

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Tucumán
Escuela de Posgrado

**ANALISIS DE CALDERAS DE LECHO
FLUIDIZADO PARA BIOMASA VEGETAL.**

Ing. Humberto Ariel Bellotto

**Trabajo Final Integrador para optar al Grado Académico
Superior de Especialista en Ingeniería Bioenergética**

Tutor: Dr. Edgardo Bertini

San Miguel de Tucumán

Año 2016

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar el perfil técnico de calderas de lecho fluidizado empleando biomasa como combustible, con el fin de exponer aspectos destacados de sus componentes que impactan en la eficiencia y la operatividad del proceso de combustión, donde, el calor procedente de una fuente de energía renovable se transforma en energía utilizable a través de un medio de transporte en fase de vapor.

Se exponen las circunstancias requeridas tanto técnicas como termodinámicas aplicables en las actividades productivas de este tipo, siendo las más importantes de la provincia de Tucumán y de la región del NOA.

Los elementos industriales mostrados tienen una marcada relevancia en la producción de energía producida para utilizar en la producción de azúcar, bioetanol y electricidad, por ser el funcionamiento de estos equipos esenciales en la producción de energía calórica como reemplazo total o parcial de metano en la producción.

Se detalla el estudio de un caso de cogeneración que permite exponer el consumo de bagazo, rendimientos térmicos y exergéticos de la combinación de las actividades productivas.

Los parámetros del combustible, Poder calorífico, Humedad, y Composición, se indican incluyendo normas de materiales y diseño estructural y mecánico.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	2
ESQUEMAS DE CASOS DE PRODUCCION	
- Evaluación de caso Cogeneración	3
DESCRIPCION DE EQUIPOS CONSTITUYENTES.....	4
PRINCIPALES ASPECTOS DE INGENIERIA.....	14
PARAMETROS PARA PROYECTOS.....	18
NORMAS APLICADAS A LA CONSTRUCCION.....	19
CONCLUSIONES.....	20

INTRODUCCIÓN

Las Energías renovables más familiares son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo existen otras fuentes de energías renovables, los biocombustibles sólidos. Ante la necesidad de aumentar el consumo de energías renovables, fuentes inagotables de energía, desde la óptica de la capacidad de regenerarse, tomamos la biomasa como fuente energética con gran potencial para reemplazar combustibles de origen fósil.

Biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de arboles, plantas, desechos animales, o resultante de agricultura (residuos de maíz, café, arroz, caña de azúcar, de aserraderos, podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos.

La forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola, en este punto es conveniente establecer que este proceso requiere realizarse eficientemente. Los procesos modernos de conversión de biomasa suplen 3% del consumo de energía primaria de los países industrializados.

Característica de la biomasa, para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan. Estos determinan el proceso de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales que se deseen obtener.

La combustión directa, es la forma más antigua y más común hasta hoy para extraer la energía de la biomasa. El calor generado durante este proceso se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales o generación de electricidad, o producción simultánea de dos o más tipos de energía, dando lugar a la **Cogeneración**.

OBJETIVOS

Por ser la producción de vapor a través de combustible de origen vegetal una de las actividades productivas más importantes para fabricación de azúcar, bioetanol y electricidad en la provincia de Tucumán y de la región NOA, el objetivo de este trabajo es considerar las soluciones tecnológicas que impacten en mejorar la eficiencia productiva desde el punto de vista de la combustión. Se mostrarán un conjunto de elementos relevantes debido a la importancia de los procesos involucrados en los sistemas, pueden ser insuficientes las prácticas aplicadas, ya que mucha de la energía liberada se desperdicia, a través de pérdidas y contaminación. Estos efectos se podrían disminuir considerablemente con prácticas y diseños adecuados, lo cual expondremos los principales aspectos.

Evaluamos un caso específico de combustible renovable: el bagazo de caña de azúcar.

ESQUEMAS DE PRODUCCION A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR

Se comparan y evalúan dos alternativas de cogeneración. Los casos a considerar contemplan la situación actual de equipamiento en operación del sector, analizando las presiones de las calderas con turbinas de contrapresión y calderas de lecho fluidizado burbujeante con turbinas de vapor del tipo extracción-condensación.

Las alternativas posibles son analizados energética y exergéticamente. .

El uso del bagazo como combustible para la cogeneración permite a las fábricas de azúcar ser autosuficientes en la generación de energía térmica y eléctrica, incluso con sistemas de baja eficiencia.

La nueva realidad del mercado, que prevé vender excedentes de electricidad y a la vez lograr mayores excedentes de bagazo para su uso como materia prima en otras producciones, implica la necesidad de buscar un compromiso entre los factores (por ej., bagazo para obtención de otros productos, etanol, o bagazo para la producción de electricidad).

EVALUACION DE DIFERENTES TIPOS DE COGENERACION

Tomamos como referencia al esquema típico que se encuentra instalado en las fábricas de azúcar, ciclo de vapor con turbina de contrapresión, calderas bagaceras de baja eficiencia energética, que generan vapor a 20 atm de presión y temperatura 320 °C. El proceso es el que determina la cantidad de vapor a ser producida por la caldera ya que no se cuenta con un sistema de condensación. Este esquema es factible de operar en temporada de zafra cuando el proceso está en desarrollo.

La alternativa de generación, sería emplear una caldera de lecho fluidizado burbujeante operando a una presión de 67 atm y temperatura de 540 °C.

Se obtienen los resultados que se reflejan a continuación

Parámetro	Caso 1	Caso 2
<i>Temperatura</i>	320°	540°
<i>Presión operación</i>	20 atm	67 atm
<i>Consumo de bagazo por Tn de caña</i>	360	249
<i>Rend. Termico (%)</i>	62,5	87,4
<i>Rend. Exergético (%)</i>	18.6	21.2

Como puede verse, operando la caldera a mayor presión y temperatura de vapor, esto es, utilizando mejor tecnología, el requerimiento de bagazo es menor para igual volumen de vapor, lo que se traduce en un ahorro de bagazo.

DESCRIPCION DE EQUIPOS CONSTITUYENTES

Una Caldera es un recipiente cerrado que produce vapor de agua a presión superior a la atmosférica. Se exceptúan en nuestro análisis, las calderas de baja presión y las calderas de pequeña superficie.

Los criterios de diseño actuales están agrupados en dos aspectos centrales, uno, basado en alta eficiencia térmica y segundo, bajo costo operacional.

En función de esto las características básicas empleadas, hogar membranado 100%, equipos de alimentación mixtos en cantidad redundantes, sistema de limpieza de grillas fijos y estructura metálica tipo colgante antisísmica. Como se muestra en la figura 1.

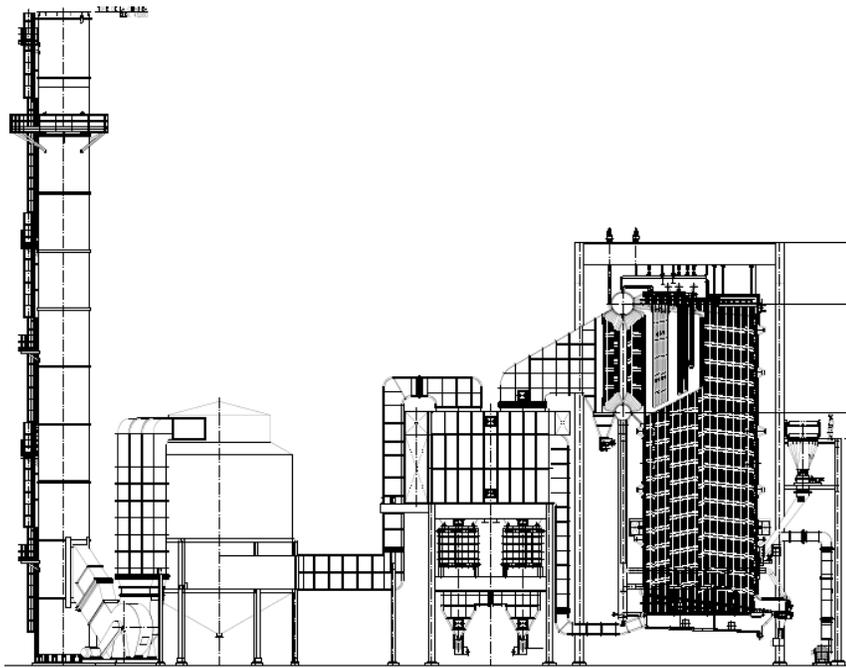


Fig 1: Vista lateral Caldera APU67-7GI-PSE 200 tn/hr, 68.3 kg/cm².

En el NOA se encuentran varias calderas alimentadas con combustible bagazo al 100% para presiones de 40 a 70 Kg/cm², producciones 80 a 200 Tn/h y temperaturas hasta 520 °C, la alimentación del bagazo se realiza por esparcidores mecánicos y con sopladores móviles se distribuyen en toda la superficie horizontal del hogar, siendo esta una gran diferencia a antiguos diseños donde la potencia estaba definida por la potencia de la parrilla (combustible hora / superficie parrilla). Fig. 2.

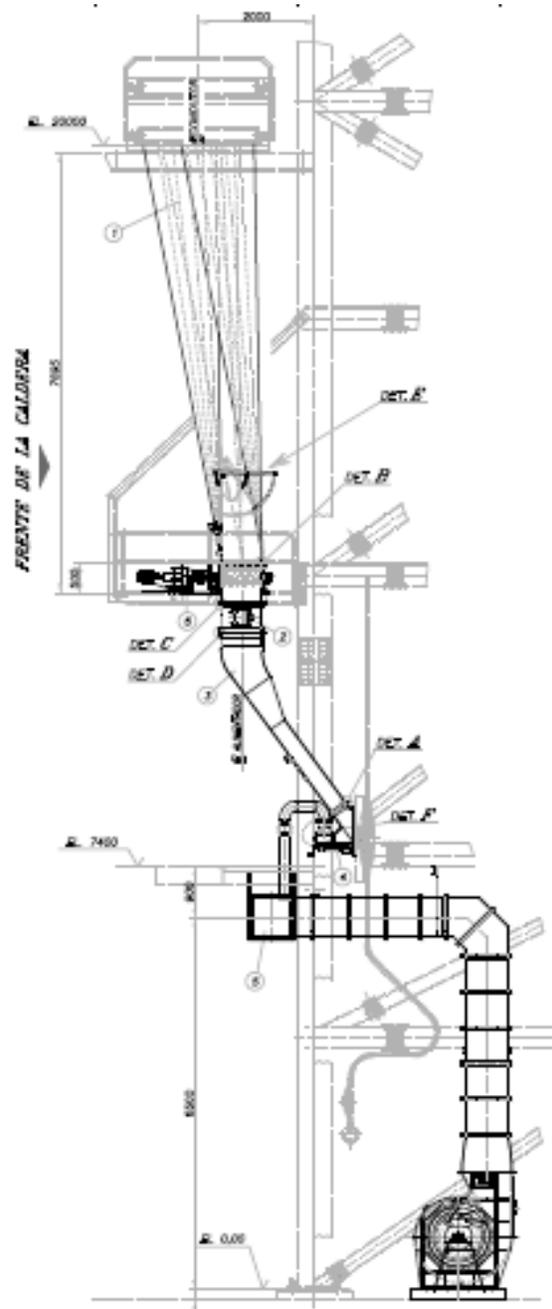


Fig. 2: Vista lateral sistema alimentación bagazo y aire.

Las calderas son diseñadas con Parrillas PHC- Pin Hole Continuous, de limpieza automática de las cenizas con vapor, en posición inclinada hacia el frente (7°) y soportada por tubos de agua. Esta es la mejor opción para quema de bagazo, donde se requiere un sistema de limpieza de cenizas sin ninguna caída de presión o reducción de producción de vapor.

La limpieza es automática, a través de válvulas neumáticas. Los tiempos de limpieza e intervalos pueden ser controlados según las condiciones de la laceriza. Los costos de mantenimiento son muy bajos, esencialmente por falta de piezas móviles y por los desarrollos en el diseño de los nozzles. Además la PHC es enfriada por los tubos de la pared trasera del hogar, siendo la mejor opción cuando se requiere altas temperaturas de aire de combustión. Fig. 3 y Fig. 4.

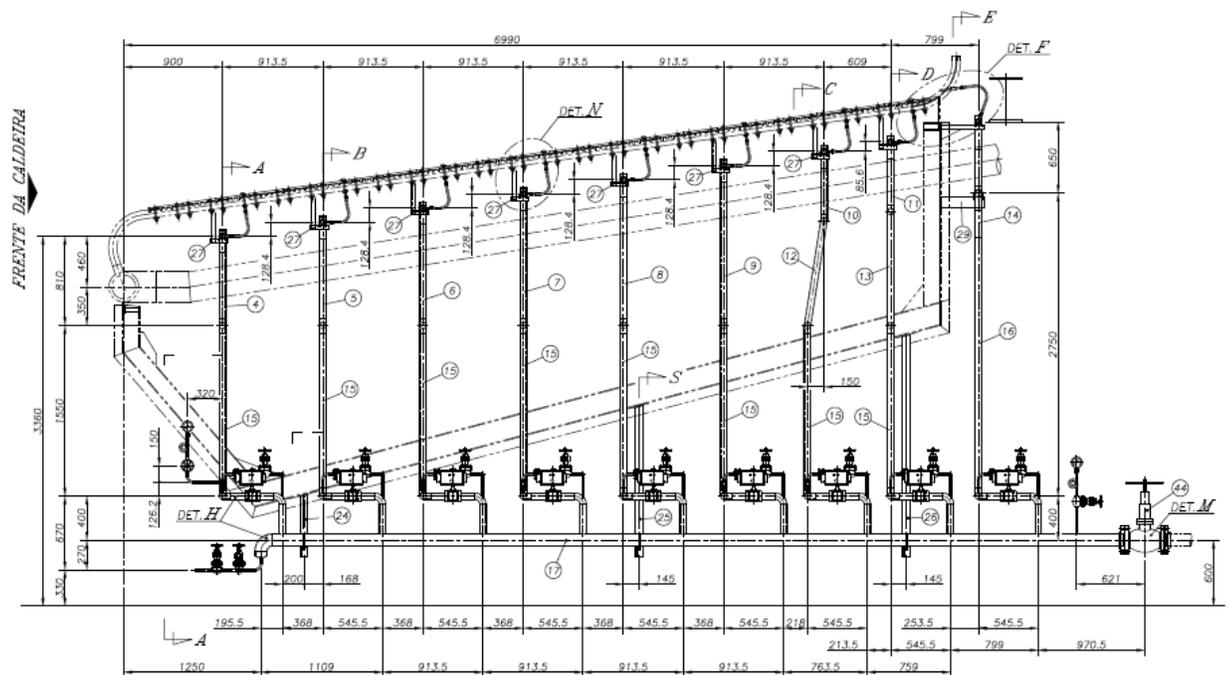


Fig. 3. Vista lateral hogar, detalle sistema inyección aire de limpieza.

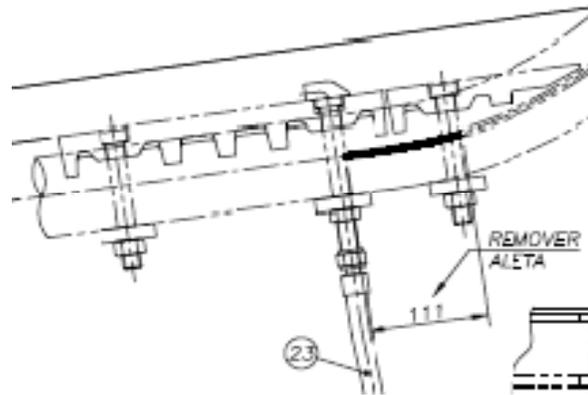


Fig. 4. Detalle dispositivo de inyección aire de limpieza. PHC

Los hogares son amplios de sección rectangular, diseñados con paredes de agua tubo-membrana con caños de 3" nominal ($\text{Ø } 76.2 \text{ mm} \times 4.57 \text{ mm}$ de espesor) calidad ASTM A -178, con Lc entre centros 102 mm, totalmente sellados, con baja carga volumétrica y gran altura para proporcionar un tiempo adecuado de residencias de partículas, necesario para su combustión completa. Altura típica 14 a 20 mts, medido entre tubos inferiores y superiores. La relación de producción es 80 kg vapor hr / m². Fig. 5. Imagen 1, piso y lateral trasero Caldera.

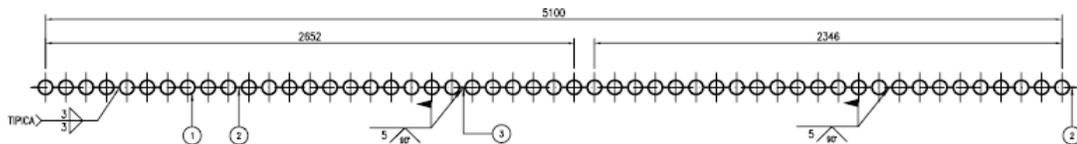


Fig. 5. Detalle pared de agua típica

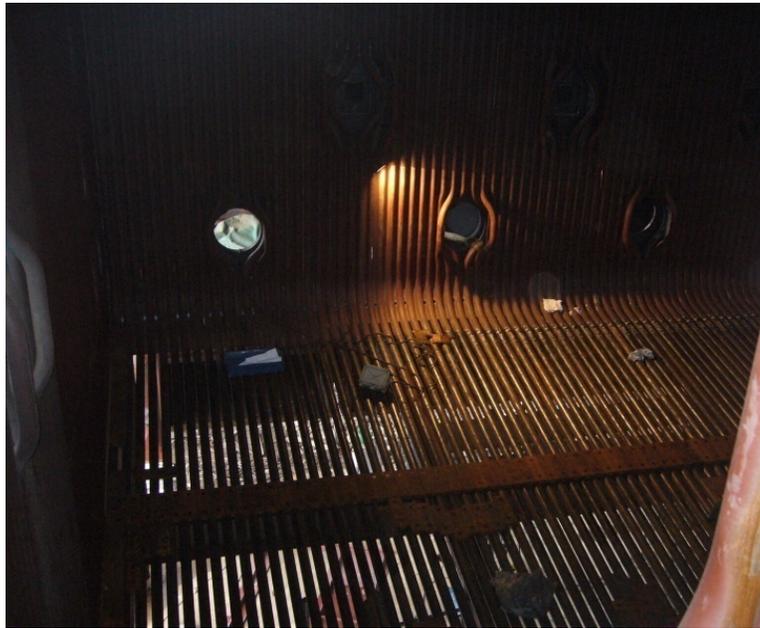


Imagen 1. Tubos inferiores hogar y pared trasera.

El Haz Convectivo con flujo de gases en un solo pasaje, tubos diámetro 2 ½" (Ø 63.5 mm x 3.4 mm de espesor) Calidad ASTM A-178 con extremos reducidos a 2", espaciados a 106 mm. Fig 6.

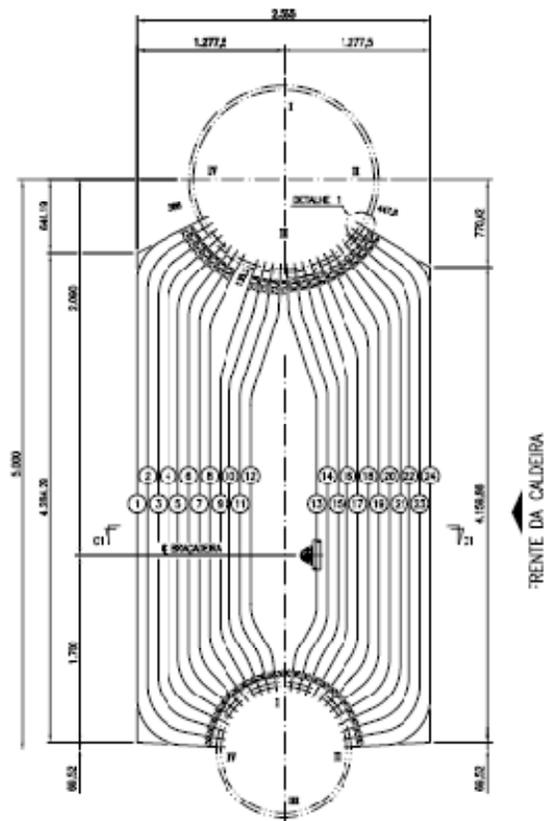


Fig. 6. Vista Haz convectivo, domo superior e inferior.

Los Precalentadores de aire poseen dos pases de aire, con flujo gas/aire en contracorriente, tubos de diámetro 2 ½" (\varnothing 63.5 mm x 2.4 mm de espesor) calidad ASTM A 106. Flujo de gases descendentes, la superficie de transferencia es 4 veces a la superficie del hogar. Estos tienen la relación de producción de 20 kg vapor hr / m². Este es instalado arriba del economizador, ambos en una estructura de suportación única.

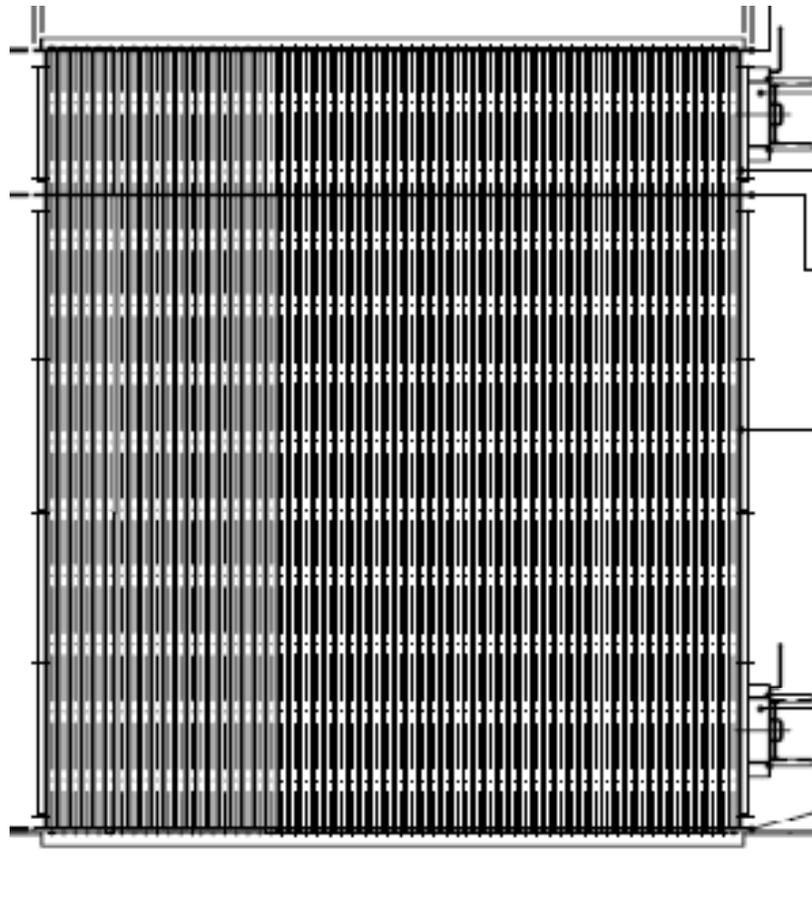


Fig.7. Vista Lateral calentador de Aire, flujo gases vertical-descendente.

El Economizador, recupera calor y es transferido al agua, está instalado bajo del Precaentador de aire, con flujo gas/agua en contracorriente – flujo de gases descendentes y del agua ascendente. Los elementos con tubos de diámetro 2" ($\text{Ø}50.8$ mm y 3.76 mm, de espesor) y amplia superficie calórica. Fig. 8

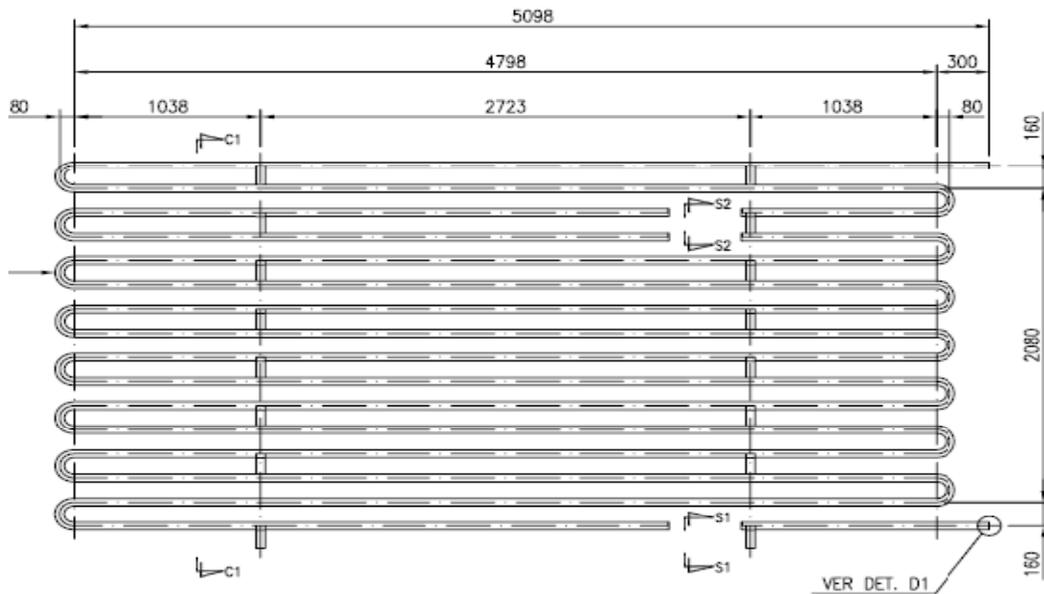


Fig.8. Economizador Caldera de 80 Tn/hr.

PRINCIPALES ASPECTOS DE INGENIERIA

Sistema de Alimentación de bagazo por alimentadores de rodillos dobles con púas y accionamiento eléctrico y distribuido por esparcidores neumáticos con válvulas tipo mariposa para variar continuamente la presión y promover una mejor distribución del combustible en la superficie de la parrilla. Potencia unitaria 3Kw. Fig. 9.

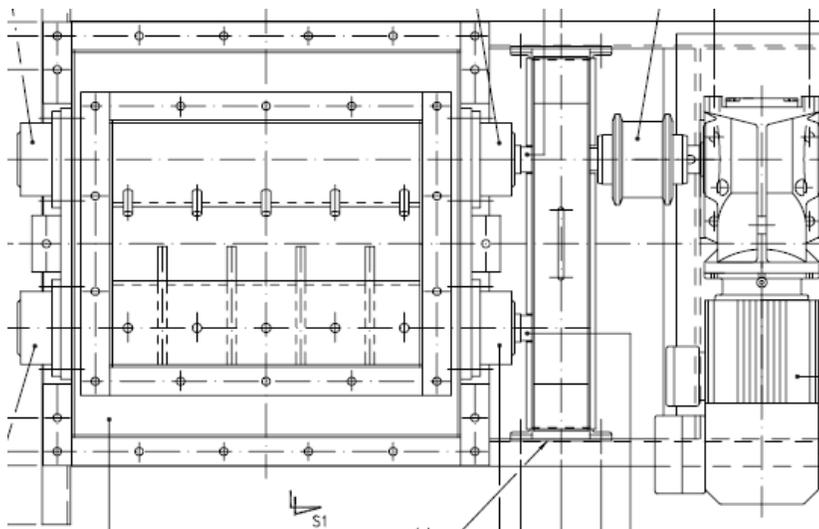


Fig.9. Vista lateral esparcidor de pines.

El diseño del sistema de alimentación y del horno tiene por objeto obtener la quema de una gran parte del combustible en suspensión, necesitando bajo exceso de aire y reducción de la carga sobre la parrilla.

El horno es amplio con baja carga volumétrica y gran altura obteniendo bajo tiempo de permanencia. La Combustión es más completa, con reducción de la cantidad de cenizas y emisiones particuladas. Para quema de bagazo, la alta temperatura del aire de combustión debajo de la parrilla (Aire Primario Fig. 10) permite mejor quema de biomasa con alta temperatura y una mejor respuesta de la caldera a los cambios de caudal de vapor requerido, sin reducción de presión.

La Cámara de combustión, constituida por paredes de agua, que consiste en tubos unidos con soldadura continua, además de proporcionar alta eficiencia y facilidad de montaje, ofrece ventaja del poco uso de albañilería refractaria reduciendo los costos de mantenimiento.

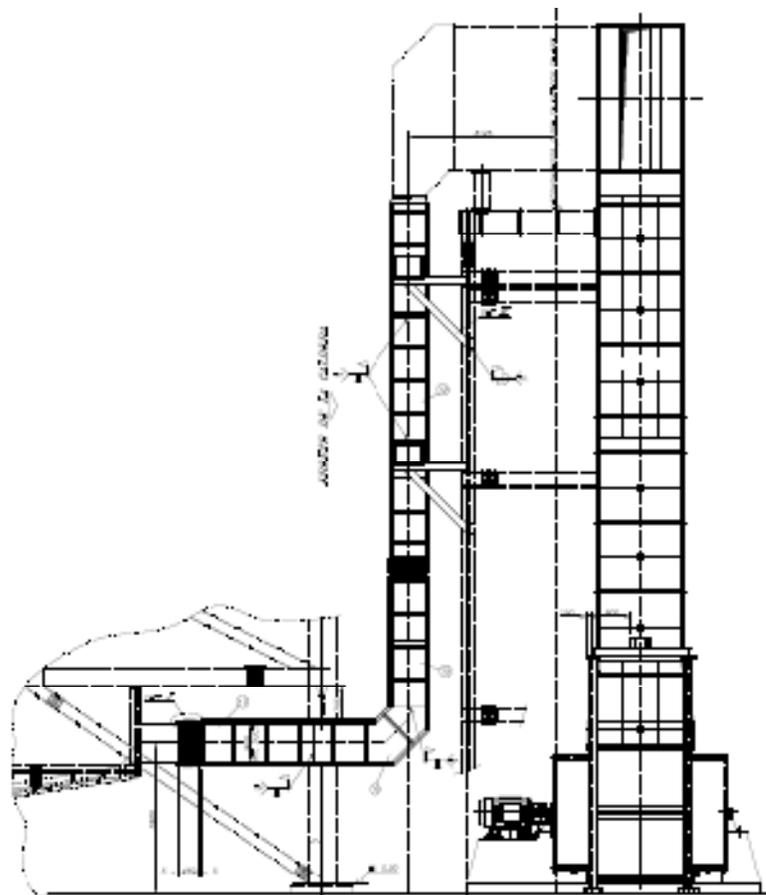


Fig. 10. Vista lateral sistema aire primario, salida Precaentador e ingreso inf. al hogar

El Aire secundario (Over-fire) con alta presión y temperatura, permite la quema completa de los volátiles de las biomásas, reduciendo las emisiones de CO y completando la quema de las partículas sólidas no quemadas. Las Toberas de aire secundarios están ubicadas horizontalmente en las paredes laterales a aproximadamente a 6 mts arriba de la parrilla.

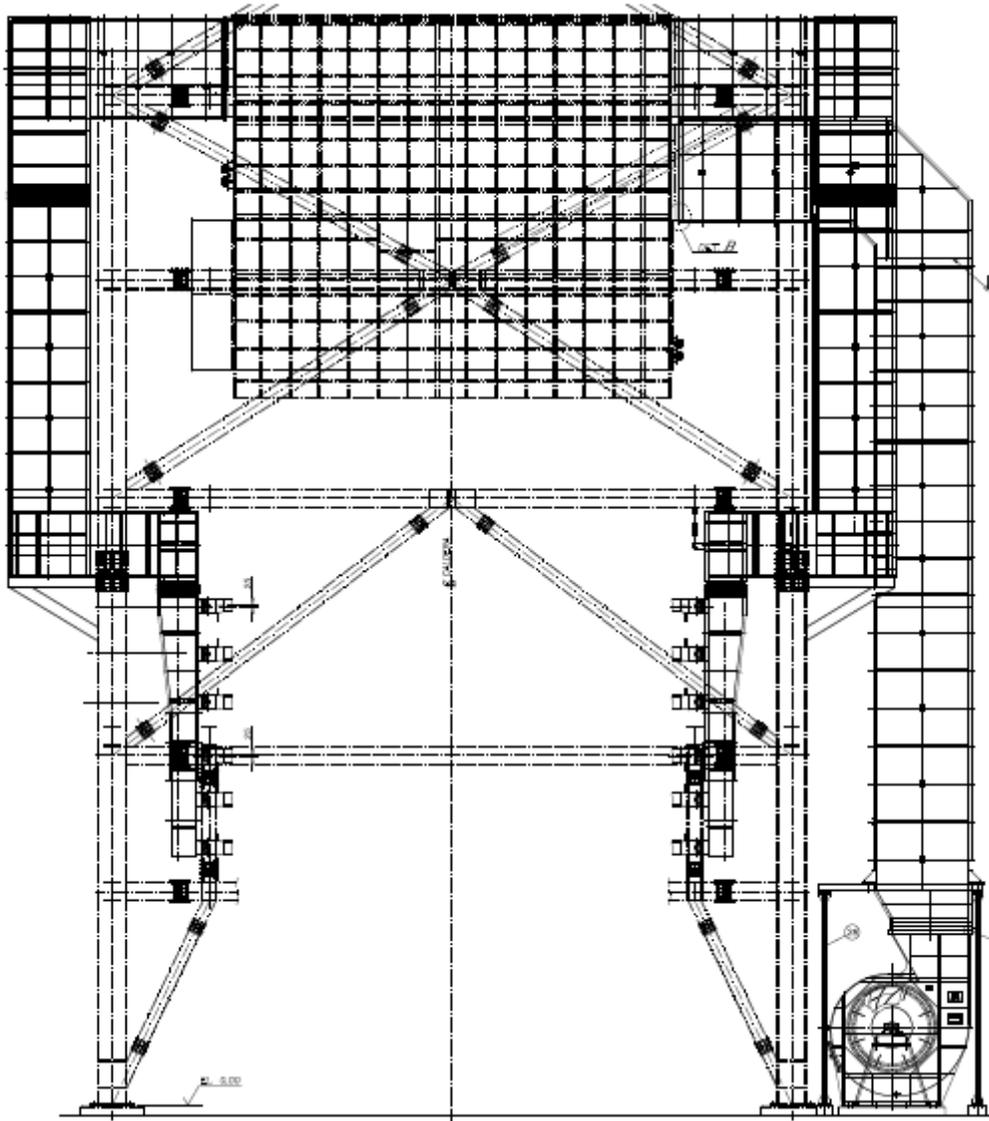


Fig. 11. Vista desde el frente de sistema de aire secundario.

INTERCAMBIADORES DE CALOR

El diseño de las áreas de intercambio de calor contempla márgenes de seguridad suficientes para atender a los picos de producción y compensar la resistencia térmica causada por películas normales de hollín que eventualmente pueden adherirse a los tubos, garantizando la producción de vapor y la eficiencia esperada durante todo el período de operación.

Todos los arreglos de los tubos utilizados en las secciones de convección son realizados con tubos alineados, aumentando así la eficiencia de los sopladores de hollín en la limpieza de los mismos, reduciendo los efectos de la abrasión en los tubos y proporcionando menor pérdida de carga en el flujo de gas, reduciendo el consumo de potencia del ventilador de tiro inducido.

El diseño también busca eliminar puntos de acumulación de cenizas en las secciones de intercambio de calor, teniendo abajo del haz tubular dos puntos de extracción de cenizas evitando acumulación.

Abajo del sobrecalentador, la paredes tienen inclinación para favoreces el drenaje de cenizas.

Las secciones de convección son calculadas para permitir velocidades de gases, que juntamente a la disposición de los tubos, eliminan las causas de la abrasión de los mismos.

El Sobrecalentador es un módulo con flujo gas / vapor en paralelo. Los caudales de vapor y pérdidas de carga se calculan para proteger la tubería del Sobrecalentador y permitir un control preciso de temperatura. Se construye en tipo pendiente (recordemos que este equipo es típicamente convectivo) con tubos de Ø2" de diámetro (Ø50.8 mm espesor 4.19 mm). Calidad ASTM A 192. Fig. 12.

El Sobrecalentador es asistido por sopladores de hollín retractiles y fijos para las demás regiones, con válvulas de bloqueo y tubos de interconexión de vapor. Imagen 2.



Imagen 2. Soplador retráctil, 6 mts long.

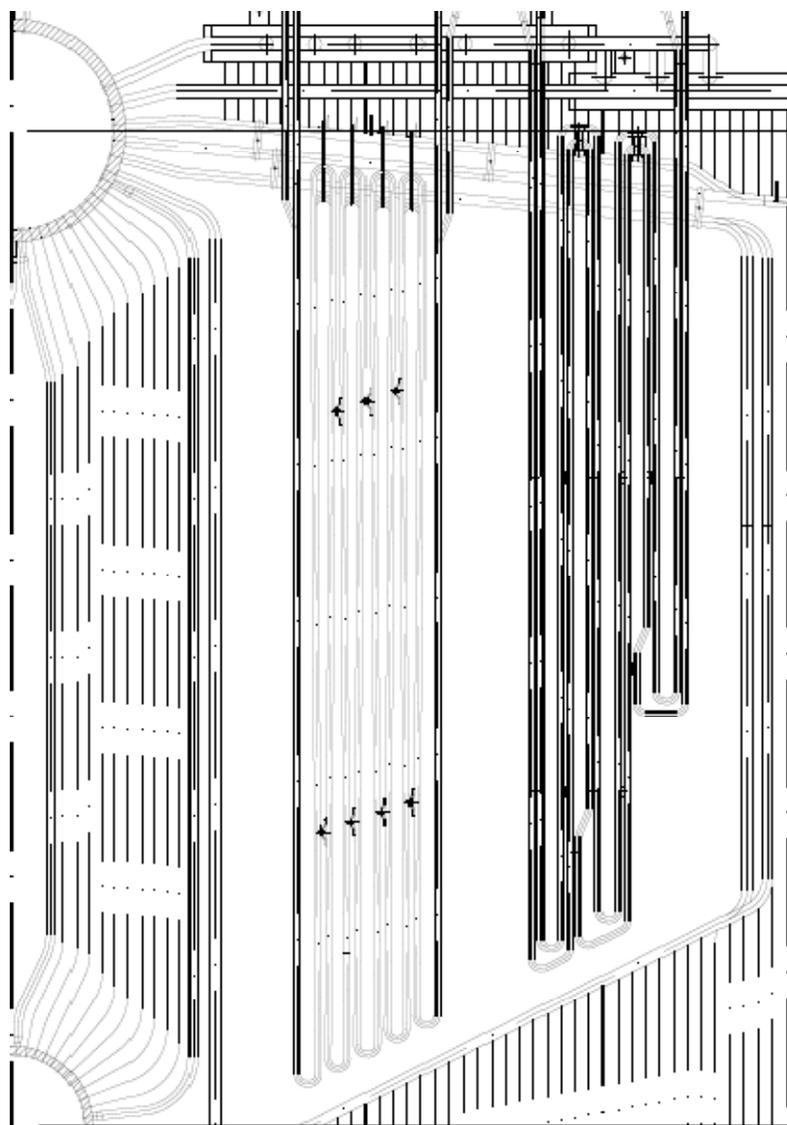


Fig. 12. Ubicación sobre-calentadores.

El Haz Tubular involucra diseños modernos, con solamente un paso de gases en el haz tubular (sin baffles) con bajas potencias instaladas/consumidas. No hay mamparas refractarias, para menor costo de mantenimiento.

El Precalentador de Aire y Economizador son diseñados para garantizar la eficiencia requerida y temperaturas de aire adecuadas. Los tubos de los calentadores de aire con verticales, para mejor limpieza. Los tubos de los economizadores son lisos, para evitar adherencia de hollín.

PARAMETROS PARA PROYECTOS

Condiciones locales de las instalaciones:

- Temperatura promedio del aire 30 °C
- Humedad del aire 60 a 90%

Combustible – Bagazo de caña con las siguientes características

Combustible	Unidad	Base Húmeda
Humedad	% en peso	52 %
Carbono	% en peso	32.9 %
Hidrógeno	% en peso	3.3 %
Oxígeno	% en peso	21.9 %
Nitrógeno	% en peso	0 %
Azufre	% en peso	0 %
Cenizas	% en peso	0.9 %
Total		100 %
PCS	Kcal/Kg	2.169
PCI	Kcal/Kg	1.699

Calidad del agua en el domo de la caldera debe tener los siguientes valores:

Alcalinidad total, como CaCO ₃	< 200 ppm
Sílice (SiO ₂)	< 30 ppm
Sólidos totales disueltos (máx9 (TDS)	975 – 195 ppm
Conductancia específica	(1500-300) μmhos/cm

NORMAS APLICADAS A LA CONSTRUCCION

ASME – SEC I – Diseño mecánico del generador

ASME – SEC IX – Diseño de presión y soldaduras

ANSI /API – Válvulas y Piping

ASTM – A 53/691 – Composición y calidad de tubos.

AMCA – Ventiladores

ABNT – NBR – Motores eléctricos.

AISC/CIRSOC – Estructuras metálicas

PTC -4 – Ensayos de operación.

CONCLUSIONES

Se han analizado los diferentes diseños de este tipo de caldera y podemos destacar los aspectos más relevantes en la Caldera de Lecho Fluidizado, donde podemos concluir que la dirección de los mismos se orientaron con el fin de disminuir las pérdidas. Uno de ellos es evitar la caída de combustible bajo grilla (no posee emparrillado), evitando la consecuente pérdida por combustible no quemado.

Asimismo para evitar la formación de combustible en suspensión, se adoptaron velocidades elevadas de gases en el hogar, generando vórtices en la cámara de combustión. Además, para mejorar este efecto, se realiza inyección de aire secundario para disminuir pérdidas por combustión incompleta del combustible.

Por último, para disminuir las pérdidas de calor al ambiente y mantener la temperatura de los gases escape bajas, se emplean superficies de recuperación amplias, en el calentador de aire y el economizador.

Ing. Ariel Bellotto