

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DE LA CALDERA DE LA
PLANTA EXTRACTORA DE PALMAS DEL CESAR S.A.

JUAN ERNESTO RAMÍREZ GUILLEN

Monografía de Grado para optar al título de Especialista en Control e
Instrumentación Industrial

Director de la Monografía
Luis Ángel Silva

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
Junio 2011

Nota de aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
3. OBJETIVOS	11
3.1. Objetivo General	11
3.2. Objetivos Específicos	11
4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA PALMAS DEL CESAR S.A.	12
4.1. Generalidades	12
4.2. Proceso Productivo en Planta de Beneficio	13
4.2.1. Recepción de fruta	13
4.2.2. Esterilización	13
4.2.3. Desfrutación	15
4.2.4. Digestión y prensado	15
4.2.5. Clarificación	15
4.2.6. Desfibración	16
4.2.7. Palmisteria	16
4.2.8. Planta de palmiste	17
4.2.9. Generación de vapor	18
5. EL FRUTO DE LA PALMA DE ACEITE	19
5.1. Las fibras del fruto de la palma como combustible	21
6. DESCRIPCIÓN DE LAS CALDERAS Y GENERALIDADES	23
6.1. Clasificación de las calderas	23
6.2. Calderas pirotubulares	24
6.3. Calderas acuatubulares	26
6.4. Calderas tipo combinadas	27
7. DIAGNOSTICO Y SITUACIÓN ACTUAL CALDERA JCT	28
7.1. Descripción de la caldera	28
7.2. Diagnostico de los equipos de la Caldera	29
7.2.1. Ventilador de tiro inducido	29
7.2.2. Ventiladores de tiro forzado	30
7.2.3. Compuerta de regulación de aire	31
7.2.4. Compuertas neumáticas de admisión de combustible	32
7.2.5. Tanque pulmón de agua suavizada	32
7.2.6. Tanque de agua caliente y recolección de condensados	33
7.2.7. Bombas de agua	33

7.2.8. Sistema de indicación de nivel	33
7.2.9. Sistema de purgas	34
7.2.10. Dosificación de químicos	36
7.3. Diagnostico general	37
7.4. Problemas puntuales a mejorar	38
7.4.1. Sistema de combustión	38
7.4.2. Sistema de nivel de agua	38
7.4.3. Sistema de tiro	38
7.4.4. Sistema de purgas de fondo	39
7.4.5. Sistema de monitorización	39
8. PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DE LA CALDERA DE PALMAS DEL CESAR S.A.	40
8.1. Sistema de combustión	41
8.1.1. Lazo de control de combustión	41
8.2. Sistema de nivel de agua	43
8.2.1. Lazo de control de nivel de agua	43
8.3. Sistema de tiro	45
8.3.1. Lazo de control presión del hogar	45
8.4. Sistema de purgas de fondo	46
8.4.1. Lazo de control purgas de fondo	46
8.5. Sistema de monitorización	48
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
10. BIBLIOGRAFÍA	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación plantación principal y planta extractora	12
Figura 2. Curva típica de presiones y tiempos de esterilización	14
Figura 3. Coordinación esperada de esterilización en los tres autoclaves	14
Figura 4. Racimos de fruto de palma de aceite.	19
Figura 5. Fruto de la palma de aceite.	20
Figura 6. Reseña fibra de palma africana	22
Figura 7. Caldera pirotubular de tres pasos	25
Figura 8. Diagrama de caldera acuatubular	26
Figura 9. Vista esquemática caldera JCT Palmas del Cesar S.A.	28
Figura 10. Ventilador de tiro inducido y sistema de compuerta de inicio	31
Figura 11. Válvula y conexión neumática de compuerta de inicio tiro inducido	31
Figura 12. Disposición de compuertas de admisión de fibra combustible.	32
Figura 13. Distribución de válvulas de purgas de fondo y colector de purgas	35
Figura 14. Control de la combustión mediante positioning system	42
Figura 15. Control de nivel de agua de dos elementos.	44
Figura 16. Lazo de control presión del hogar con referencia de presión y caudal	45
Figura 17. Diagrama de control para las purgas de fondo.	47
Figura 18. Esquema de la estructura de control y supervisión.	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de placa de la Caldera	29
Tabla 2. Datos placa tiro inducido	29
Tabla 3. Datos de placa tiro forzado	30

RESUMEN

Título: DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DE LA CALDERA DE LA PLANTA EXTRACTORA DE PALMAS DEL CESAR S.A.

Autor: Juan Ernesto Ramírez Guillen

Facultad: FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Director: Luis Ángel Silva

Palabras claves: Control, Instrumentación, Calderas, Biomasa, Fruto de la palma de aceite, Extracción de aceite de palma, Extracción de aceite de palmiste.

Esta monografía atiende la problemática generada por el sistema de control e instrumentación de la caldera de la planta extractora de PALMAS DEL CESAR S.A. la cual presenta una gran fluctuación en la presión de vapor y una limitada capacidad para responder efectivamente, a las cantidades de vapor demandas por el proceso de producción. En primer lugar se realizó el planteamiento del problema a tratar y se definieron los objetivos del estudio. Posteriormente se dio una revisión de las características del combustible utilizado. Luego de esto, se llevo a cabo una revisión de lo referente a las calderas, los tipos de construcción, características y condiciones de operación. Continúa, después el proceso de diagnostico de la caldera. Este diagnostico se realizo para cada uno de los equipos que conforman la caldera y a partir del diagnostico se identificaron cinco problemas puntuales para ser atendidos a través de la formulación de acciones de mejora en los sistemas de control, instrumentación y supervisión. Las acciones de mejora propuestas, surgieron del análisis y revisión de acciones planteadas para diferentes tipos de calderas, sin embargo, fueron ajustadas a la situación particular del caso de estudio. Como resultados se dejan cinco acciones de mejora con una filosofía de control definida, sus respectivos lazos de control propuestos y algunas pautas que serán importantes tener en cuenta para una posterior implementación.

ABSTRACT

Title: DIAGNOSIS AND MOTION CONTROL SYSTEM IMPROVEMENT AND IMPLEMENTATION OF THE BOILER OF EXTRACTION PLANT OF PALMAS DEL CESAR S.A

Author: Juan Ernesto Ramirez Guillen

School: SCHOOL OF ELECTRONIC ENGINEERING

Director: Luis Ángel Silva

Keywords: Control, Instrumentation, Boilers, Biomass, Fruit of palm oil, palm oil extraction, palm kernel oil extraction.

This monograph addresses the problems caused by the instrumentation and control system of the boiler extraction plant of PALMAS DEL CESAR S.A which has a large fluctuation in the vapor pressure and a limited capacity to respond effectively to the quantities of steam demands for the production process. First, it is presented the problem to be addressed and defined the objectives of the study. Subsequently, it is given a review of the characteristics of the fuel used. After this, it is conducted a review regarding boilers, construction types, characteristics and operating conditions. Then, the process of diagnosis of the boiler. This diagnosis is made for each of the teams that make up the boiler and from diagnosis it was identified five specific problems to be addressed through the formulation of actions to improve control systems, instrumentation and monitoring. The proposed improvement actions, emerged from the analysis and review of proposed actions for different types of boilers, however, they were adjusted to the particular situation of the case study. As a result, they were left five actions to improve control with a defined philosophy, their control implementation and some guidelines that will be important to take into account for further implementation.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expansión en Colombia, El área sembrada pasó de 206.000 hectáreas en el año 2003 a más de 316.000 hectáreas para el año 2007. El cultivo, se afianza cada vez más en la zona central, donde se nota un sostenido crecimiento de las aéreas cultivadas y de la capacidad de procesamiento con el ingreso de nuevas plantas y la ampliación de las actuales.

La planta de beneficio de Palmas del Cesar S.A. pasó de atender un área cultivada de alrededor de 6.500 hectáreas en el año 2006 a unas 11.000 hectáreas para el año 2010. Esta tendencia sigue aumentando, tanto así que ya se está desarrollando un proyecto de construcción de una nueva planta. Sin embargo es necesario para los objetivos de la compañía asegurar la capacidad de proceso de la planta actual ya que está deberá procesar la fruta adicional de los nuevos cultivos que están entrando en producción tanto de los proveedores como los que son propios de la compañía.

El procesamiento de la fruta de la palma de aceite, involucra una serie de subprocesos los cuales demandan vapor, esta característica del proceso de producción, hace de la caldera un elemento fundamental para el funcionamiento de la planta de beneficio. Con la cantidad de fruta para procesar en constante aumento, la planta de beneficio debe garantizar en lo posible que se mantendrá operando al máximo de su capacidad. Esto exige, regular las capacidades de cada subproceso, en especial la generación de vapor, debe entregar el vapor en las cantidades y calidades necesarias para lograr un proceso de producción continuo y eficiente.

En la planta extractora, el sistema de generación de vapor en ocasiones genera retrasos en la producción debido a la falta de regulación o control sobre las variables de operación de la caldera, hay problemas puntuales que afectan la capacidad de la caldera para entregar un flujo de vapor adecuado para el proceso. Esto, genero la necesidad de realizar el DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DE LA CALDERA DE LA PLANTA EXTRACTORA DE PALMAS DEL CESAR S.A. para entregarle a la caldera herramientas de control, instrumentación y supervisión que le permitan estar acorde con los requerimientos del proceso productivo.

El desarrollo de este trabajo de monografía consta de nueve capítulos, el primero corresponde a la introducción. En el segundo capítulo, se realiza el planteamiento del problema objeto del estudio. El tercer capítulo contiene los objetivos generales y específicos que busca cumplir el estudio. En el cuarto capítulo se hace una breve descripción de la empresa donde se desarrolla el estudio y del proceso productivo dentro del cual esta inserto el sistema a tratar. El quinto capítulo, presenta las características de la fruta de palma de aceite y en partículas la de sus fibras, que pasan a ser el combustible del sistema tratado. El capítulo sexto hace una revisión de la temática de las calderas, tratando algunas clasificaciones y la descripción de sus principales tipos. El capítulo séptimo, se centra en el estudio diagnóstico tanto a nivel general como de los problemas puntuales a tratar. En el capítulo octavo se presentan las acciones de mejora puntuales que pretenderán atacar los problemas plantados en el capítulo anterior y finalmente, el capítulo noveno contiene algunas conclusiones y recomendaciones arrojadas en el desarrollo de la monografía.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La caldera para la generación de vapor en el proceso de extracción de aceite de palma y de palmiste de la planta extractora de PALMAS DEL CESAR S.A. presenta una gran fluctuación en la presión del vapor, una capacidad limitada para responder efectivamente a las cantidades demandas de vapor y difícilmente logra mantener sus emisiones dentro de los límites establecidos.

Esta situación obedece a una falta de control efectivo sobre las variables que intervienen en la operación de la caldera ya que actualmente está sólo cuenta con un control on/off sobre la presión, el cual se queda corto ante la complejidad de un sistema en el que la demanda de vapor de los procesos no es constante y fluctúa entre valores muy altos y muy pequeños rápidamente, además la admisión del agua a la cámara de generación de vapor no es modulada o proporcional a la cantidad de vapor que esta saliendo de la caldera sino que se realiza por baches entre un nivel máximo o alto y un nivel mínimo o bajo, con lo cual se le inyecta al sistema una gran cantidad de agua a menor temperatura y esto cambia las condiciones de generación de vapor, también se debe contemplar que la dinámica de un sistema de combustión de biomasa involucra una gran inercia en el calentamiento y el enfriamiento después de que el sistema alcanza ciertos valores críticos, esto sumado a que las condiciones del hogar donde se lleva a cabo la combustión, no son todo el tiempo las adecuadas en cuanto a presión, temperatura y cantidad de aire con respecto al combustible. Hacen que la caldera no cuente con una verdadera capacidad de responder a los cambios en la demanda de vapor.

Todas estas circunstancias y situaciones generan retrasos en el proceso de extracción por la falta o exceso de vapor en ciertos momentos. Algunos equipos y accesorios de las diferentes líneas de distribución de vapor llegan a trabajar en sus límites de diseño ya que en ocasiones la presión excede su Set-point hasta en un 33%, esto genera averías frecuentes por fugas de vapor y desgaste acelerado de accesorios, además en tanques de proceso donde hay vapor directo se presentan desgastes acelerados en las superficies que están en contacto con el vapor. Las válvulas de seguridad de la caldera se desajustan con frecuencia por su excesiva actuación. Hay pérdidas de productos químicos en el agua tratada ya que está es expulsada a la atmósfera en forma de vapor por las válvulas de seguridad. Altos consumos de energía ya que los motores de la caldera trabajan todo el tiempo a su máxima potencia. Dificultades para lograr mantener controladas las emisiones de la caldera dadas las condiciones de alimentación de combustible.

Por tal motivo se hace necesario llevar a cabo un estudio que permita establecer la situación actual de la caldera en cuanto a control de sus variables y el sistema de instrumentación existente para plantear acciones que mejoren dicha situación a fin de lograr una operación más uniforme y una respuesta acorde con los requerimientos de vapor del proceso de extracción.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Realizar un estudio diagnóstico de la situación actual del sistema de control e instrumentación de la caldera de la planta extractora de PALMAS DEL CESAR S.A. y proponer una mejora para cumplir con los requerimientos de vapor exigidos por el proceso.

3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un diagnóstico de la situación actual de la caldera de acuerdo con el sistema de control y la instrumentación que posee.
- Plantear una mejora del control e instrumentación que sea pertinente y adecuada para mejorar la capacidad de respuesta del equipo.

4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA PALMAS DEL CESAR S.A.

4.1. Generalidades

PALMAS DEL CESAR S.A. es una empresa agroindustrial dedicada a la producción y procesamiento de fruta de palma de aceite para la obtención de aceite crudo de palma CPO, aceite crudo de palmiste KCPO y torta de palmiste.

La plantación principal y la planta extractora donde se lleva a cabo el procesamiento de la fruta esta ubicada en el corregimiento de Minas, municipio de San Martín en el departamento del Cesar, en el Km 113 de la vía que va de Bucaramanga a la costa atlántica.

En la Figura 1, se muestra la ubicación aproximada de la plantación principal de Palmas del Cesar S.A. a partir de una vista aérea.



Figura 1. Ubicación plantación principal y planta extractora

La planta de beneficio de la fruta, opera bajo procesos llamados convencionales y cuenta con una capacidad de procesamiento de 30 toneladas de Racimos de Fruta Fresca (RFF) por hora.

El procesamiento de fruta por año se acerca a las 130.000 toneladas de las cuales alrededor de un 55% es fruta propia de la compañía y el 45% restante pertenece a proveedores de la región que han desarrollado sus cultivos con la empresa. Esta proporción de proveedores ha venido aumentando año tras año haciendo parte de la estrategia corporativa de la compañía llegar en próximos años a una mayor participación de los proveedores con respecto al fruto propio.

4.2. Proceso Productivo en Planta de Beneficio

El procesamiento de la fruta para obtener el aceite de palma, de palmiste y la torta de palmiste sigue una serie de etapas que se describen brevemente a continuación.

4.2.1. Recepción de fruta

En este subproceso, se recibe la fruta proveniente de las plantaciones de la compañía o de los proveedores y se les realiza una primera evaluación de calidad. La evaluación busca establecer las condiciones de maduración de la fruta que va a ser procesada, así como la cantidad de impurezas y la conformidad de los pedúnculos de los racimos con los parámetros establecidos por la compañía.

La fruta normalmente viene en vehículos de volteo, camiones o remolques tirados por tractores, estos vehículos son descargados en unas tolvas equipadas con compuertas hidráulicas que permitirán llevar la fruta a los vagones donde seguirán al proceso de esterilización.

Los vagones tienen una capacidad de almacenamiento promedio de 1250 Kg de fruta y son de acero al carbono con ruedas de troques que se deslizan por un sistema de rieles.

4.2.2. Esterilización

Es uno de los procesos mas críticos de la producción, consiste en llevar el fruto contenido en las vagonetas a unos autoclaves en donde serán sometidos a vapor saturado por unos tiempos y a unas presiones preestablecidas de acuerdo al grado de maduración.

La esterilización se lleva a cabo en unos autoclaves de 18 m de largo por 2,10 m de diámetro en los cuales se introducen 11 vagonetas de 1.250 kg de RFF aproximadamente por un tiempo de unos 65 minutos siguiendo la curva de presiones que muestra la figura 2.

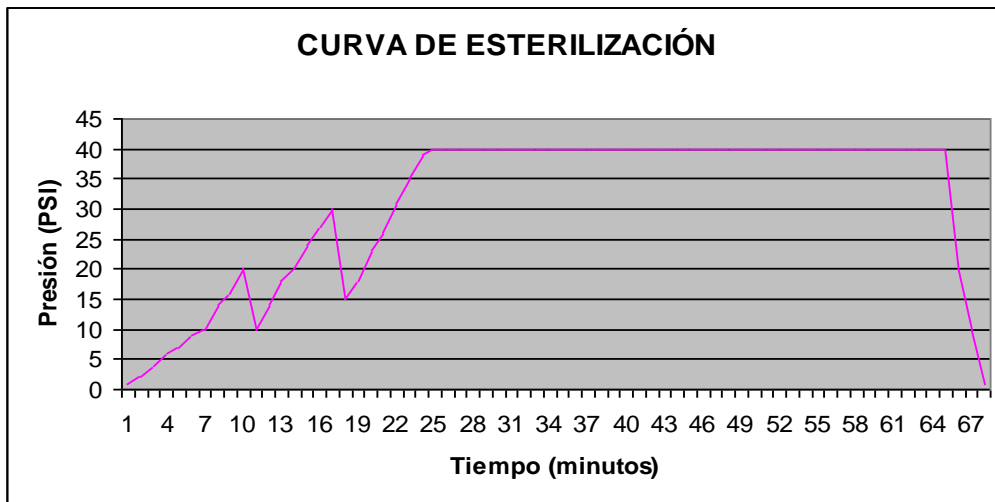


Figura 2. Curva típica de presiones y tiempos de esterilización

Para este proceso se requieren de unos 250 kg/TM de RFF. Sin embargo el vapor no responde a una demanda constante, como se puede ver a partir de la figura, el consumo de vapor en la esterilización tiene unos picos de alta demanda y otros de baja demanda. Al contar con 3 autoclaves, el proceso se trata de llevar de tal manera que la demanda de vapor sea lo más constante posible. La figura 3 muestra como se esperaría coordinar las operaciones de los tres autoclaves. Sin embargo dadas las condiciones puntuales de los otros procesos de la planta esta coordinación no siempre es posible lo que genera fluctuaciones en los requerimientos de vapor.

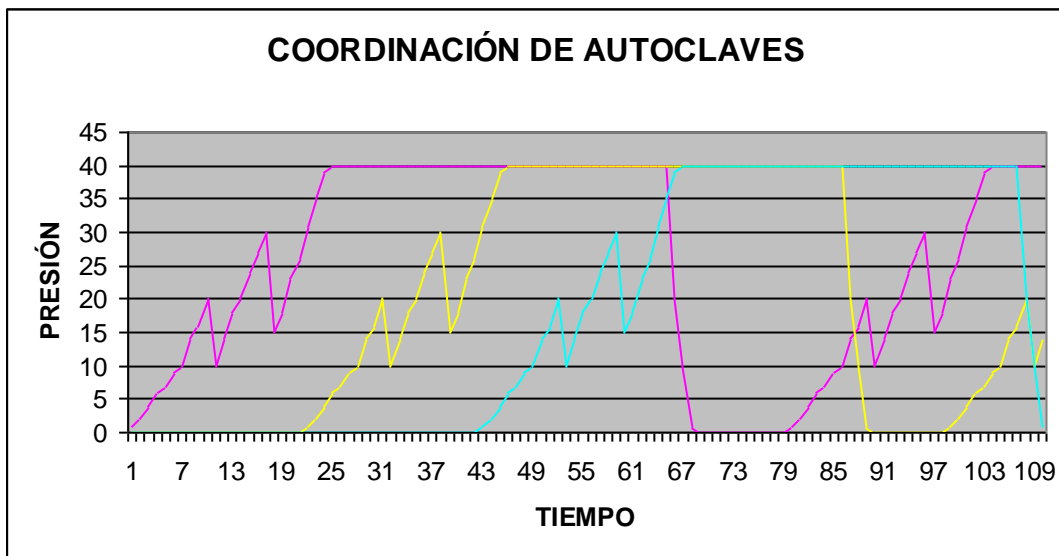


Figura 3. Coordinación esperada de esterilización en los tres autoclaves

La esterilización busca 5 objetivos básicos para el procesamiento del fruto que son:

- Neutralización de la encima lipasa que es la responsable de la acidificación del aceite y por ende del deterioro acelerado de la calidad del mismo.
- Ablandar el mesocarpio de la fruta donde esta contenido el aceite de palma para facilitar la extracción a través del prensado.

- Deshidratar las almendras contenida en las nueces para facilitar su posterior separación.
- Deshidratar los pedúnculos que unen el fruto al raquis para facilitar la operación de desfrutacion.
- Coagular las proteínas e hidrolizar la materia mucilaginosa, contenidas en la pulpa del fruto, en las pequeñas celdas que guardan el aceite y que posteriormente actuarían como “emulsificantes” del aceite en el agua, causando molestias en el proceso de la clarificación y pérdidas adicionales en las aguas de desecho.

4.2.3. Desfrutación

En este proceso se recibe el fruto esterilizado en las vagonetas y se ingresa de manera controlada o dosificada en un equipo rotativo llamado desfrutador, éste consiste en un tambor que 2 m de diámetro y 6 m de largo cuyo cuerpo esta construido con una serie de platinas, de tal manera que los frutos pueden pasar por las separaciones que existen entre dichas platinas pero no así los racimos, los cuales salen vacios, es decir sin frutos, por un extremo del tambor.

Los racimos una vez ingresan al tambor desfrutado son golpeados unos con otros y contra las paredes del tambor, estos golpes generan el desprendimiento de los frutos, los cuales son recogidos por un sinfín y luego por un elevador de cangilones que finalmente los lleva al proceso de digestión y prensado.

Los raquis vacios son llevados por una banda transportadora a un vehículo que finalmente los dispondrá en los lotes de las plantaciones como fertilizante.

4.2.4. Digestión y prensado

Los frutos sueltos llegan a unos digestores, en los cuales con la aplicación de vapor directo, se logra macerar por espacio de unos 35 minutos los frutos para lograr una masa en la que el mesocarpio este lo suficientemente blanda para ingresar a las prensas.

El digestor cuenta con unos brazos sujetos a un eje, estos brazos mueven la fruta en contacto con el vapor para lograr la digestión y con la ayuda de unos brazos barredores la fruta es empujada y forzada a ingresar a la prensa.

La prensa es un dispositivo equipado con un tornillo sinfín que hace que la fruta digestada se mueva hacia adelante por entre una canasta, sin embargo a la salida de esta canasta hay un cono hidráulico que se opone al movimiento de la masa y la comprime contra las paredes de la canasta, de esta forma se retira una parte liquida que contiene el aceite de palma y una fase solida sale por debajo de los conos. En esta fase solida se encuentran las nueces que contienen las almendras y las fibras que servirán como combustible en la caldera.

4.2.5. Clarificación

La fase liquida obtenida del prensado es una mezcla llamada licor de prensas, la cual contiene en diferentes proporciones aceite, agua, lodos livianos y lodos pesados. En el proceso de clarificación se busca separar el aceite de las otras fases que componen el licor de prensas.

El primer paso es tamizar el licor de prensas para retirar las partículas más grandes, esto se realiza pasando el licor por dos mallas una de mesh 30 y otra de mesh 40. Luego el licor se deja decantar en tanque pre clarificador donde se recupera cerca del 70% del aceite contenido en la mezcla. Este aceite es bombeado a unos tanques sedimentadores de donde se pasa a un secador de vacío y de ahí a los tanques de almacenamiento.

Para la decantación del aceite es fundamental mantener una temperatura de entre 85 °C y 90 °C, esto se logra calentando los tanques con vapor a través de unos serpentines.

Del preclarificador se obtienen además del aceite unos lodos que tienen entre un 8% y un 15% de aceite, este debe ser recuperado a través de una segunda decantación en el clarificador y por último a través de unas centrifugas se recuperará el residual de aceite que no puede ser recuperado por la acción simple de la decantación.

Las centrifugas aprovechan la diferencia de densidades entre el aceite y los otros compuestos de la mezcla para logra separarlos con la fuerza centrífuga que genera su propia rotación.

La salida de lodos de las centrifugas se convierten en los efluentes del proceso y son llevados al sistema de tratamiento en las lagunas donde les será removida cerca del 98% de la carga orgánica antes de ser liberadas a las plantaciones nuevamente.

4.2.6. Desfibración

La mezcla solida de nueces y fibra que sale de las prensas, debe ser separada a fin de poder recuperar las nueces para el posterior proceso de palmisteria. La separación se logra utilizando una corriente de aire generada por un ventilador en succión. La mezcla inicialmente es movida por un sinfín de paletas que rompe la mezcla a fin de lograr separar mejor las nueces y además ayuda a reducir la humedad de las fibras desde un 30%-45% a un 10%.

El material previamente suelto por el efecto del sinfín entra en una zona de turbulencia donde las fibras son succionadas hacia un sinfín que posteriormente las llevara ala caldera y las nueces por su mayor peso con respecto a las fibras caen a un tambor pulidor y de ahí a los silos de almacenamiento.

La Desfibración debe tener unos caudales y unas velocidades de aire acordes con la cantidad de carga que recibe del prensado a fin de mantener una relación que garantice que solo un mínimo de nueces se vallan con las fibras hacia la caldera.

4.2.7. Palmisteria

Las nueces contienen en su interior las almendras, a partir de las cuales se obtiene el aceite de palmiste y la torta de palmiste. Estas nueces deben ser acondicionadas y partidas para lograr recuperar las almendras de manera eficiente y con la menor cantidad de impurezas.

En la palmisteria las nueces son almacenadas en silos de una capacidad de 40 toneladas, una vez en los silos se les proporciona una corriente de aire que atraviesan

unos radiadores a fin de exponer las nueces a aire caliente y así lograr reducir su contenido de humedad, esto es fundamental para mejorar la calidad del rompimiento posterior.

Una vez las nueces están secas su cascara se vuelve mas frágil y se procede a llevarlas con un elevador de cangilones hasta un tambor giratorio que contiene una lamina con perforaciones en forma de oblongos de diferentes tamaños. La clasificación permite direccionar el flujo de nueces de acuerdo con su tamaño a cada uno de los rompedores. Los rompedores son como cascanueces mecánicos que al girar hacen pasar las nueces entre unas mordazas que logran romperla sin afectar las almendras.

De los rompedores se obtiene una mezcla que se le llama mezcla triturada, en ella se encuentran almendras enteras, almendras partidas y cascara o cuercos de diferentes tamaños.

Una vez más en este punto con dos ventiladores en succión se realiza la separación de las almendras y las cascara, pero esta vez son cuatro las zonas de turbulencia donde se realiza la separación.

El resultado final son las almendras que son llevadas por un elevador neumático a los silos para su acondicionamiento para ser procesadas y las cascara se llevan a un silo donde son almacenadas y vendidas como combustible para calderas dado su alto poder calorífico.

4.2.8. Planta de palmiste

Este proceso es a través del cual se obtiene el aceite de palmiste y la torta de palmiste a partir de las almendras, es un proceso de extracción mecánica.

Las almendras almacenadas en los silos primero son acondicionadas para proceder a ser comprimidas en las prensas expeler. El acondicionamiento consiste básicamente en calentar las almendras de manera gradual para bajar su % de humedad hasta un 4%. El calentamiento se hace con vapor a través de unos radiadores que luego son atravesados por una corriente de aire.

La almendra seca es alimentada a las tolvas que a su vez alimentan a las prensas expeler, estas prensas funcionan con un tornillo sin fin seccionado pero de mucho menor diámetro que las de aceite de palma, este tornillo compuesto por secciones llamadas caracoles, hace avanzar la carga de almendras de manera gradual a medida que estrecha el espacio entre el eje y la canasta, esto hace que este equipo alcance altas presiones, las cuales son necesarias para lograr triturar las almendras.

El aceite de palmiste, sale finalmente por los intersticios de la canasta de la prensa y por la parte frontal salen los residuos sólidos del prensado, los cuales pasaran por un molino de martillos para ser pulverizado y empacado como torta de palmiste.

El aceite obtenido del prensado de las almendras es posteriormente llevado a un tanque con calentamiento donde se realiza una decantación rápida y de allí es bombeado a través de un filtro-prensa hasta el tanque de aceite terminado donde se practican las pruebas de calidad y de allí es bombeado a los tanques de almacenamiento.

4.2.9. Generación de vapor

Este proceso se encarga de generar el vapor necesario para llevar a cabo todos los otros procesos en la producción del aceite de palma y de palmiste.

Es considerado el corazón de la planta extractora toda vez que si el vapor no esta en las cantidades necesarias esto generara retrasos en el resto de los procesos. La planta consume en promedio alrededor de unos 500 Kg de vapor por tonelada de fruta procesada. De esta cantidad mas de la mitad la consume el proceso de esterilización.

El proceso se puede subdividir además en dos procesos que son la generación de vapor y el tratamiento de agua para caldera. El agua que se utiliza en la planta proviene de una fuente superficial, la cual fue desviada intencionalmente hasta un reservorio o represa de donde finalmente es lleva por canales hasta la planta. Normalmente las condiciones del agua son muy buenas en cuanto a dureza, sólidos disueltos y sólidos suspendidos.

Se cuenta con una caldera principal y otra auxiliar que solo se utiliza unos días cada año mientras la principal es llevada a mantenimiento. La caldera principal funciona únicamente con fibra.

El proceso como su nombre lo indica busca aprovechar la energía disponible en las fibras para ser utilizadas en la esterilización del fruto y para calentar los diferentes tanques del proceso a través del vapor.

5. EL FRUTO DE LA PALMA DE ACEITE

Los frutos de la palma de aceite se encuentran adheridos a unas espigas, las que a su vez están unidas a un pedúnculo, formando un racimo cuyo peso puede variar entre 5 a 40 Kg la figura 4 muestra dos racimos de palma de aceite aun sin desgranar.



Figura 4. Racimos de fruto de palma de aceite.

Los racimos están compuestos por el raquis o tusa que representa entre un 20% y un 22% del total del peso del racimo y los frutos que contienen el aceite. La conformación de estos últimos puede cambiar de acuerdo a las variedades, edades del cultivo y condición sanitaria del cultivo.

En forma general se puede establecer que los frutos son de forma ovalada, color naranja-rojizo y están constituidos por cuatro partes fundamentales¹:

- Exocarpio: es una cáscara o tejido ceroso que recubre la pulpa de los frutos.
- Mesocarpio: parte carnosa o pulpa de la fruta; conformada por fibras y celdas contenedoras de aceite. Este aceite en si es una mezcla de varios aceites como el palmítico y el linoleico, los cuales son utilizados y consumidos normalmente.
- Cuesco: Cáscara fuerte que recubre la almendra.
- Almendra: parte central del fruto, de alto valor nutricional y donde se encuentra contenido el aceite de palmaste.

En la figura 5, se ven claramente las diferentes partes constitutivas del fruto de palma de aceite.

¹ Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite guía para facilitadores, esterilización de racimos de fruta de palma. Edgar Yáñez, Jesús García, Lina Martínez, CENIPALMA. 2010.

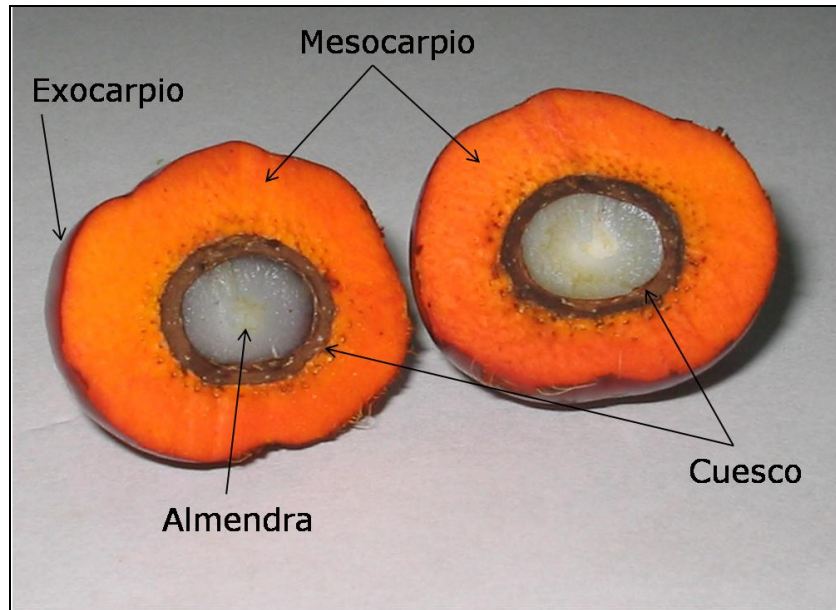


Figura 5. Fruto de la palma de aceite.

Las variedades genéticas de las plantas también definen drásticamente las características del cuesco y del mesocarpio, de tal manera que existen diferentes variedades donde cada una tiene características que favorecerán la producción de almendra y aceite de palmiste o la producción de aceite de palma, la selección de las variedades responden a criterios agroecológicos y de la estrategia corporativa. Las variedades pueden ser pisífera o dura o una combinación de estas en distintas proporciones o híbridos con palmas americanas, a continuación se pueden ver algunas características de las diferentes variedades.

Pisífera (P x P): son palmas cuyos frutos prácticamente no tienen cuesco, sino un cartílago blando. Palma gigante, Carece de interés comercial.

Dura (D x D): Se cultivó hasta la década de lo 60, se caracteriza por tener un gran cuesco de 2 a 8 milímetros de espesor. Son poco rentables y competitivas.

Tenera (D x P): Por ser un híbrido proveniente del cruzamiento de Dura por Pisífera, el cuesco del fruto es delgado y la proporción de la fruta bastante mayor. Por ende el contenido de aceite es más abundante. Se observa un anillo de fibras oscuras adyacente al cuesco que son su principal característica.

Se podría decir que la totalidad de las plantaciones modernas corresponden a híbridos de palmas africanas y hoy día por los inconvenientes presentados con algunas plagas, en especial la Pudrición de Cogollo se está empleando híbridos de palmas africanas con palmas americanas nativas.

Sin embargo, el contenido de fibras en los frutos de palma de aceite se pueden aceptar generalmente en alrededor del 11%.

5.1. Las fibras del fruto de la palma como combustible

La biomasa es toda materia que se puede derivar directa o indirectamente de la fotosíntesis de las plantas, encontrándose en forma vegetal o animal, es decir, la biomasa es energía solar transformada. La biomasa para fines energéticos puede provenir de fuentes como las cosechas de plantaciones perennes, las herbáceas de cosecha anual, las gramíneas y las oleaginosas entre otras. También se obtienen de los residuos de la agricultura, de la industria procesadora de alimentos, de la industria manufacturera de productos de madera y de los residuos sólidos de fuente industrial y municipal².

Las fibras del procesamiento de la fruta de la palma de aceite son un subproducto el cual es aprovechado como combustible para la generación de vapor para los procesos de la planta.

Normalmente el promedio de fibra resultante del proceso de extracción es de un 12% de los racimos de fruta fresca (RFF) procesados. Las fibras poseen un poder calorífico inferior del orden de 2.700 Kcal/Kg, una humedad del 30%-45% y alrededor de un 7% de aceite sobre SSNA³.

Un inconveniente que se presenta con el uso de la fibra como combustible es su humedad. Cuando la biomasa tiene una humedad alta, o sea está demasiado mojada; entonces, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada como para completar las reacciones químicas⁴. Por esta razón en el proceso previo a la combustión se acondicionan las fibras de tal manera que la humedad de las mismas se reduzca a cerca por debajo de un 25% para favorecer el proceso de combustión.

La figura 6. Presenta los resultados de la caracterización o reseña de la fibra obtenida en la planta extractora. Este análisis fue realizado por el fabricante de la caldera y fue tomado como referencia para el diseño de la misma.

Las fibras que desvían al sistema de generación de vapor llevan un residual de aceite, este residual no debe superar el 0,7% sobre base seca o Solido Seco No Aceitoso (SSNA). Este aceite representa pérdidas para el proceso de extracción y al momento de la combustión genera gases indeseables para los monitoreo de calidad del aire, por estas razones la cantidad de aceite en las fibras es controlado desde el proceso de digestión y prensado.

En las fibras se encuentran nueces y almendras partidas, estas aparecen como resultado de la separación neumática pero la cantidad no supera el 3% del peso de la fibra. Estas nueces tienen mayor poder calorífico que la nuez pero su porcentaje debe ser controlado ya que también representa una pérdida para el proceso.

² Alexander Gómez, Wolfgang Klose, Sonia Rincón. Pirolisis de Biomasa, cuesco de palma de aceite. Universidad nacional de Colombia / Universidad de Kassel Alemania. 2008.

³ Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Noel Wambeck, FEDEPALMA 2005.

⁴ Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass, Users Network (BUN-CA). -1 ed. – San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

RESEÑA FIBRA DE PALMA AFRICANA**1. ANALISIS PROXIMO (Porcentaje peso) Base seca.**

Elementos	Racimos Vacios	Fibra	Almendra
Material Volatil	75.7	72.8	76.3
Carbón fijo (por diferencia)	17	18.8	20.5
Cenizas	7.3	8.4	3.2
TOTAL	100	100	100
Poder calorifico superior Btu/lb (Kcal/kg)	8800 (4888)	8255 (4586)	9220 (5122)

2. ANALISIS ULTIMO (Porcentaje peso)

Elementos	Racimos Vacios	Fibra	Almendra
Hidrogeno	6.3	6	6.3
Carbon	48.8	47.2	52.4
Asufre	0.2	0.3	0.2
Nitrogeno	0.7	1.4	0.6
Oxigeno (Por diferencia)	36.7	36.7	37.3
Cenizas	7.3	8.4	3.2
TOTAL	100	100	100

3. CONTENIDO DE ACEITE (Base seca.)

Elementos	Racimos Vacios	Fibra	Almendra
Aceite (Porcentaje peso)	0%-5%	0%-10.4%	0%-1%

4. COMPOSICION QUIMICA CENIZAS (Porcentaje peso).

Elementos	Racimos Vacios	Fibra	Almendra
SiO ₂	34.7	63.2	65.4
AL ₂ O ₃	1.2	4.5	2.1
Fe ₂ O ₃	1.8	3.9	3.3
CaO	3.3	7.2	3.1
MgO	2.9	3.8	3.2
Na ₂ O	0.8	0.8	0.5
K ₂ O	40.1	9	12.7
TiO ₂	0.1	0.2	0.1
P ₂ O ₅	2.5	2.8	3.3
SO ₃	8	2.8	3.2
CO ₂	0.1	2.2	3.8
TOTAL	95.5	100.4	100.7

5. CONTENIDO DE HUMEDAD (Porcentaje peso).

Elementos	Racimos Vacios	Fibra	Almendra
Humedad	50%- 70%	35%-40%	13%-18%

Figura 6. Reseña fibra de palma africana⁵⁵ Julio Cardona Tobon & Cia. Calderas JCT. Catalogo caldera 725 bph 2p. Medellín 1993.

6. DESCRIPCIÓN DE LAS CALDERAS Y GENERALIDADES

Una caldera es una maquina o dispositivo de ingeniería que esta diseñado para generar vapor saturado. Otra definición que se le da a las calderas es cuando se dice que todo aparato que trabaja con presión en donde el calor es procedente de cualquier fuente de energía, se transforma en energía utilizable a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor⁶.

Entonces la caldera es un dispositivo que permite utilizar una fuente energía generalmente a través de su combustión y el calor generado por está para convertirlo en energía aprovechable como entalpia en el vapor. Mientras mayor sea la presión y la temperatura alcanzada por el vapor mayor cantidad de energía se puede aprovechar de esté último.

Las aplicaciones de las calderas son múltiples y muy variadas, van desde aplicaciones para calefacción en los hogares hasta las antiguas calderas utilizadas para la tracción de locomotoras y barcos. Entre las aplicaciones más comunes hoy día se encuentran la utilización del vapor para calentar otros fluidos en procesos industriales como la petroquímica, oleoquímica y la generación de energía eléctrica a través de turbinas acopladas a generadores eléctricos.

6.1. Clasificación de las calderas

Las calderas se pueden clasificar de acuerdo a diferentes criterios que pueden ser desde la naturaleza del servicio que prestan o por las características de construcción, tipo de combustible entre otros. A continuación se realiza una breve clasificación con base en algunos criterios:

- Por la Naturaleza del servicio prestado:
 - Estacionarias
 - Portátiles
 - De locomoción
 - Marinas

- Por el tipo de combustible empleado:
 - De Biomasa
 - De carbón mineral
 - De combustibles fósiles en fase líquida
 - De combustibles gaseosos
 - De combustibles especiales
 - De recuperación de calor de gases
 - Combustibles mixtos
 - Nucleares

- Por el modo de combustión:
 - De combustión continua
 - De combustión intermitente

- Por el funcionamiento del hogar:
 - De hogar en sobrepresión
 - De hogar en depresión

⁶ <http://www.mitecnologico.com/ie/Main/GeneralidadesYClasificacionDeCalderas>

- Por la circulación de agua:
 - De circulación natural
 - De circulación forzada
- Por el mecanismo de transferencia de calor:
 - De convección
 - De conducción
 - De radiación y convección
- Por el tipo de construcción:
 - Acuatubulares
 - Piro tubulares
 - Combinadas

6.2. Calderas pirotubulares

La caldera pirotubular es el tipo más utilizado en la industria para aplicaciones industriales pequeñas. Los primeros diseños de calderas pirotubulares partieron sencillamente un tambor de agua a presión, con una línea de agua de alimentación y una salida de vapor. El combustible era quemado sobre una parrilla debajo del tambor, el calor liberado era aplicado directamente en la parte inferior, permitiendo que los gases salieran por la chimenea, a través de unos tubos con agua. Se podía evidenciar que calentar una gran masa de agua en un recipiente era notoriamente ineficiente, por lo cual se buscaron diseños que permitieran disponer más eficientemente el agua y el contacto con el calor.

Una manera de lograrlo, era el manejo de los gases calientes dentro de la caldera, para lo cual dirigieron los gases de la combustión dentro del recipiente o casco de la caldera donde se hallaba el agua, con el fin de lograr una optima transferencia de calor. Este diseño dio origen a las calderas pirotubulares, en las que el fuego o calor circula por dentro de los tubos y el fluido frio, el agua, por fuera de ellos. El calor es transferido por medio de los gases de combustión, que fluyen por el interior de los tubos y el agua por fuera de ellos⁷.

La caldera pirotubular consta entonces de una sección horizontal formada por un cuerpo cilíndrico dentro del cual están alojados los tubos por donde circularan los gases calientes de la combustión, de acuerdo a la disposición de los conjuntos de tubos la caldera puede ser de dos o tres pasos entendiéndose por un paso el cruce de los gases en un sentido. La figura 7, muestra esta situación con mayor claridad.

⁷ Gonzalo Rodríguez Guerrero, Operación de Calderas Industriales. Ecoe Ediciones. 2000.

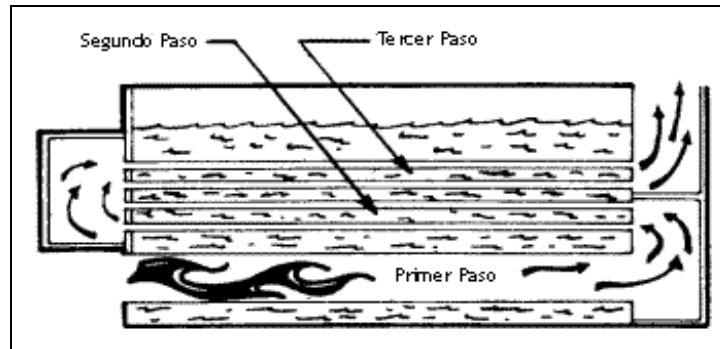


Figura 7. Caldera pirotubular de tres pasos⁸

Las calderas pirotubulares generalmente son utilizadas para capacidades de 50.000 Lb/h y presiones hasta 300 psig. La alta presión para generar vapor es una de las mayores limitantes de este tipo de calderas.

Las tensiones que pueden imponerse en la caldera están limitadas por las normativas. La tensión máxima estará alrededor de la circunferencia del cilindro. Se le llama tensión 'de Circunferencia'. El valor de esta tensión puede calcularse usando la ecuación⁹:

$$\text{Tensión de Circunferencia} = \frac{\text{Presión de trabajo de la caldera X Diámetro interior de la caldera}}{2 \text{ X Grosor del material de la caldera}}$$

De lo anterior se desprende que para mayores presiones se necesitaran espesores más grandes para las láminas del cuerpo, esto resulta en limitantes de diseño por posibles fatigas en los materiales por las expansiones y contracciones del material ante los cambios de temperatura en paradas y operación. Por tales motivos los parámetros de generación y presión mencionados se toman como límites para este tipo de equipos.

⁸ <http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-control-de-calderas/133-cap-12-tipos-de-calderas.html>

⁹ http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm_04.pdf

6.3. Calderas acuaturbulares

Las calderas de tubos de agua o acuaturbulares, se definen así por ser el agua el fluido que circula por el interior de los tubos. Estas tuvieron su origen a finales del siglo XVIII, por lo cual el modelo original puede distar mucho de los diseños de hoy día. Una caldera acuaturbular consta, básicamente, de tambores acumuladores de agua y de tubos por los cuales circulan el agua y el vapor, encerrando los contornos de la caldera con paneles de tubos para formar el horno¹⁰.

Estas calderas tienen un gran espectro de producción de vapor, la cual puede variar desde una pequeña producción, en calderas compactas, hasta las grandes producciones de 1000 ton/h y presiones hasta 150 Kg/cm², como es el caso de las centrales termoeléctricas¹¹.

Se tiene entonces que las calderas acuaturbulares constan básicamente de unos tubos por donde circula el agua, estos tubos comunican los calderines o domos los cuales generalmente se ubican, uno en la parte superior y es llamado calderín de vapor, en el cual se produce la separación del vapor existente en el agua en circulación, y el otro calderín de la parte inferior, también conocido como domo de agua o de lodos ya que en él se depositan los residuos de los tratamientos químicos.

La figura 8, muestra un diagrama de una caldera acuaturbular y relaciona los diferentes flujos que en ella ocurren.

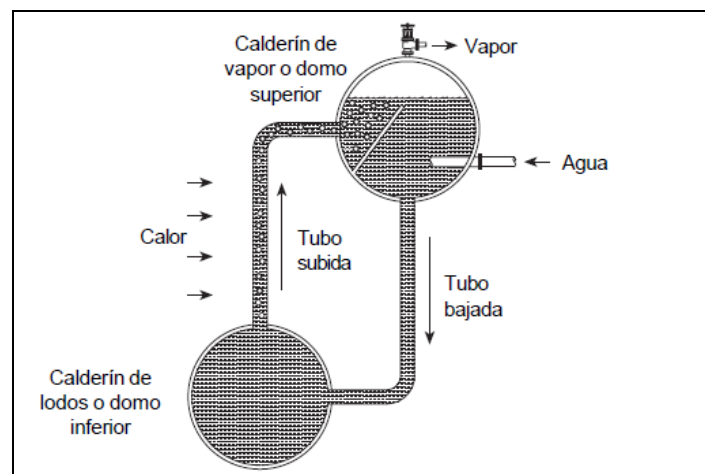


Figura 8. Diagrama de caldera acuaturbular

El agua de alimentación fría se introduce en el calderín de vapor y Baja por el tubo de bajada hasta el calderín de lodos, debido a que tiene una densidad superior a la del agua caliente. Su densidad disminuye cuando pasa por el tubo de subida, donde se calienta formando burbujas de vapor. El agua caliente y las burbujas de vapor pasan al calderín de vapor una vez más, donde el vapor se separa del agua¹².

¹⁰ Gonzalo Rodríguez Guerrero, Operación de Calderas Industriales. Ecoe Ediciones. 2000.

¹¹ "Víctor Javier Moreno Velasco, ESTADO DEL ARTE DE INSTRUMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS DE CONTROL DE CALDERAS. Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga 2011.

¹² http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm_04.pdf

6.4. Calderas tipo combinadas

Estas calderas resultan del acoplamiento de dos calderas, una acuatubular y una pirotubular, la acuatubular suele formar el hogar de la caldera donde las paredes de agua sirven para circunscribir la zona donde se realiza la combustión y los gases calientes resultado está última suben y cruzan los pirotubos.

La zona pirotubular generalmente recibe el agua de alimentación y también tiene la salida de vapor, en la zona acuatubular se encuentran los domos de lodos y en ellos se realizan las purgas de fondos, mientras en la zona pirotubular se realiza la purga continua que esta asociada a los sólidos disueltos.

Las construidas con más frecuencia son las calderas de hogar interior y semi tubular. En la parte inferior hay una caldera Cortnualles de dos o tres tubos hogares o una Galloway, combinada con una semi tubular que se sitúa más arriba. Ambas calderas tienen unidas sus cámaras de agua y de vapor, por tubos verticales. Los hogares se encuentran en la caldera inferior. Los gases quemados se dirigen hacia adelante, suben y atraviesan los tubos de la caldera superior, rodean después a esta caldera por la parte exterior, bajan y rodean a la inferior, pasando finalmente a la chimenea¹³.

Las calderas combinadas ofrecen ventajas con respecto a las calderas pirotubulares y acuatubulares por separado, estas ventajas están asociadas a factores como el costo de fabricación y montaje asociados a las calderas acuatubulares que son generalmente más altos. Mejora en la capacidad de respuesta en generación de vapor ante cambios drásticos en la demanda. Mayor rapidez para el inicio de la generación de vapor entre otros.

¹³ <http://es.scribd.com/doc/52623049/11/Calderas-Combinadas>

7. DIAGNOSTICO Y SITUACIÓN ACTUAL CALDERA JCT

7.1. Descripción de la caldera

El equipo objeto de estudio es la caldera principal de la planta extractora de PALMAS DEL CESAR S.A. Es una caldera de tipo combinado, es decir cuenta con una sección piro tubular y otra acuotubular.

La sección piro tubular es de dos pasos y los gases calientes son forzados a circular por un tiro inducido, mientras el aire para la combustión es aportado por dos ventiladores de tiro forzado. La entrega de vapor se realiza por la sección piro tubular al igual que la entrada de agua que esta sobre la ultima sarta de tuberías piro tubulares.

La zona acuotubular conforma un hogar de paredes de agua, con la disposición de una parrilla para la combustión y un cenicero que permanece con un nivel de agua determinado, el agua del cenicero sirve además como sello hidráulico para el aire aportado por los tiros forzados, haciendo que dicho aire suba a través de la parrilla. Las dos zonas de la caldera están acopladas por domos que conectan las secciones y permiten el flujo de agua de la zona acuotubular a la piro tubular y viceversa de acuerdo con los flujos propios del sistema en operación.

A continuación en la figura 9 se presenta una vista esquemática general de la caldera y luego se presentan las especificaciones del equipo.

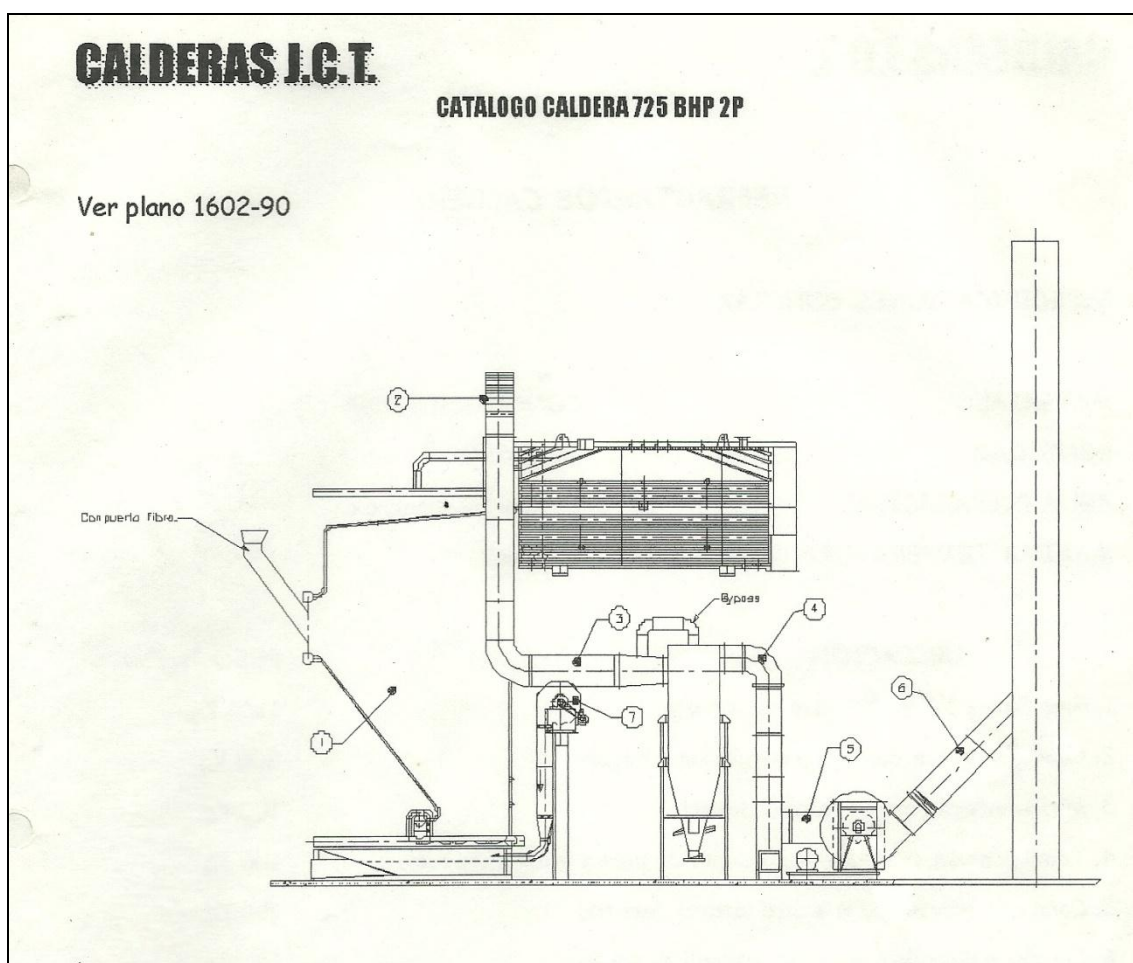


Figura 9. Vista esquemática caldera JCT Palmas del Cesar S.A.

7.2. Diagnostico de los equipos de la Caldera

Las descripciones de placa de la caldera se muestran en la tabla 1, la caldera consta de dos secciones acopladas.

Fabricante	Julio Cardona Tobon y Cia Ltda. Calderas J.C.T.
Año de Fabricación	1998
SECCIÓN PIROTUBULAR	
Equipo	Caldera Horizontal 725 Bph
Modelo	725-2p 300 Psi
Max. Presión Trabajo	300 Psi
Superficie de Calefacción	6036 Ft2
Volumen Total	34 m3
Max. Capacidad Vapor	25000 Lbs/h
Consumo Combustible	5693 Lbs/h Fibra de palma
SECCIÓN ACUOTUBULAR	
Equipo	Hogar Acuotubular 725 Bph
Max. Presión Trabajo	300 Psi
Superficie de Calefacción	1845 Ft2
Max. Capacidad Vapor	25000 Lbs/h
Consumo Combustible	5693 Lbs/h Fibra de palma

Tabla 1. Datos de placa de la Caldera

Otros elementos constitutivos de la caldera son descritos a continuación, así como una breve reseña de la instrumentación y control que soporta cada equipo, es de anotar en este punto que toda la estructura de control esta montada en lógica cableada.

7.2.1. Ventilador de tiro inducido

Este es un ventilador centrífugo conectado en succión y es el que se encarga de hacer circular los gases calientes desde el hogar hasta la zona piro tubular y de allí a la chimenea. Este ventilador genera una presión negativa en el hogar. Las especificaciones de placa del equipo se muestran en la tabla 2.

VENTILADOR	
Rpm	1140
Caudal	20200 Cfms
SP	20 In C.A.
Caída de Presión	18 in a 20 in de H2O
MOTOR	
Potencia	100 Hp
Conexión	220 V
Rpm	1780

Tabla 2. Datos placa tiro inducido

Este ventilador durante todo el tiempo que esta en operación la caldera, trabaja al máximo de sus revoluciones independientemente de las condiciones de presión y flujo de vapor. Se encuentra enclavo eléctricamente con un presostato para que se detenga una vez la caldera llega a una presión de 150 psi y vuelve a iniciar su operación cuando la presión llega a 100 psi.

Al momento de arrancar el ventilador cuenta con una compuerta de regulación de aire que se cierra cuando el motor se apaga y solo abre nuevamente cuando este arranca completamente, sin embargo este arranque es en estrella delta y se hace muy fuerte dado que la actuación de la compuerta no es muy confiable por constantes fallas en el sistema mecánico-neumático que actúa las compuertas y el motor generalmente arranca con la succión al máximo.

7.2.2. Ventiladores de tiro forzado

Son dos ventiladores centrífugos de iguales características que se encargan de empujar aire directamente al emparrillado que recibe la fibra en la parte baja del hogar.

El aire que suministran estos dos ventiladores al hogar, debe compensar en parte la cantidad de aire succionada por el tiro inducido a fin de mantener un tiro balanceado. Es decir que la cantidad de aire suministrado por los ventiladores de tiro forzado debe ser igual a la cantidad de aire succionada por el tiro inducido. Los datos de placa del equipo se presentan en la tabla 3.

VENTILADOR	
Rpm	2450
Caudal	4920 Cfms
SP	20 In C.A.
Caída de Presión	3,5 in de H2O
MOTOR	
Potencia	6,6 Hp
Conexión	220 V
Rpm	1745

Tabla 3. Datos de placa tiro forzado

Inicialmente la caldera contaba con un indicador de tiro de tipo manómetro inclinado, el cual permitía ver la presión en el hogar de la caldera en un rango de -0,20" H₂O hasta 2" H₂O, sin embargo este dispositivo no actuaba ningún mecanismo que permitiera controlar la presión del hogar, era solamente una manera de indicador. Hoy día no funciona dicho dispositivo y los ventiladores de tiro forzado trabajan al máximo de su capacidad todo el tiempo de operación de la caldera.

En la succión de estos ventiladores de tiro existen unos dampers que se pueden actuar mecánicamente, para tratar de regular o modificar el flujo de aire que aportan al hogar, estos se deben actuar manualmente y no son de fácil acceso y no se pueden actuar fácilmente, de manera que hoy día ya no funcionan y como se anoto anteriormente los ventiladores arrancan y marchan todo el tiempo al máximo.

7.2.3. Compuerta de regulación de aire

Esta es una compuerta colocada antes de la succión del ventilador de tiro inducido con la finalidad de asegurar un arranque en vacío del ventilador. Esta compuerta está accionada por un gato neumático. Esta compuerta es la encargada de garantizar el arranque en vacío del tiro inducido y cuenta con un final de carrera que da la señal de arranque a los ventiladores de tiro forzado, sin embargo la señal debe ser actuada por el operario ya que en ocasiones el final de carrera no es actuado por el gato. La compuerta solo se abre una vez el ventilador esta completamente revolucionado.

La Figura 10 muestra la posición de la compuerta y el gato.

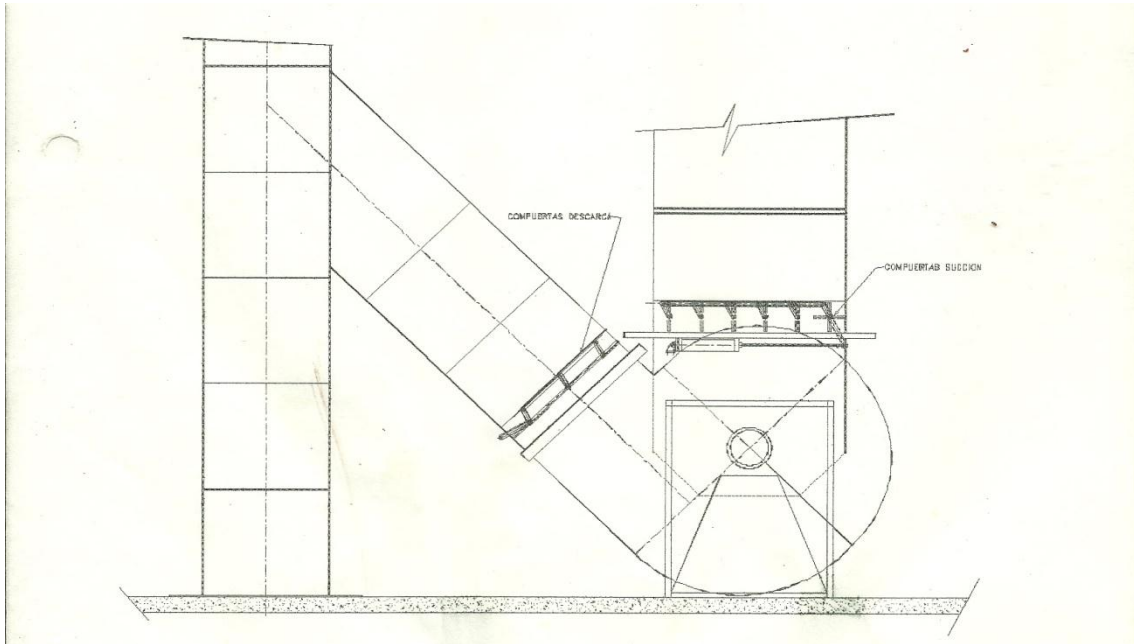


Figura 10. Ventilador de tiro inducido y sistema de compuerta de inicio

La figura 11 muestra la conexión neumática y la válvula que actúa el mecanismo.

CALDERAS I.C.T.

CATALOGO CALDERA 725 BHP 2P

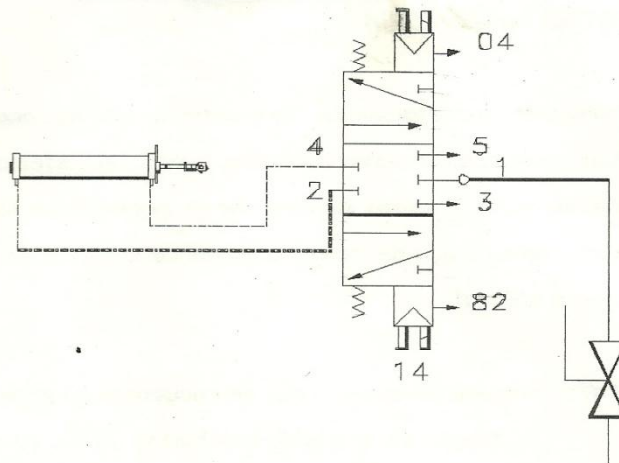


Figura 11. Válvula y conexión neumática de compuerta de inicio tiro inducido

7.2.4. Compuertas neumáticas de admisión de combustible

Estas son dos aberturas que permiten el ingreso de la fibra al hogar donde se lleva a cabo la combustión, estas compuertas se abren o cierran a través del accionamiento de un gato neumático el cual abre de manera alternada de acuerdo a la programación de unos temporizadores.

Estos temporizadores hace poco se cambiaron por un modulo programable dado los constantes inconvenientes que presentan los temporizadores mecánicos. Estas compuertas también están enclavadas eléctricamente con el presostato de tal manera que a 120 psi cierran la admisión de fibra y vuelven a abrir cuando la presión llega a 90 psi.

Los tiempos de apertura y cierre de la compuerta solo son modificables por el operario y de manera manual, la admisión del combustible es la misma durante toda la operación de la caldera y solo se interrumpe por acción del presostato al llegar a 150 psi. También reciben una señal del sistema de nivel de agua de tal manera que si el nivel de agua en la caldera es muy bajo, las compuertas se cierran.

La figura 12 muestra de manera grafica la colocación de las compuertas en la caldera, la salida de los ductos llega directamente al hogar. Las compuertas abren de manera alternada para evitar sobre acumulación de fibras en un solo lado de la caldera.

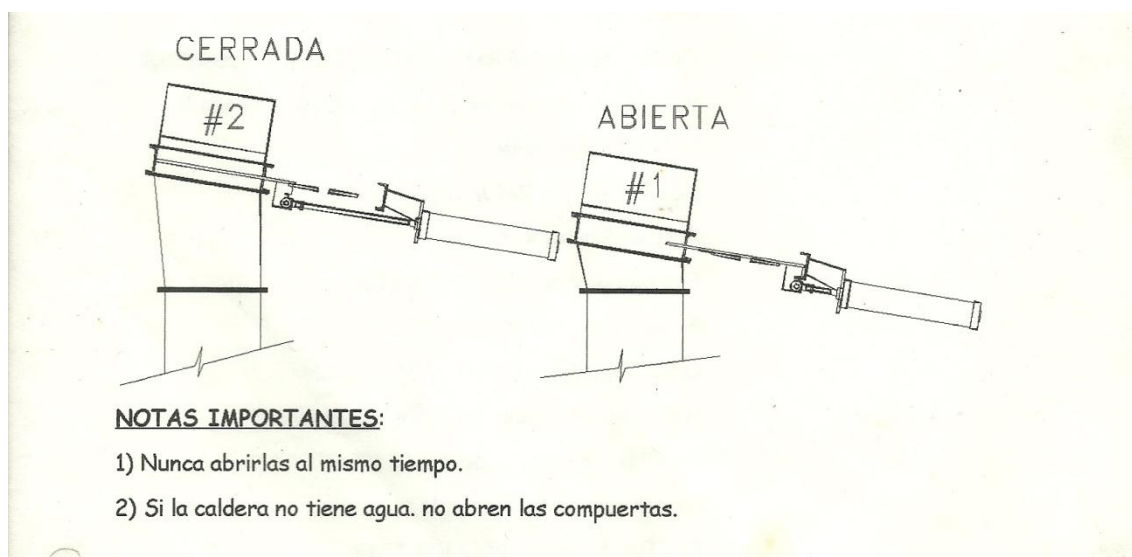


Figura 12. Disposición de compuertas de admisión de fibra combustible.

7.2.5. Tanque pulmón de agua suavizada

Es un tanque bajo nivel (subterráneo) con una capacidad de 108 m³, este tanque recibe agua suavizada de la planta de tratamiento de aguas para caldera y entrega a través de una bomba centrífuga agua suavizada fría al tanque de agua caliente de la caldera.

El tanque tiene un control de nivel local actuado por un flotador, el cual, apaga o prende la bomba de agua suavizada de la planta de tratamiento. Cuenta con una bomba centrífuga de caudal para mandar el agua al tanque de agua caliente de la

caldera, esta bomba esta controlada por el nivel del tanque de agua cliente el cual la prende o la apaga de acuerdo al nivel que tenga.

7.2.6. Tanque de agua caliente y recolección de condensados

Es el tanque que alimenta de agua la caldera, también se le llama tanque de condensados ya que a el llegan parte de los condensados las líneas de vapor de la planta, tiene una Capacidad de 10,36 m³.

Es un tanque cilíndrico colocado de manera horizontal, dispone en su interior de una flauta para la entrada de vapor el cual es suministrado por una línea de vapor de 2" Ø. Tiene un control local de temperatura que trabaja en on/off con una temperatura consiga de 90 °C el controlador actúa una válvula de accionamiento eléctrico por bobina.

El tanque cuenta con unos electrodos, tres en total que conectados a un warrrick indican el nivel del tanque. Los niveles son: bajo, muy bajo y alto. Estos niveles permiten que arranquen o no las bombas de la caldera y permiten el arranque y parada de la bomba del tanque de agua suavizada.

El inconveniente más común es que la temperatura del tanque sobrepasa el valor de consigna y en ocasiones genera cavitación en las bombas de agua de la caldera. Por otro lado la bomba de agua suavizada en ocasiones no arranca porque el tanque de agua suavizada esta vacío y no hay alguna señal que evidencie este inconveniente por lo que la caldera queda en bajo nivel sin que las bombas puedan arrancar debido a que no le llega suministro de agua al tanque de agua caliente.

7.2.7. Bombas de agua

Son dos bombas centrifuga multietapas STERLING HALBERG, de las cuales trabaja una y la otra esta como respaldo. Las bombas son movidas por un motor de 25 hp a 3600 rpm. Son accionadas por un control de nivel tipo MacDonald que controla el nivel de agua dentro de la caldera. Además están enclavadas con el nivel de agua del tanque de agua caliente de tal manera que si el nivel del tanque es muy bajo las bombas no arrancan. En ocasiones entonces las bombas no arrancan y no es claro de manera rápida determinar si es por el nivel mismo de la caldera o por el nivel del tanque de agua caliente.

7.2.8. Sistema de indicación de nivel

Es un control de nivel de tipo on/off MacDonald Miller, el cual envía la señal de nivel en tres estados, bajo, alto y extra bajo. El nivel bajo da paso a que las bombas arranquen y el nivel alto detiene las bombas, el nivel extra-bajo por el contrario detiene los ventiladores de tiro forzado, tiro inducido y cierra las compuertas de admisión de combustible.

El sistema de MacDonald Miller es muy confiable pero el hecho de que el agua entre a la caldera por baches y no de manera continua genera inconvenientes en el desempeño de la misma dada la gran cantidad de agua que entra con una temperatura menor a la cámara de generación de vapor, esto le resta eficiencia, el nivel alto por el contrario genera problemas de arrastre y turbulencias en la cámara lo cual le resta calidad al vapor generado.

7.2.9. Sistema de purgas

En la caldera se manejan purgas de fondo y purgas continuas para sólidos disueltos en la cámara de generación de vapor. Son de vital importancia para la vida útil de la caldera.

En la Figura 13 se pueden observar el sistema de purgas de la caldera que cuenta con 7 purgas de fondo, 2 purgas de transiciones y 1 purga continua en la sección piró tubular.

Las purgas se deben realizar con ciertas frecuencias y por cierto tiempo predeterminado por el analista de aguas para caldera, sin embargo el factor humano hace que no siempre se lleve a cabalidad el programa de purgas, además a 150 psi la operación de purgas puede resultar peligrosa para el operario si llega a ocurrir una fuga.

cho = 1 valvulas de $\phi 1$ "
 Seccion piro-tubular
 Seccion Acutubular
 una universal despues de ella
 ar la misma en caso de daño

DE PURGAS

la red de purgas 150 PSIG
 $\phi 2$ "
 al carbon sch 40
 a tubería= roscada y sellada con teflon
 era cada 2 mts
 = Atornillados al piso o a la estructura caldera

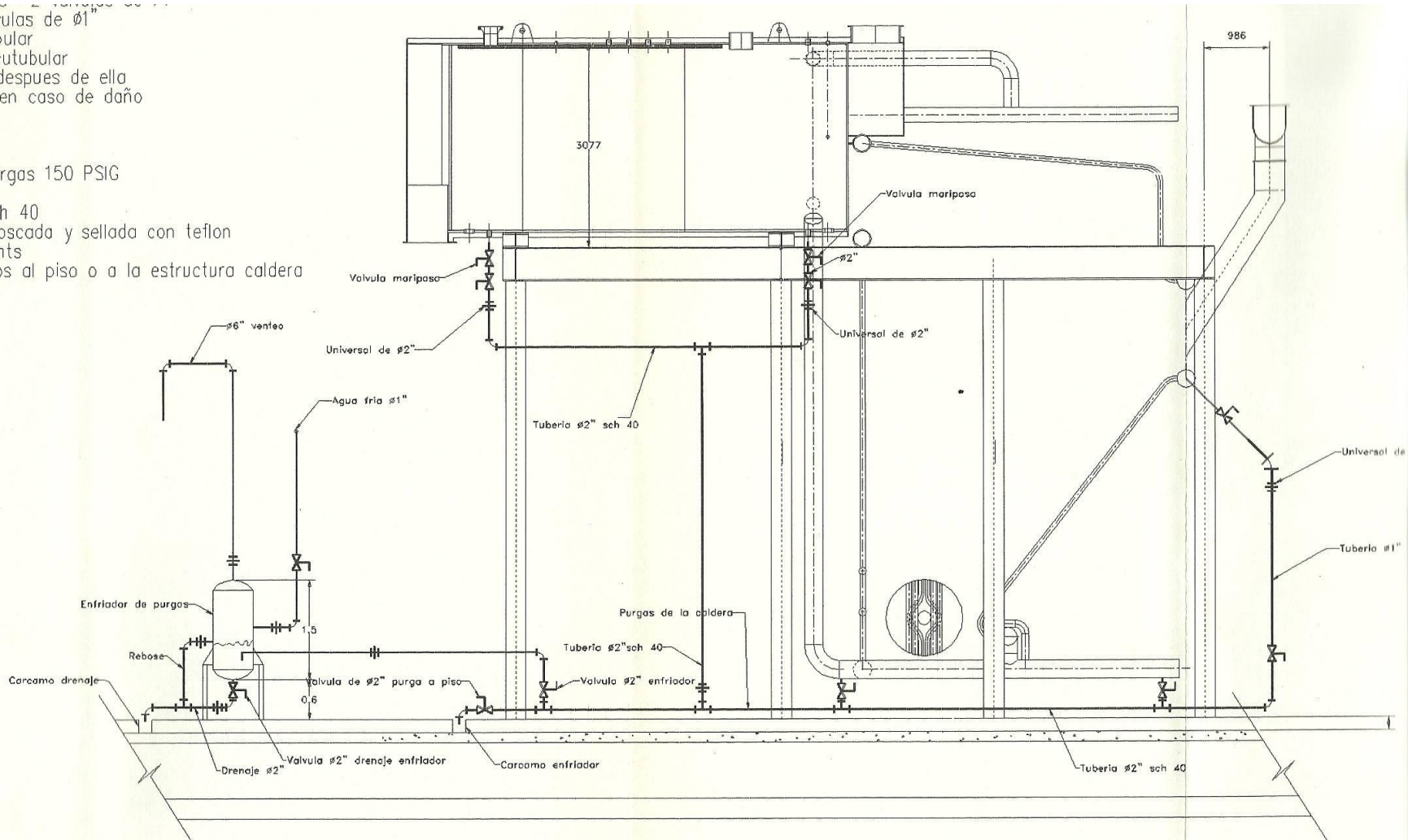


Figura 13. Distribución de válvulas de purgas de fondo y colector de purgas

7.2.10. Dosificación de químicos

Es un sistema provisto de un tanque donde se lleva a cabo la mezcla de varios productos en las cantidades que previamente aplica el personal de tratamiento de aguas y de una bomba dosificadora que tiene su descarga conectada directamente a la línea de agua caliente que viene de las bombas de agua caliente.

El tanque tiene una capacidad de 250 Lts, la bomba tiene una capacidad máxima de 6.2 Gln/hora a una presión de 100 psi.

El tanque contaba con un agitador para garantizar una mezcla homogénea, la bomba dosificadora esta enclavada eléctricamente con la bomba de agua caliente de tal manera que solo hace la inyección del químico cuando la bomba de agua caliente esta encendida.

Por otro lado el personal de tratamiento de aguas debe estar revisando con frecuencia la cantidad de químico restante para nuevamente preparar la mezcla.

7.3. Diagnostico general

Del diagnostico realizado a la caldera se pueden desprender varias conclusiones importantes tanto para su operación, mantenimiento, mejora la eficiencia energética y el cumplimiento de los requisitos legales. Entre lo observado se tiene que:

- La instrumentación que posee la caldera no permite realizar el control y monitoreo o supervisión de las variables de operación del equipo como son: Presión de vapor, Flujo de vapor, Nivel de agua, Temperatura y Presión del hogar. Adicionalmente éstas no están siendo medidas por instrumentos que permita tomar las señales resultantes para regular las variables de ajuste como: Flujo de aire, flujo de combustible, agua de alimentación entre otras.
- Con respecto al mantenimiento, la caldera no cuenta con dispositivos que permitan llevar un seguimiento a las horas de trabajo de equipos como bombas, ventiladores, válvulas rotativas y compresores, esto dificulta la programación de los futuros mantenimientos preventivos. También se presenta un alto consumo de energía ya que los diferentes equipos de la caldera trabajan todo el tiempo al máximo de su capacidad.
- No hay una monitorización del nivel de los tanques tanto de agua suavizada como del tanque de agua caliente de tal manera que en ocasiones cuando se genera el accionamiento de la alarma ya no hay tiempo de tomar medida alguna para recuperar los niveles y solo queda la opción de parar el equipo. Las bombas que entregan y sacan el agua de los tanques mencionados no están dentro de lazo de control alguno lo que permite que un tanque se vacíe sin que se evidencie de manera rápida cual de todos es el que está bajo de nivel o si hay alguna bomba fuera de servicio.

En resumen se puede establecer que con respecto a cada uno de los subsistemas de la caldera se encuentran falencias con respecto al control, monitorización y generación de alarmas, entre otras que disminuyen el desempeño y confiabilidad del equipo.

Partiendo del análisis diagnostico, se identifican cinco situaciones o problemas puntuales, y es a partir de estos, que se deberán plantear las propuestas de mejora del sistema de control e instrumentación de la caldera de PALMAS DEL CESAR S.A. las situaciones o problemas puntuales identificados son descritos a continuación:

7.4. Problemas puntuales a mejorar

7.4.1. Sistema de combustión

En la actualidad, en la caldera, no se tiene la capacidad de regular la cantidad de aire y de combustible (*Fibra del fruto de la palma de aceite*) que se necesita para mantener el balance energético. Presentándose como resultado, la falta de control en la combustión, lo que se refleja en la constante fluctuación de la *presión de vapor*, generando excesos o deficiencias de vapor para los procesos de producción de aceite.

Adicionalmente los ventiladores, tanto de tiro inducido como los de tiro forzado, operan todo el tiempo al máximo de su capacidad. Esto incrementa los costos por energía eléctrica, reduce la vida útil de motores y componentes, además, en periodos de baja demanda de vapor para el proceso, la caldera sigue generando hasta el punto que el exceso debe ser evacuado a la atmosfera por las válvulas de seguridad. La repetida actuación de las válvulas de seguridad conlleva a desajustes en las mismas y el vapor desechado involucra desperdicios en tratamiento de agua, energía de bombeo, mayor tasa retributiva entre otros recursos valiosos.

En lo referente a emisiones, la falta de control sobre la cantidad de combustible que ingresa al hogar, permite que por periodos intermitentes se incremente la cantidad de material particulado que sale por la chimenea.

7.4.2. Sistema de nivel de agua

En la caldera, no se está asegurando una cantidad de agua constante y adecuada en la cámara de generación de vapor. El flujo que entra, es determinado por un control on/of de acuerdo a unos niveles de bajo y alto. Esto afecta la eficiencia térmica de la caldera debido a que la masa de agua que entra al domo de generación, viene a menor temperatura. El control on/of, favorece el arrastre de agua, que le resta calidad al vapor y afecta tuberías, válvulas y accesorios en el proceso. Además no es posible conocer con certeza el nivel del líquido en la cámara de generación y el continuo encendido y apagado de las bombas afecta la vida útil de los componentes eléctricos, incrementa los golpes de ariete en las tuberías y conlleva altos consumo de energía.

El nivel del agua en el domo no responde a la perturbación del flujo de vapor entregado al proceso, es decir la cantidad de agua que sale como flujo de vapor no es restituida por el agua de alimentación que sería en este caso la variable de ajuste.

7.4.3. Sistema de tiro

No se está garantizando en la caldera, que la relación, entre el aire del tiro inducido y del tiro forzado, sea la adecuada para mantener balanceado el hogar. La falta de regulación, de la presión del hogar, puede ocasionar aumentos en la cantidad de material particulado que sale por la chimenea. Además, las llamas resultantes de la combustión, en ciertos momentos salen por las miras de inspección, por los espacios de la parrilla inclinada y por los intersticios de las paredes del hogar.

La caldera está diseñada para trabajar con un tiro balanceado, esté tiro ligeramente negativo garantiza que las llamas resultantes de la combustión no salgan por las paredes del hogar y que exista un adecuado flujo y temperatura de los gases calientes a través de toda la zona de transferencia.

Actualmente en la caldera no hay forma de evidenciar que presión se tiene en hogar. Los operarios hacen algunas pruebas empíricas para tener una idea de que tan

negativa es la presión y si es muy negativa proceden a abrir las compuertas frontales, esto no se debe hacer pero es una manera rápida de aumentar la presión en el hogar.

7.4.4. Sistema de purgas de fondo

A la caldera, no se le están realizando las purgas de fondo con la rigurosidad que el procedimiento lo exige, en ocasiones, no se están teniendo en cuenta las condiciones de *nivel de agua y presión de vapor*. Esta situación, genera problemas de incrustaciones, afectan la vida útil de la caldera y obliga a realizar con mayor frecuencia lavados químicos y mecánicos.

El procedimiento de purgas manual y bajo la única consideración del operador, no siempre es realizado con la periodicidad, intensidad y cantidad que establece el programa del laboratorio de tratamiento de aguas. Ya se han presentado problemas de incrustaciones severas que han obligado a lavados químicos, mecánicos y reparaciones de espejos y tubos, tanto de la zona pirotubular como acuotubular.

El personal de tratamiento de aguas, indica que se debe hacer una purga completa cada 4 horas, cada válvula se debe actuar de manera súbita y por espacio de entre 4 y 8 segundos de acuerdo con las necesidades que diariamente presenta el agua de alimentación y la dosificación de químicos. Además, entre la purga de una válvula y la siguiente, se debe esperar un tiempo de recuperación.

7.4.5. Sistema de monitorización

En la actualidad, no es posible mantener una monitorización de las variables de operación de la caldera y de las alarmas generadas en caso de fallo. Esto dificulta la toma de decisiones al personal de supervisión y genera retrasos en la operación.

Algunas fallas presentadas en los equipos de la caldera no son fáciles de detectar y obligan a operaciones de verificación que consumen tiempo valioso y extienden los tiempos de paradas.

Variables tan importantes como el nivel de agua no están siendo monitoreadas de manera constante ya que el dispositivo de nivel no está en un lugar de fácil acceso, el flujo de vapor no es medido actualmente y la presión solo es posible observarla en un manómetro pequeño.

No es posible guardar históricos que permitan evaluar el desempeño de la caldera a través del tiempo.

8. PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DE LA CALDERA DE PALMAS DEL CESAR S.A.

Las propuestas planteadas a continuación, pretenden brindarle a la caldera, un sistema de control e instrumentación, que le permita hacer la regulación necesaria a las variables de ajuste para responder de manera rápida a las perturbaciones que generan los cambios en la demanda. Se busca, que los procesos de producción de aceite, reciban el vapor a una presión lo más constante posible, en una cantidades y temperaturas adecuadas.

La monitorización y supervisión propuestas, buscarán facilitar la toma de decisiones a los responsables de la operación de la caldera, así, como al personal de mantenimiento, entregando información real y confiable de los equipos, de las fallas presentadas y una fácil interpretación de las alarmas generadas por la caldera.

La caldera es un proceso diseñado para producir vapor. El procedimiento para establecer el sistema de control inicia con la determinación de las variables de control, las magnitudes de ajuste y las entradas de perturbación. Además, es de suma importancia determinar las relaciones que existen entre las variables de entrada y de salida, tanto en estado estacionario como durante los transitorios¹⁴.

Las mejoras en el sistema de control, serán planteadas de manera general. Algunas de las propuestas toman como base el estudio “ESTADO DEL ARTE DE INSTRUMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS DE CONTROL DE CALDERAS”, el cual fue desarrollado como tesis de grado para optar al título de ingeniero electrónico por VÍCTOR JAVIER MORENO VELASCO, de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga.

A continuación se plantearán las mejoras para los problemas puntuales descritos en el numeral anterior

¹⁴ G.F.J. Gilman, Boiler Control Systems Engineering.– The Instrumentation, system, and Automation Society, 2005.

8.1. Sistema de combustión

La caldera utiliza como combustible biomasa, que está compuesta por las fibras que resultan del proceso de desfibración de fruta de palma de aceite. La cantidad de combustible suministrado viene dada por el tiempo de apertura de las compuertas de admisión, las cuales deben abrir de forma alternada para evitar la acumulación excesiva de fibra en un solo lado del hogar.

El aire para la combustión es suministrado, por dos ventiladores de tiro forzado que soplan por la parte inferior del hogar y por el ventilador de tiro inducido que succiona por la parte superior de la caldera, atravesando la sección piro tubular en dos pasos.

La mejora planteada, consiste en darle a la caldera, un control de combustión que regule los flujos de combustible y de aire para mantener el balance energético. El objetivo principal de la regulación es suministrar la cantidad de calor necesario para suplir la demanda de vapor.

La variable más representativa en este sistema es la *presión de vapor* de la caldera; su variación refleja cambios en casi todas las variables del sistema de control y se tomará por lo tanto como la variable controlada y el flujo de combustión conformado por aire y combustible como la magnitud de ajuste, el flujo de vapor, condicionado a las variables de demanda de los procesos de extracción, constituye la entrada perturbadora.

El sistema de control deberá mantener adicionalmente, una relación aire/combustión específica, para que la combustión se realice en forma optima. Está relación es determinada de acuerdo a las características propias de la fibra que funciona como combustible. Además, la cantidad de aire requiere una caracterización de las capacidades de los ventiladores y de la relación entre el aire soplado por los ventiladores de tiro forzado y el aire succionado por el tiro inducido.

Una insuficiencia de aire dará por resultado que el combustible suministrado no se queme completamente generando además problemas con las emisiones; demasiado aire ocasiona pérdidas de calor que se fugan con los gases de escape que son liberados a la atmosfera demasiado calientes. Un exceso de aire requiere también mayor consumo de potencia en los ventiladores.

8.1.1. Lazo de control de combustión

Este lazo buscará lograr el balance energético necesario a fin de mantener la presión de vapor en un valor lo más cercano posible al valor de consigna.

El lazo de control que se plantea es una versión del llamado ***Positioning System***¹¹ dada la dificultad para medir el combustible utilizado. Sin embargo se parte de medir la presión de vapor, y una caracterización de la cantidad de fibra combustible que ingresa al hogar por unidad de tiempo y con la caracterización del caudal de los ventiladores con respecto a la frecuencia.

Dadas las condiciones particulares de los procesos de la planta, es necesario realizar la caracterización de los flujos de combustión, para dos escenarios diferentes ya que el proceso de prensado y el de desfibración, donde se generan las fibras para la combustión, pueden trabajar con dos (2) o tres (3) prensas según sea necesario dadas

las condiciones en la planta. En cada uno de estos casos las cantidades de combustible disponible y la demanda de vapor son diferentes.

La relación de Combustible/aire dependerá de la curva característica de eficiencia de la caldera, y dicha curva será necesario generarla a partir de datos obtenidos en su operación actual.

El caudal de aire generado por los ventiladores de tiro forzado será caracterizado a partir de la frecuencia, ya que la modulación se realizará con variadores de velocidad tanto en los tiros forzados como en el tiro inducido; esto obliga a enlazar más adelante el lazo de control de tiro para lograr mantener el balance en el hogar.

Lo que se plantea en definitiva es, partir de la medida de presión de vapor para ajustar el tiempo de apertura de las compuertas de admisión de fibra y a partir de la regulación del combustible, se ajustarán la frecuencia de los variadores al valor que corresponda a un caudal determinado de aire.

Por investigaciones en calderas montadas recientemente en otras plantas extractoras de la zona central y que trabajan utilizando como combustible, la fibra del fruto de la palma de aceite, se ha encontrado, que el controlador PID entrega buenos resultados para el control de combustión, el esquema del lazo esperado se muestra en la figura 14, sin embargo las pruebas de campo determinaran en última instancia si es necesario el PID o basta con alguna de sus variaciones.

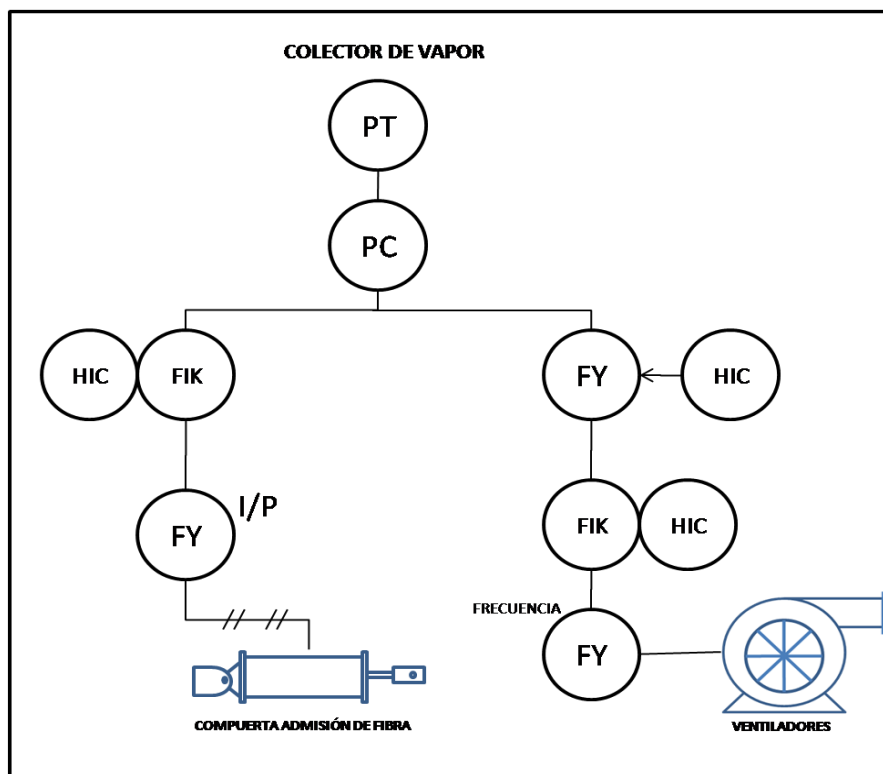


Figura 14. Control de la combustión mediante positioning system

8.2. Sistema de nivel de agua

El sistema debe regular la entrada de agua a la caldera para asegurar un nivel adecuado. Para la caldera de Palmas del Cesar, el nivel de agua debe estar, 7 in por encima de la última línea de tubos de la zona piro tubular en la cámara de generación de vapor.

El suministro constante de agua a la caldera reduce las pérdidas de eficiencia térmica ya que el agua ingresa en una cantidad similar a la que sale como vapor. La temperatura del agua de alimentación es menor a la temperatura del agua en la cámara de generación, por lo tanto, si ingresa agua en grandes cantidades a la caldera, la eficiencia térmica disminuye. Hay que aclarar, que el tanque de alimentación es atmosférico, es decir la presión en el tanque es la presión atmosférica, por ende, el agua de alimentación no se puede calentar a más de 94 °C para evitar inconvenientes con el sistema de bombeo.

Se plantea entonces un sistema de control donde la magnitud a controlar es el nivel de agua en el domo, la magnitud de ajuste es el agua de alimentación que suministra la bomba y la perturbación del sistema es el flujo de vapor en función de la demanda del proceso.

8.2.1. Lazo de control de nivel de agua

El sistema consta de dos elementos, de tal forma que hay medición de nivel del domo y medición del caudal de vapor entregado por la caldera, esta medición de caudal es para compensar o ajustar el nivel en virtud de los cambios rápidos en los valores de la demanda de vapor en el proceso.

El nivel del domo tomará su lectura con un transmisor de presión diferencial dado que el agua en el domo se encuentra en dos fases, esto implicará por supuesto la correcta selección del dispositivo y su instalación toda vez que en estos dos aspectos hay mucho que atender para un correcto funcionamiento del sistema.

La regulación del agua de alimentación se realizará con la modulación de la frecuencia del motor de la bomba, un variador ajustará la velocidad de la bomba a fin de lograr el caudal necesario. El nivel del tanque de agua de alimentación también es monitoreado ya que si el nivel baja demasiado, no será posible bombear el agua.

La figura 15 muestra la configuración esperada del lazo de control, en el se contempla la inclusión de un Feedforward, para mejorar la respuesta ante los cambios rápidos en la demanda del vapor.

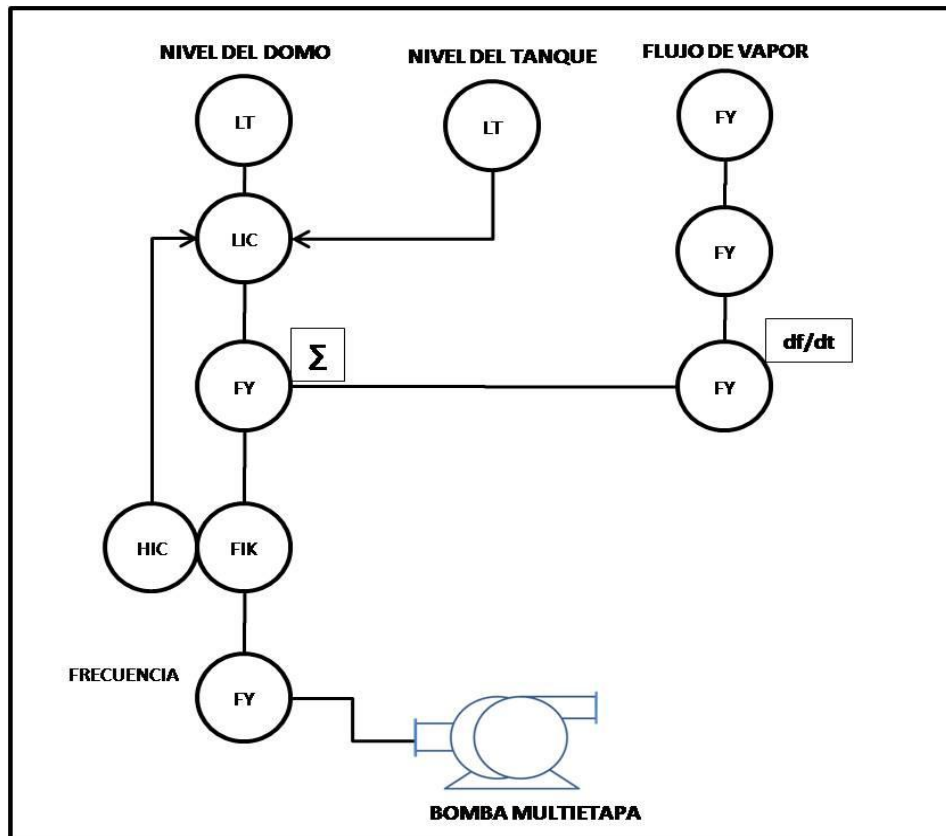


Figura 15. Control de nivel de agua de dos elementos.

En el esquema planteado, la influencia del feedforward se aplica a través de una unidad de función derivativa. Si no se producen variaciones en la demanda, esta señal no afectara el elemento final de control, siendo este comandado únicamente por el controlador de nivel, pero cuando se produce por ejemplo, un aumento en la demanda, esta unidad derivativa implementara una acción correctiva, aumentando rápidamente la señal al elemento final de control. A medida que la demanda se estabilice en un nuevo valor, esta unidad disminuirá lentamente su acción correctiva hasta llegar a cero, actuando a partir de ahí solamente el control de nivel¹¹.

8.3. Sistema de tiro

Como ya se ha mencionado anteriormente, el hogar de la caldera debe trabajar balanceado, por tanto la presión del hogar en la zona de combustión debe estar en cierto valor, que de acuerdo con el fabricante debe ser cercano a cero siendo ligeramente negativa, hasta unos 0,2 “ de H2O.

El objeto del sistema es entonces lograr balancear la presión del hogar con la actuación del ventilador de tiro inducido para contrarrestar la presión generada por la inyección de aire de los ventiladores de tiro forzado y la combustión.

8.3.1. Lazo de control presión del hogar

El lazo que se plantea consta de dos elementos, uno es la medición de la presión directa del hogar y el otro tiene en cuenta la señal proveniente del lazo de combustión, toda vez que un ajuste en la cantidad de aire requerido por la combustión involucra un cambio en las condiciones del hogar.

Ya que se trabajara con la variación de la frecuencia de los ventiladores de tiro inducido y tiro forzado, teniendo en cuenta que estos ajustes en frecuencia estarán relacionados con los caudales respectivos de estos equipos, es necesario hacer una correcta caracterización de los mismos durante la operación.

En la figura 16, se muestra lo que sería el esquema del lazo de control para la presión del hogar con referencia los dos elementos citados.

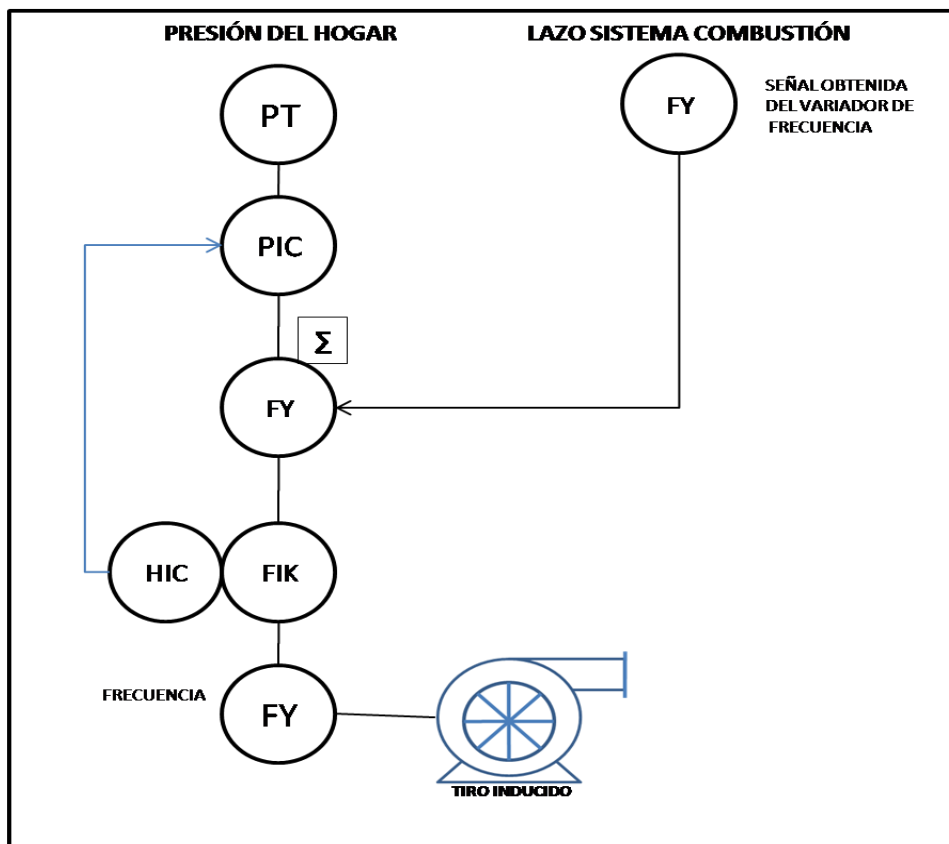


Figura 16. Lazo de control presión del hogar con referencia de presión y caudal

La medición del caudal de aire empujado al hogar por los ventiladores de tiro forzado no es en sí realizada directamente dada las características particulares de la caldera, pero tras una caracterización de estos ventiladores se podrá utilizar la señal de frecuencia que se obtiene del variador de velocidad.

8.4. Sistema de purgas de fondo

Es importante aclarar en este punto que se plantea un control para las purgas de fondo ya que son las que han venido presentando problemas de incrustaciones. Para los sólidos disueltos, seguirá funcionando el sistema de purga continua, en virtud de que la calidad del agua de alimentación presenta relativamente pocos minerales y el monitoreo no ha presentado valores fuera de los parámetros.

La finalidad del control consiste en realizar unas purgas cada cierto tiempo, que se realicen de manera súbita, por un tiempo adecuado y bajo condiciones de seguridad para el personal de operación, además que permita de manera rápida ajustar los parámetros de las purgas de acuerdo con los requerimientos que establezca el control de calidad de la planta.

8.4.1. Lazo de control purgas de fondo

Las purgas se deben realizar teniendo en cuenta ciertas condiciones de operación, partimos de que máximo cada 24 horas es necesario apagar la caldera por un mínimo de 1.5 horas para la remoción de las cenizas, luego de esta operación la caldera debe realizar la primera purga una vez llegue nuevamente a 50 psi y posterior a esta primera purga se inicia el ciclo acorde con la indicación de control de calidad.

Para realizar las purgas sin excepción, es necesario verificar que el nivel de agua no este en bajo, esto es una medida de seguridad que el operario no siempre tiene en cuenta pero es fundamental ya que puede bajar demasiado el nivel del agua y poner en riesgo el equipo. Otro factor a tener en cuenta por el control es que las purgas no se deben realizar si la presión esta por debajo de un mínimo de 80 psi, esto ya que el fabricante recomienda que por debajo de esta presión la purga no lograra vencer la resistencia del sistema de escape y condensación de purgas.

Otro aspecto de las purgas es que, entre la apertura de una válvula y otra debe transcurrir un tiempo determinado para que el sistema se estabilice y este tiempo es mayor a la hora de las purgas de la zona piro tubular.

La figura 17 muestra el esquema del lazo de control propuesto para las purgas de fondo.

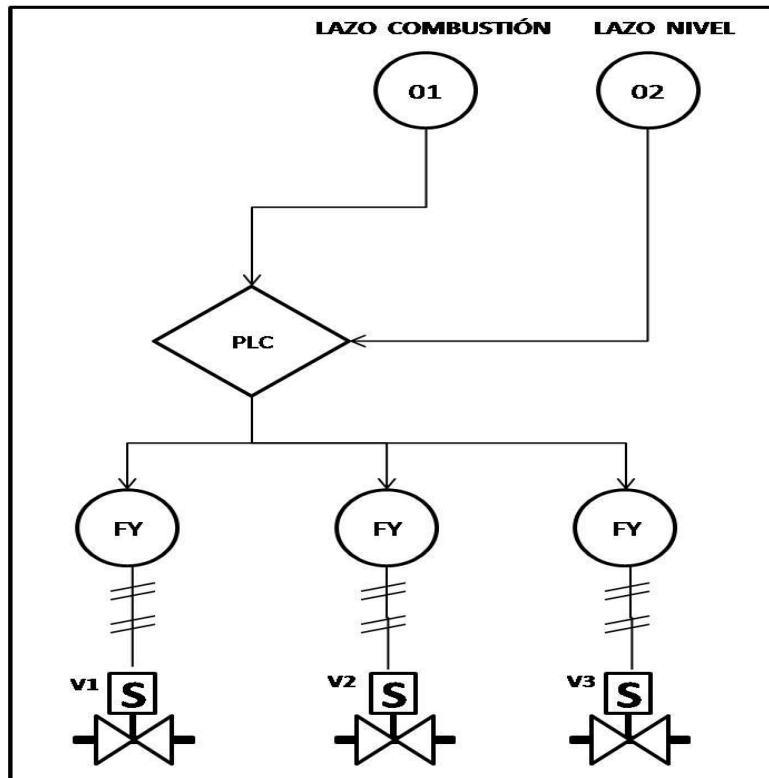


Figura 17. Diagrama de control para las purgas de fondo.

El lazo toma información del lazo de control de nivel y del lazo de combustión para garantizar las condiciones requeridas para una correcta purga. Además en la parte de programación del lazo en el PLC, se deben tener en cuenta que si la condición de bajo nivel aparece durante la ejecución del ciclo, este deberá suspenderse y retomarse una vez se restablezca el nivel adecuado en el domo.

8.5. Sistema de monitorización

La monitorización de los procesos y las variables que están involucradas en ellos permite hacer un seguimiento rápido al desempeño del equipo. Además, es necesario que el sistema, brinde información que permita responder de manera rápida a las fallas presentadas y evidenciar posibles síntomas que pueden llegar a fallas futuras.

Se plantea la utilización de un PLC que funcionará como el centro de control regulatorio y del sistema de S.S.E. con una HMI en la estación de operación y con una salida adicional para monitorización desde la sala de supervisión; de tal manera que en él sea posible seguir variables de proceso pero también las variables de operación de los motores como amperajes y horas de trabajo entre otras que resulten pertinentes.

Los diferentes sensores requeridos para los lazos de control, tendrán sus indicadores en sitio como sistema de soporte para operación en caso de falla del sistema. La figura 18 muestra esquemáticamente como se plantearía la estructura.

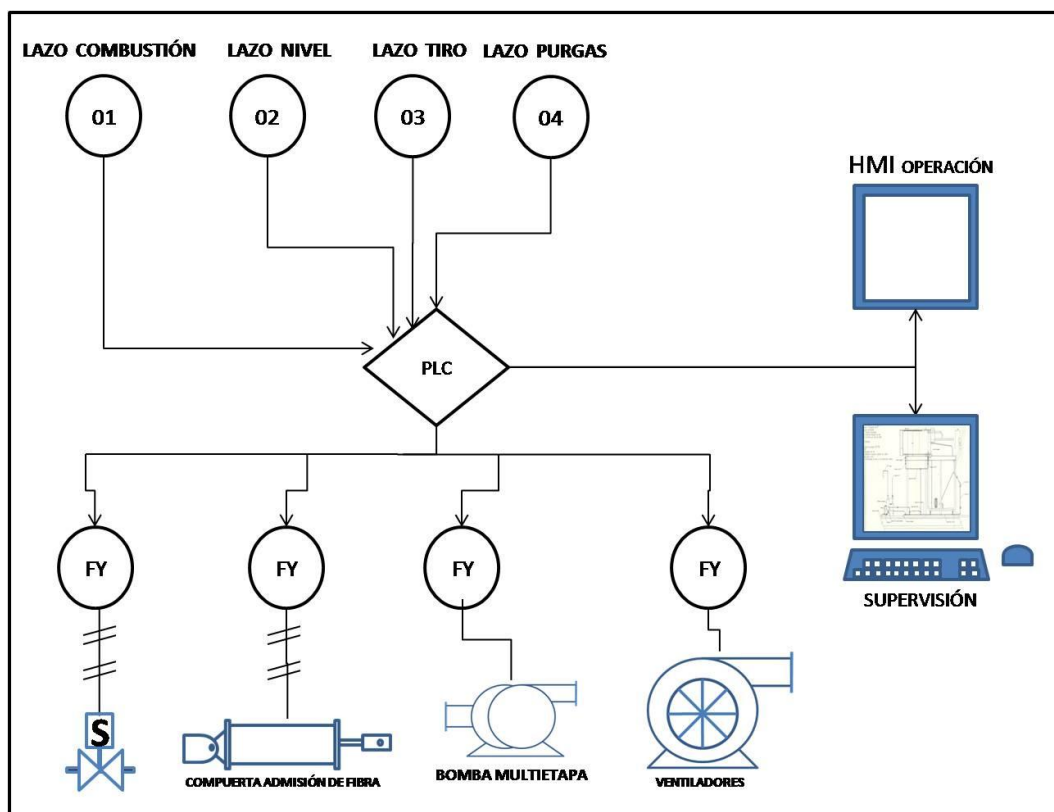


Figura 18. Esquema de la estructura de control y supervisión.

Equipos como los variadores de velocidad y algunos sensores permiten protocolos de comunicación como modbus y pueden entregar además gran cantidad de información del equipo, en tal sentido se dispondrá de información que será valiosa para el seguimiento de los mismos.

El sistema de S.S.E. debe quedar inscrito en el PLC y se debe garantizar que las condiciones de seguridad estén correctamente definidas para evitar que la caldera se opere en condiciones inseguras.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo de monografía desarrollado, establece las bases para una futura implementación de un sistema de control e instrumentación para la caldera de la planta de beneficio de Palmas del Cesar S.A. con las acciones propuestas, se le puede dar a la caldera una mejora significativa en su capacidad para operar de manera eficiente y segura.

El diagnóstico realizado en la caldera permitió confirmar, que los retrasos en el proceso por causas relacionadas con el vapor, generalmente tienen su origen en la imposibilidad de la caldera de regular la presión y el flujo de vapor.

En el proceso de desarrollo, del trabajo de monografía, se hizo evidente, que las herramientas de control e instrumentación pueden ser una solución rápida, confiable y accesible para problemas puntuales de la empresa. Esto permitirá a futuro continuar la aplicación de los principios de automatización y control en otros procesos de la planta.

En el ámbito académico no es fácil conseguir información relativa y específica a calderas de combustión de biomasa, en especial a las que trabajan con subproductos de la palma de aceite. Puede ser pertinente que las universidades de la región de Santander se orienten más a estos equipos ya que la zona palmera central está ubicada en su totalidad bajo la influencia de Bucaramanga y son hoy día más de 10 plantas que están operando en esta zona. Además muchos de los subproductos de estas plantas son usados como combustible para generación de vapor en plantas de diferentes sectores industriales en Bucaramanga.

La operación y control de calderas diseñadas para quemar fibra de palma y cuesco, guarda ciertas diferencias con los esquemas que normalmente se aplican a las calderas de combustibles fósiles, pero en esencia afrontan los mismos desafíos y problemas fundamentales, es por ello que se pueden tomar las investigaciones de las calderas de fuel oil u otros combustibles fósiles como un punto de partida para hacer mejoras en calderas de biomasa.

La instrumentación y el control hoy día se han vuelto algo muy accesible para todo tipo de industria, es especial por la gran oferta de equipos que existe y el ingreso de nuevos fabricantes en especial los equipos orientales que en ocasiones pueden ser más que suficientes para aplicaciones puntuales.

El crecimiento en la demanda de capacidad de las plantas industriales exige al personal técnico de éstas a buscar soluciones a problemas que otrora se podían pasar desapercibidos o que se podían ocultar por una instalación sobredimensionada. La instrumentación y el control surgen entonces como una opción para afrontar estos problemas mejorando la capacidad de los equipos, su calidad y algo muy importante dándole la capacidad a estos de generar información muy valiosa para los procesos de soporte como mantenimiento, compras y gestión.

El establecimiento de los biocombustibles, en especial el biodiesel como una opción viable y real de energía, exige que las plantas extractoras de aceite de palma, materia prima de este producto, estén a la altura del sector petroquímico, y dado la gran cantidad de hectáreas que están siendo cultivadas en palma de aceite cada día las plantas se verán exigidas a lograr el pleno uso de sus capacidad instalada. La generación de vapor es el corazón de una planta de aceite de palma, una falla en este

sistema detendrá completamente la producción, entonces hay que apuntarle a que los equipos de generación trabajen al máximo de su eficiencia.

El consumo de energía es uno de los principales rubros para la planta extractora ya que en la actualidad no se cuenta con un sistema de cogeneración, la aplicación de controles regulatorios en la caldera lograra generar ahorros en los consumos toda vez que se busca ajustar los diferentes equipos a la demanda existente en todo momento.

10. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite guía para facilitadores, esterilización de racimos de fruta de palma. Edgar Yáñez, Jesús García, Lina Martínez, CENIPALMA. 2010.
- 2 Alexander Gómez, Wolfgang Klose, Sonia Rincón. Pirolisis de Biomasa, cuesco de palma de aceite. Universidad nacional de Colombia / Universidad de Kassel Alemania. 2008.
- 3 Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Noel Wambeck, FEDEPALMA 2005.
- 4 Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass, Users Network (BUN-CA). -1 ed. –San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.
- 5 Julio Cardona Tobon & Cia. Calderas JCT. Catalogo caldera 725 bph 2p. Medellín 1993.
- 6 <http://www.mitecnologico.com/ie/Main/GeneralidadesYClasificacionDeCalderas>
- 7 Gonzalo Rodríguez Guerrero, Operación de Calderas Industriales. Ecoe Ediciones. 2000.
- 8 <http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-control-de-calderas/133-cap-12-tipos-de-calderas.html>
- 9 http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm_04.pdf
- 10 Gonzalo Rodríguez Guerrero, Operación de Calderas Industriales. Ecoe Ediciones. 2000.
- 11 Víctor Javier Moreno Velasco, ESTADO DEL ARTE DE INSTRUMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS DE CONTROL DE CALDERAS. Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga 2011.
- 12 http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm_04.pdf
- 13 <http://es.scribd.com/doc/52623049/11/Calderas-Combinadas>
- 14 G.F.J. Gilman, Boiler Control Systems Engineering.– The Instrumentation, system, and Automation Society, 2005.