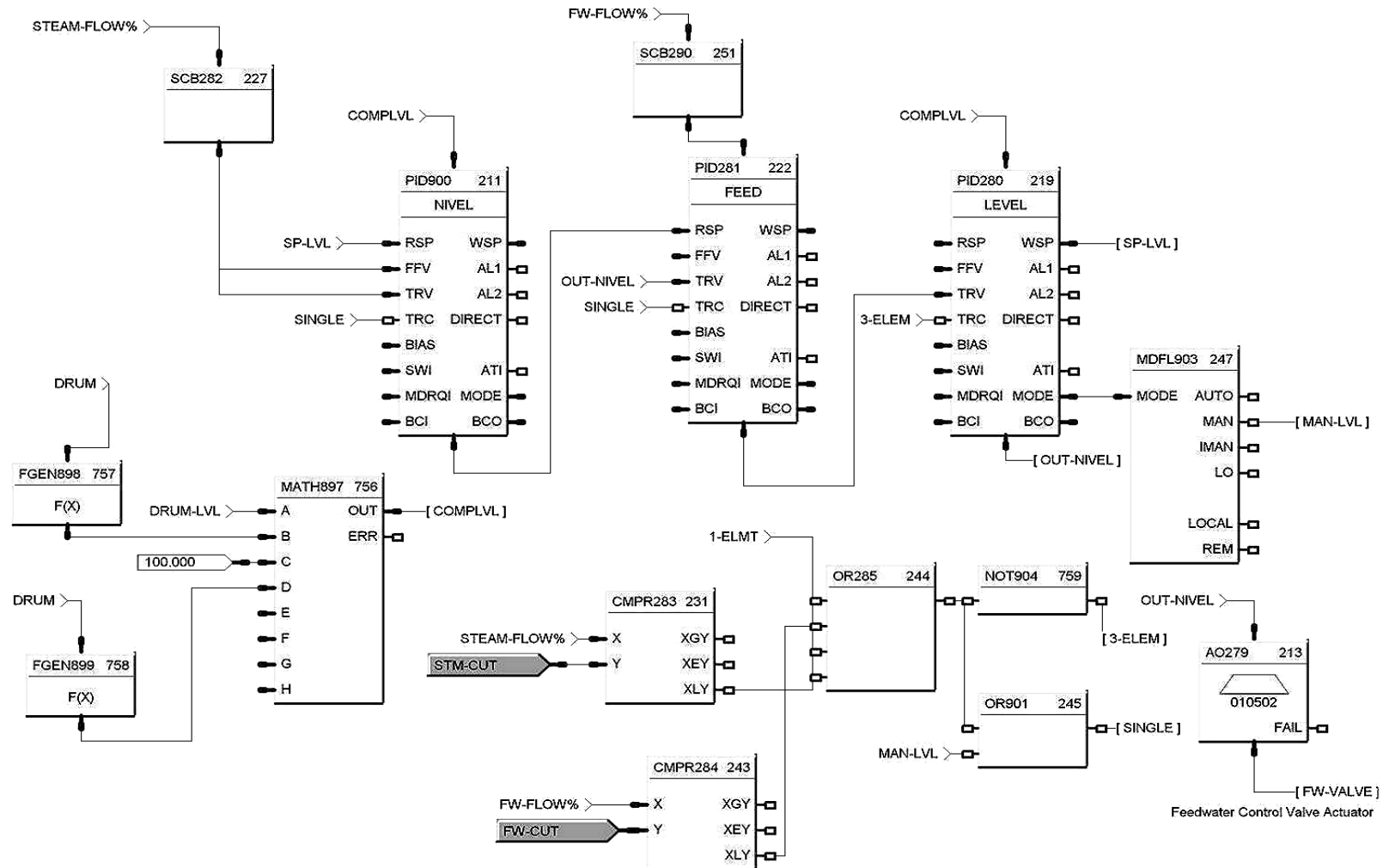


Figura 3.21A Programa Lazo de Control de NIVEL

Block Parameter Report

PID280	Exec Order 219	LEVEL	Drum Level
Engineering units	%	RSP units type	ENG UNITS
Decimal Places	1	Ratio / Bias type	No Ratio or Bias
Algorithm	PID A	Local Bias	0.00
Direction	Reverse	Ratio	1.00
SP Tracking	None	Gain	2.25
Automatic mode is permitted	YES	Reset (minutes)	5.00
Local SP is permitted	YES	Rate (minutes)	0.00
Remote SP is permitted	NO	Gain 2	1.00
Manual mode is permitted	YES	Reset 2 (minutes)	0.00
Initial Mode	Auto	Rate 2 (minutes)	0.00
Power up mode	Retain Last Mode	Manual Reset	0.00
Setpoint initial mode	Local Setpoint	Accutune III	Disable
Setpoint power up mode	Local Setpoint	Fuzzy	OFF
Power Up Output	FAILSAFE	Criteria	Normal
Failsafe Out	0.00	Duplex Tuning	Manual
Use initial LSP value	Default LSP	SP Step Change	5.00
PV high range	100.00	SP Tune Step Direction	Up
PV low range	0.00	Process Gain	1.00
SP high limit	80.00	PV Adaptive Tuning	Disable
SP low limit	30.00	Alarm 1 Setpoint 1	NO ALARM, 0.00
Output High Limit	100.00	Alarm 1 Setpoint 2	NO ALARM, 0.00
Output Low Limit	0.00	Alarm 2 Setpoint 1	NO ALARM, 0.00
SP rate limit down	0.00	Alarm 2 Setpoint 2	NO ALARM, 0.00
SP rate limit up	0.00	Alarm Hysteresis (%)	0.00

Figura 3.21B. Parámetros de Ajuste PID Lazo de Control NIVEL

Los parámetros en el bloque PID:

Unidades de ingeniería (Engineering Units), es en % para el control de nivel, porque el máximo nivel es 100%

Dirección (Direction) del PID es inverso (Reverse) porque al aumentar la variable de proceso (PV) la acción del PID hace que la salida disminuya.

El Rango Bajo (PV Low) y Rango Alto (PV High) van de 0 – 100 (%), por lo tanto el setpoint también. (SP high Limit) en 100 y (SP low limit) en 0.

En el parámetro límite de salida bajo (output low limit) el valor es de 0% porque físicamente lo que mueve es una válvula automática, por lo tanto debe cerrar totalmente y el límite de salida alto (output high limit) en su caso abrir al 100%

Block Parameter Report

PID281	Exec Order 222	FEED	Feedwater
Engineering units	%		RSP units type ENG UNITS
Decimal Places	1		Ratio / Bias type No Ratio or Bias
Algorithm	PID A		Local Bias 0.00
Direction	Reverse		Ratio 1.00
SP Tracking	None		Gain 0.25
Automatic mode is permitted	YES		Reset (minutes) 0.10
Local SP is permitted	NO		Rate (minutes) 0.00
Remote SP is permitted	YES		Gain 2 4.50
Manual mode is permitted	NO		Reset 2 (minutes) 3.00
Initial Mode	Auto		Rate 2 (minutes) 0.00
Power up mode	Retain Last Mode		Manual Reset 0.00
Setpoint initial mode	Remote Setpoint		Accutune III SP Tuning
Setpoint power up mode	Retain Last LSP/RSP		Fuzzy OFF
Power Up Output	FAILSAFE		Criteria Normal
Failsafe Out	0.00		Duplex Tuning Manual
Use initial LSP value	Default LSP		SP Step Change 5.00
PV high range	100.00		SP Tune Step Direction Up
PV low range	0.00		Process Gain 1.00
SP high limit	100.00		PV Adaptive Tuning Disable
SP low limit	0.00		Alarm 1 Setpoint 1 NO ALARM, 0.00
Output High Limit	100.00		Alarm 1 Setpoint 2 NO ALARM, 0.00
Output Low Limit	0.00		Alarm 2 Setpoint 1 NO ALARM, 0.00
SP rate limit down	0.00		Alarm 2 Setpoint 2 NO ALARM, 0.00
SP rate limit up	0.00		Alarm Hysteresis (%) 0.00

Figura 3.22. Parámetros de Ajuste PID Lazo de Control FLUJO DE AGUA

Los parámetros en el bloque PID:

Unidades de ingeniería (Engineering Units), es en % para el control de flujo de agua, porque es una variable que se balancea con el flujo de vapor que sale de la caldera, y también es en por ciento (%)

Dirección (Direction) del PID es inverso (Reverse) porque al aumentar la variable de proceso (PV) la acción del PID hace que la salida disminuya.

El Rango Bajo (PV Low) y Rango Alto (PV High) van de 0 – 100 (%), por lo tanto el setpoint también. (SP high Limit) en 100 y (SP low limit) en 0.

En el parámetro límite de salida bajo (output low limit) el valor es de 0% porque físicamente lo que mueve es una válvula automática, por lo tanto debe cerrar totalmente y el límite de salida alto (output high limit) en su caso abrir al 100%

III.8.3 Conclusión

- El control de aire y combustible deberá estar en automático todo el tiempo.
- El contenido de oxígeno, no debe estar por encima de los datos programados.
- Al cambio de carga de 30% a 60% el oxígeno y la presión de vapor, no pueden variar más de un 2%.

CAPÍTULO 4

Capítulo IV. Análisis Técnico-Económico del proyecto.

Como regla general la eficiencia de la caldera puede aumentar en 1% por cada 1.3% en la reducción de O₂% (15 % en reducción del exceso de aire) o por cada 40°C de reducción en la temperatura de gases en la chimenea. [4]

El propósito de la puesta en marcha a la caldera es ubicarla en la mejor condición de sintonización posible y alcanzar la máxima eficiencia de la caldera, ya en la marcha establecer estándares de medición y desempeño que reflejen la operación eficiente de la caldera. Rutinas de revisión y medición que registren la calidad en la combustión pueden compararse con los estándares establecidos y mantener así una alta eficiencia en la caldera, detectando así cualquier deterioro en su desempeño. Frecuentes revisiones reducirán la posibilidad de presentarse una condición que deteriore la eficiencia al punto que signifique desperdicio de combustible o contaminación al aire.

A partir de la eficiencia calculada por el fabricante obtenemos los datos de la tabla 4.1, posteriormente calcularemos la eficiencia por el método directo utilizando los datos de las pruebas de combustión, determinando así en que condiciones de eficiencia esta operando la caldera.

Tabla 4.1 Cálculos de Desempeño Dados por el Fabricante

Flujo de gas	Flujo Vapor FT-890	Entalpia vapor	Entalpia agua	EFICIENCIA Teórica
cfm	(lb/h)	hv, btu/lb	ha, btu/lb	%
818	35000	1354	264.3	82.6
1642	70000	1360	257	82.8
2485	105000	1366	260.8	82.5
3339	140000	1372	265.4	82.2

Tabla 4.1.2 Cambio de Unidades a los Cálculos de Desempeño Dados por el Fabricante

Flujo de gas	Flujo Vapor	Entalpia vapor	Entalpia agua
m ³ /h	Qm,kg/h	hv, kj/kg	ha, kj/kg
1389.79	15875.734	3148	614.47
2789.78	31751.468	3162	597.54
4222.04	47627.202	3175.9	606.35
5673.00	63502.936	3189.9	617.05

Datos obtenidos del Performance del Fabricante [Anexo 2]

IV.1 Calculo de Eficiencia Directa en la Caldera

La eficiencia de la caldera se calcula con el método directo usando la ecuación 4.1, en la tabla 4.2 se muestra el resultado de la eficiencia calculada de la caldera Babcock & Wilcox, utilizando los datos de entalpía de la tabla 4.3 para vapor sobrecalentado y agua [5]

$$\eta = \frac{Qm_{vapor} (h_{vapor} - h_{agua})}{Qv_{combustible} (PC_{combustible})} \times 100 \quad \text{Ecuacion 4.1 [6]}$$

Donde:

Qm=Flujo de vapor, kg/h

Qv=Flujo de gas, m³/h

h= Entalpia, kj/kg

PC=Poder Calorifico, kj/m³

η = Eficiencia, %

**Tabla 4.2 Eficiencia Calculada
Caldera Babcock & Wilcox**

Flujo de gas, m ³ /h	Flujo de vapor, Kg/h	Eficiencia, %
1510	18000	79.2015
2532	32000	83.97
3287	41000	82.8747
3418	42000	81.6423
3783	47000	82.5467
4130	51000	82.0461
4205	53000	83.7429
5045	63000	82.9693

Tabla 4.3 Datos de Entalpia de Vapor y Agua de la Caldera Babcock & Wilcox [5]

Condiciones Reales Vapor y Agua Alimentación [5]		
	Vapor	Agua Alimentación
Temperatura, °C	377	157.22
Presión, psi	613	590
Entalpia, kJ/kg	3153	665
Densidad, kg/m ³	15.105	910.85

Al comparar los datos de la tabla 4.2 con la tabla 4.1, se concluye que la caldera está operando en la mejor condición y eficiencia que garantiza el fabricante.

IV.2 Facturación

Para la facturación del gas natural se debe saber que PEMEX vende energía es decir, el precio esta dado en dolares/Gj [7]. Y a su vez el proveedor que transporta el gas natural comprimido (GNC) vende su servicio también en dolares/Gj, como se observa en la tabla 4.5; por lo tanto si la eficiencia de la caldera disminuye un 2 % debido a una mala combustión, ¿cuanto dinero representaría esa variación?

Tabla 4.4 Consumo Total Mensual de Gas Natural en Volumen (m3)y en Energía

FECHA FEBRERO 2015	CONSUMO GNC P.ULTRA TOTAL	PC DE GNC,	CONSUMO GNC PARA FACTURA.	COSTO DEL GNC	COSTO SERVICIO GNC	COSTO TOTAL GNC	TON. VAPOR CON GNC	COSTO de TON VAPOR CON GNC
	m ³	Gj/m ³	GJ	GJ	GJ	MXN	ton/mes	MXN
TOTAL	1,285,349.75	0.037441	48,125.03	2,494,801	3,271,507.8	5,766,309.44	14,851	388.28

Tabla 4.5 Facturación de Gas Natural

Simulador de Facturación			Feb 2015	
Papeles Ultra				
Consumos Mensuales				
Volumen	<u>1,285,349.75</u>		m ³	
Poder Calorífico (PCS) [7]	0.037441		GJ/m ³	
Energía	48,125.03		GJ	
Tipo de cambio de referencia [7]	14.6372		\$/USD	
Conceptos	USD/MMBTU	\$/GJ	\$ MXN	
Molécula de Gas	3.74	51.84	2,494,801.65	
Tarifa de Distribución	0.00	0.00	-	
Servicio Compresión y Transporte	4.90	67.98	3,271,507.79	
		Subtotal	5,766,309.44	
		IVA @16%	922,609.51	
		Total	6,688,918.95	M.N.

De acuerdo al punto III.5 de este documento, puede disminuir la eficiencia.

Utilizando los datos de la tabla 4.3 se puede calcular con la ecuacion 4.1, que porcentaje del flujo de gas representa una disminución en la eficiencia de 2%, y luego determinar cuanto dinero se gastaría al disminuir la eficiencia en ese valor.

$$Qv_{combustible} = \frac{Qm_{vapor} (h_{vapor} - h_{agua})}{\eta(PC_{combustible})} \times 100$$

De la Ecuacion 4.1

Tabla 4.6 Diferencia de Flujo de gas en %

Si la eficiencia disminuye 2%

	Diferencia de gas, % gas	Flujo de gas, m3/h	Flujo de vapor, kg/h	Eficiencia
	2.5906	1549.118	18000	77.202
	2.4399	2593.778	32000	81.97
	2.47296	3368.286	41000	80.875
	2.5112	3503.833	42000	79.642
	2.4830	3876.933	47000	80.547
	2.4985	4233.190	51000	80.046
	2.4466	4307.883	53000	81.743
Promedio	2.4918			

El aumento en el flujo de gas según los resultados de la tabla 4.6 es de 2.49%, cuando la eficiencia disminuye un 2%; este resultado podemos simularlo en la tabla 4.5 y obtener un aumento en el costo del gas para este mes, como se muestra en la tabla 4.7 .

Tabla 4.7 Aumento en el costo de gas si la eficiencia reduce 2%

Simulador de Facturación		Aumento de Gas, 2.49 %		Feb 2015
Papeles Ultra				
Consumos Mensuales				
Volumen	1,317,354.95			m ³
Poder Calórico (PCS) [7]	0.03745			GJ/m ³
Energía	49,323.35			GJ
Tipo de cambio de referencia [7]	14.6372			\$/USD
Conceptos	USD/MMBTU	\$/GJ	\$ MXN	
Molécula de Gas	3.74	51.84	2,556,922.21	
Tarifa de Distribución	0.00	0.00	-	
Servicio Compresión y Transporte	4.90	67.98	3,352,968.33	
		Subtotal	5,909,890.55	
		IVA @16%	945,582.49	
		Total	6,855,473.03	

Ahora se tiene una diferencia en el costo de Gas Natural consumido en un mes por la caldera Babcock & Wilcox, si se mantiene así la disminución de la eficiencia; en un año la diferencia es:

Diferencia en el costo de Gas por año.
\$ 1,998,648.98 MXN

Diferencia en el costo de Gas por mes
\$ 166,554.08 MXN

Conclusiones

Al tener una caldera en un sistema de cogeneración eléctrica dentro de sus parámetros de control y ajuste correctos se garantiza la operación continua del sistema y de la planta en su totalidad. De igual manera se evita pérdidas por mermas y tiempo muerto debido al paro de la planta, causando pérdidas en las ganancias si la caldera se apaga por alcanzar algún límite de seguridad.

Al tener operando la caldera dentro de los parámetros de ajuste correctos se garantiza la máxima eficiencia y por lo tanto el menor consumo de combustible posible. En consecuencia se obtiene un ahorro de dinero por consumo de combustible que hace mas rentable la operación de la planta, traduciendo al cliente en un menor precio del papel y de igual forma hace más competitiva la empresa Papeles Ultra S.A de C.V.

También se le facilita el trabajo al operador debido a que unicamente tiene que introducir el valor de presión y nivel que desea y todas las variables se regulan automáticamente.

Con el proyecto propuesto se obtendrá un ahorro de \$ 1, 998,648.98 MXN al año y se evita parar la planta por falta de energía eléctrica por parte de CFE utilizando el sistema de cogeneración, reflejándose en mayores ganancias.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MODERN BOILER CONTROL AND WHY DIGITAL SYSTEMS ARE BETTER, Hughart, C. L., Energy Systems Laboratory Texas A&M University, 1983, ESL-IE-83-04-91.
- [2] The Babcock & Wilcox Company, Steam/its generation and use. Edicion 41. Ohio, U.S.A., Editado Por J.B. Kitto y S.C. Stultz, 2005, 1106 p, ISBN 0-9634570-1-2
- [3] SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición. NOM-085-SEMARNAT-2011 , Mexico, Diario Oficial de la Federacion. 2011
- [4] Combustion Efficiency Optimization Manual For Operators Of Oil and Gas-Fired Boilers, PEDCo Enviromental, Inc. Cincinnati, Ohio, 1983
- [5] Water and Steam Propierties, WASP for windows, ver. 2.0.36, Andy C Creations and Kalmar software
- [6] Department of Mechanical & Aerospace Engineering North Carolina State University, Methods for Determining Boiler Efficiency (en linea), Professor Herbert M. Eckerlin, PhD, PE, MAE 406 - Energy Conservation in Industry, Disponible en Web:
<http://www.mae.ncsu.edu/eckerlin/courses/mae406/chapter6.pdf>
- [7] PEMEX, Diario de Calidad de Gas, S-VCBGN010-TR01, Febrero 2015.
- [8] ISA-TR77.42.02-2009, Fossil Fuel Power Plant Compensated Differential Pressure Based Drum Level Measurement – Disponible en Web:: <https://www.isa.org/isa77-42/#sthash.LIKev5rN.dpuf>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama a bloques del proceso general de la planta.	11
Figura 2.1	Diagrama a bloques del sistema de control conceptual de una caldera	13
Figura 2.2	Diagrama general de la arquitectura de control de una caldera	15
Figura 2.3	Diagrama general de la estrategia control de combustión	16
Figura 2.4	Diagrama general de la estrategia de control nivel domo de 1 elemento	17
Figura 2.5	Diagrama general de la estrategia de control nivel domo de 3 elementos	18
Figura 3.1	Diagrama a bloques control de agua alimentacion de un elemento	20
Figura 3.2	Diagrama a bloques control de agua alimentacion de tres elementos	22
Figura 3.3	Estrategia de límites cruzados	23
Figura 3.4	Diagrama a bloques de un control de combustión quemando Oil o Gas	24
Figura 3.5	Diagrama de flujo de proceso	29
Figura 3.6	Diagrama de tuberia e instrumentacion	38
Figura 3.6.1	Diagrama de tuberia e instrumentacion	39
Figura 3.6.2	Diagrama de tuberia e instrumentacion	40
Figura 3.7	Controlador HC900	41
Figura 3.8	Pantalla Táctil 15" HMI	42
Figura 3.9	Transmisor de presión diferencial Rosemount	42
Figura 3.10	Diagrama de Conexión Eléctrica Transmisor y Controlador	44
Figura 3.11	Válvula de control flujo de gas	45
Figura 3.12	Hoja de cálculo transmisor flujo de vapor (FT890)	48
Figura 3.13	Hoja de cálculo transmisor flujo de gas (FT514)	49
Figura 3.14	Hoja de cálculo transmisor flujo agua de alimentación (FT827)	50
Figura 3.15	Curva de Caracterización	56
Figura 3.16	Curva de oxígeno vs flujo de vapor	57

Figura 3.17A	Programa lazo de control flujo de aire	60
Figura 3.17B	Parámetros de ajuste PID lazo de control flujo de aire	61
Figura 3.18A	Programa lazo de control MAESTRO (Presión)	62
Figura 3.18B	Parámetros de ajuste PID lazo de control MAESTRO	63
Figura 3.19A	Programa lazo de control oxígeno	64
Figura 3.19B	Parámetros de ajuste PID lazo de control oxígeno	65
Figura 3.19C	Parámetros de curva característica programados en el controlador.	66
Figura 3.20A	Programa lazo de control flujo de gas	67
Figura 3.20B	Parámetros de ajuste PID lazo de control flujo de gas	68
Figura 3.21A	Programa lazo de control nivel	69
Figura 3.21B	Parámetros de ajuste PID lazo de control nivel	70
Figura 3.22	Parámetros de ajuste PID lazo de control flujo de agua	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Capacidades de flujo en la caldera Babcock & Wilcox	29
Tabla 3.2	Lista de instrumentos, materiales y accesorios	31
Tabla 3.2.1	Lista de instrumentos, materiales y accesorios	32
Tabla 3.2.2	Lista de instrumentos, materiales y accesorios	33
Tabla 3.2.3	Lista de instrumentos, materiales y accesorios	34
Tabla 3.2.4	Lista de instrumentos, materiales y accesorios	35
Tabla 3.2.5	Lista de instrumentos, materiales y accesorios	36
Tabla 3..3	Modelos y calibraciones de transmisores	43
Tabla 3.4	Modelos y marca de los actuadores automáticos.	45
Tabla 3.5	Pruebas de combustión	55
Tabla 3.6	Curva de caracterización	56
Tabla 3.7	Curva de oxígeno vs flujo de vapor	57
Tabla 4.1	Calculos de desempeño dados por el fabricante	73
Tabla 4.1.2	Cambio de unidades a los calculos de desempeño dados por el fabricante	73
Tabla 4.2	Eficiencia calculada de la caldera Babcock & Wilcox	74
Tabla 4.3	Datos de entalpía de vapor y agua de la caldera Babcock & Wilcox	75
Tabla 4.4	Consumo total mensual de gas natural en volumen y en energía	76
Tabla 4.5	Facturación de gas natural	76
Tabla 4.6	Diferencia de flujo de gas en porcentaje (%)	77
Tabla 4.7	Aumento en el costo de gas si la eficiencia se reduce 2%	78

ANEXOS

200K 750-750 @9000 ft Reduced Load

EFFICIENCY CALCULATIONS

	NATURAL GAS 100%	NATURAL GAS 75%	NATURAL GAS 50%	NATURAL GAS 25%

STEAM FLOW, LB/HR	140,000	105,000	70,000	35,000
STEAM PRESSURE, PSIG	650	650	650	650
STEAM TEMPERATURE, F	738	728	720	713
FEEDWATER TEMP TO ECON.,	227	227	227	227
FEEDWATER PRESS TO ECON,	900	900	900	900
BOILER EXIT TEMP. to ECON.	550	518	492	480
AMBIENT AIR TEMPERATURE,	70	70	70	70
STACK GAS TEMPERATURE, F	340	325	310	295
EXCESS O2, % VOL.DRY	3.0%	3.5%	3.6%	5.5%
BOILER EFFICIENCY, %	82.2%	82.5%	82.8%	82.6%
FUEL INPUT, MKB/HR	200.3	149.1	98.5	49.1
FUEL INPUT, LB/HR	9,179	6,831	4,514	2,249
FUEL INPUT, SCFM	3,339	2,485	1,642	818
AIR FLOW TO BURNER, LB/HR	167,241	127,711	85,096	47,041
AIR FLOW TO BURNER, ACFM	34,928	26,672	17,772	9,824
FLUE GAS FLOW , LB/HR	176,350	134,491	89,575	49,273
FAN AIR FLOW, PPH	167,241	127,711	85,096	47,041
BLR FEEDWATER ENTHALPY	265.4	260.8	257.0	264.3
SAT. STEAM ENTHALPY	1202.4	1202.4	1202.4	1202.4
BLR BANK DELTA H	937.1	941.6	945.4	938.1
BOILING BANK ABSORPTION	131.2	98.9	66.2	32.8
SAT STEAM ENTHALPY	1202.4	1202.4	1202.4	1202.4
SUPERHEAT ENTHALPY	1372	1366	1360	1354
SH DELTA H	169.6	163.6	157.6	151.6
SUPERHEATER ABSORPTION	23.7	17.2	11.0	5.3
ECON. FEEDWATER IN	227.1	227.1	227.1	227.1
ECON. FEEDWATER OUT	297.2	292.6	288.8	296.1
ECON. FEEDWATER ENTHALPY	195.3	195.3	195.3	195.3
ECON. TO BLR ENTHALPY	265.4	260.8	257.0	264.3
ECON DELTA H	70.1	65.5	61.7	69.0
ECONOMIZER ABSORPTION	9.8	6.9	4.3	2.4
TOTAL ABSORPTION	164.7	122.9	81.5	40.6
% BLR BANK	79.6%	80.4%	81.2%	81.0%
% SUPERHEATER	14.4%	14.0%	13.5%	13.1%
% ECONOMIZER	6.0%	5.6%	5.3%	6.0%