



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ING. INDUSTRIAL

TEMA: Propuesta de mejora para el uso de gases de combustión de caldera #12 en la
funcionalidad de ventilador neumático, caso ECOELECTRIC, Milagro 2021

Autores:

ULLOA ROVALINO JOSÈ ANDRÈS

Tutor:

Ing. Edgar Ítalo Mendoza Haro, MSc

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabricio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante1)., en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de integración curricular, modalidad Elija un elemento., mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor, como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Línea de Investigación Haga clic aquí para escribir el nombre de la Línea de Investigación, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de integración curricular en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, Haga clic aquí para escribir una fecha.

Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante1).

Autor 1

CI: Haga clic aquí para escribir cédula (estudiante1).

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabricio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante2)., en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de integración curricular, modalidad Elija un elemento., mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor, como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Línea de Investigación Haga clic aquí para escribir el nombre de la Línea de Investigación, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de integración curricular en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, Haga clic aquí para escribir una fecha.

Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante2).

Autor 2

CI: Haga clic aquí para escribir cédula (estudiante2).

APROBACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE Elija un elemento

Yo, Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (Tutor). en mi calidad de tutor del trabajo de Elija un elemento., elaborado por Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante1). y Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante2)., cuyo título es Haga clic aquí para escribir el tema del Trabajo, que aporta a la Línea de Investigación Haga clic aquí para escribir el nombre de la Línea de Investigación previo a la obtención del Título de Grado Haga clic o pulse aquí para escribir Título de Grado.; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso previa culminación de Trabajo de Elija un elemento de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, Haga clic aquí para escribir una fecha.

Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (Tutor).

Tutor

C.I: Haga clic aquí para escribir cédula (Tutor).

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (tutor).

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (Secretario/a).

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (integrante).

Luego de realizar la revisión del Trabajo de Elija un elemento, previo a la obtención del título (o grado académico) de Elija un elemento. presentado por Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante1).

Con el tema de trabajo de Elija un elemento: Haga clic aquí para escribir el tema del Trabajo.

Otorga al presente Trabajo de Elija un elemento, las siguientes calificaciones:

Trabajo de Integración Curricular	[]
Defensa oral	[]
Total	[]

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado) _____

Fecha: Haga clic aquí para escribir una fecha.

Para constancia de lo actuado firman:

	Nombres y Apellidos				Firma
Presidente	Apellidos Presidente.	y	nombres	de	_____
Secretario /a	Apellidos Secretario	y	nombres	de	_____
Integrante	Apellidos Integrante.	y	nombres	de	_____

DEDICATORIA

A mis hijos Andrés Santiago Ulloa Mora e Iker Andrés Ulloa Mora por ser quienes me inspiraron a seguir superándome día a día y de esta manera ser un gran ejemplo para ellos.

A mi madre María Noemi Robalino Palacios por ser quien me formo con principios y valores, siendo esto la base para alcanzar este gran logro en mi vida profesional, y por todo su apoyo incondicional desde el inicio de mis estudios.

José Andrés Ulloa Rovalino

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo y dando la gloria y la honra a Dios porque es gracias a él y a su perfecta voluntad que todo esto ha sido posible.

A mi madre por todos sus sabios consejos y apoyo incondicional en todo lo que emprendo.

A mis maestros, y en especial a mi tutor Ing. Ítalo Mendoza ya que a través de su presencia, asesoría y sabios conocimientos me ha podido guiar con éxito en este proyecto de investigación.

A mis jefes por ayudarme con los permisos necesarios para poder asistir a mis clases y de igual manera le agradezco a mis compañeros de trabajo que de una u otra forma me estuvieron apoyando en el periodo de mis estudios.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR.....	ii
DERECHOS DE AUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE Elija un elemento.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1	3
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Problema de investigación	5
1.3. Objetivos	5
1.4. Alcance.....	6
1.5. Idea a defender	6
1.6. Objeto y campo de estudio.....	6
1.7. Variables que se relacionan en el estudio.....	6
1.2. Estado del arte	7
1.5 Fundamentación Teórica.....	11
CAPÍTULO 2	25
2.1 METODOLOGÍA.....	25

2.1.1 Tipo y diseño de investigación.....	25
2.1.2 Metodología empleada en la investigación	26
2.1.1 Características de la caldera	26
2.1.2 Característica del bagazo de caña de azúcar	30
CAPÍTULO 3	34
3.1 PROPUESTA DE SOLUCIÓN	34
3.1.1 Análisis de propuesta	34
3.1.2 Análisis de resultados.....	39
CONCLUSIONES.....	49
RECOMENDACIONES	50
Bibliografía.....	51
Anexos	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclos Topping y Bottoming.....	17
Figura 2. Ciclo Topping básico	18
Figura 3. Ciclo térmico típico.....	19
Figura 4. Composición del bagazo	21
Figura 5. Proceso extractivo de la caña de azúcar.....	22
Figura 6. Ventilador de tiro forzado para caldera.....	24
Figura 7. Propuesta de implementación del ducto de recolección de gases de caldera. Vista superior.....	35
Figura 8. Propuesta de implementación del ducto de recolección de gases de caldera. Vista lateral	35
Figura 9. Superficie en metros lineales del ducto.....	38
Figura 10. Esquema constructivo del ducto.....	38
Figura 11. Esquema gráfico del VAN y TIR.....	44
Figura 12. Esquema gráfico del VAN y TIR. Escenario pesimista.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	16
Consumo de energía y vapor	16
Tabla 2	18
Parámetros a considerar en los sistemas de cogeneración.....	18
Tabla 3	20
Condiciones operativas en ciclos modernos	20
Tabla 4	23
Cantidad de bagazo disponible en función a la fibra en caña.....	23
Tabla 5	29
Características técnicas de la caldera Acuotubulares	29
Tabla 6	30
Características del quemador.....	30
Tabla 7	31
Propiedades del bagazo de caña	31
Tabla 8	33
Generación de energía y consumo de bagazo de caña de azúcar	33
Tabla 9	36
Valores promedios estimados en la actividad azucarera	36
Tabla 10.....	37
Ahorro de bagazo húmedo.....	37

Tabla 11	37
Aspectos económicos generados con la propuesta	37
Tabla 12	39
Estimación de costos de la propuesta	39
Tabla 13	40
Cantidad de bagazo optimizado.....	40
Tabla 14.....	40
Cantidad de bagazo optimizado.....	40
Tabla 15	41
Estado de Resultados (ER). Escenario conservador.....	41
Tabla 16.....	42
Flujo de caja (FC). Escenario conservador.....	42
Tabla 17	43
Estimación de factibilidad VAN y TIR. Escenario conservador.....	43
Tabla 18	43
Simulación de Rentabilidad a partir del VAN.....	43
Tabla 19	45
Estado de Resultados (ER). Escenario pesimista	45
Tabla 20.....	46
Flujo de caja (FC). Escenario conservador.....	46
Tabla 21	46

Estimación de factibilidad VAN y TIR. Escenario pesimista	46
Tabla 22	47
Simulación de Rentabilidad a partir del VAN. Escenario pesimista.....	47

Propuesta de mejora para el uso de gases de combustión de caldera #12 en la funcionalidad de ventilador neumático, caso Ecoelectric, Milagro 2021

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo proponer mejoras para el uso de los gases de combustión de la caldera # 12, mediante un diseño que permita el incremento de la temperatura del aire del ventilador neumático para optimizar sus condiciones operativas. Para lo cual empleó una metodología descriptiva que permitió determinar las desviaciones de rendimiento existente en los procesos de combustión, estableciendo que los índices de humedad del bagazo son equivalentes al 50.96% al momento de ingresar a la caldera, mientras que el de fibrociudad se ubicó al 14%. Como parte del diagnóstico, se generó un diseño estructural que permite proveer de un ducto recolector adicional de gases, que es inducido a un ventilador de tipo forzado encargado del bucle que ingresa nuevamente al horno de caldera, para de esta manera inducir gases a temperatura de 175° C logrando un decremento en los valores de humedad.

PALABRAS CLAVE: Gases de caldera, Ventilador neumático, humedad, fibrociudad, Bagazo.

Improvement proposal for the use of boiler flue gases #12 in the functionality of pneumatic fan, ECOELECTRIC case, Milagro 2021

ABSTRACT

This project aims to propose improvements for the use of boiler flue gases # 12, through a functionality design that allows the increase of the air temperature of the pneumatic fan to optimize its operating conditions. For which he used a descriptive methodology that allowed to determine the deviations of existing performance in the combustion processes, establishing that the humidity indices of the bagasse is equivalent to 50.96% at the time of entering the boiler, while that of fibrocidity was located at 14%. As part of the diagnosis, a structural design was generated that allows to provide an additional gas collection duct that is induced to a forced type fan in charge of the loop that enters the boiler furnace again, in order to induce gases at a temperature of 175 ° C achieving a decrease in humidity values.

KEY WORDS: Boiler gases, Pneumatic fan, humidity, fibrocidal, Bagasse.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Entre los grandes desafíos que enfrenta la comunidad internacional, se encuentra la necesidad de resolver la disminución del consumo de combustibles fósiles en el ámbito agroindustrial, debido al agotamiento de las reservas y los efectos contaminantes que se generan por la emisión de los gases de efecto invernadero. De ahí que, existen alternativas vigentes que avizoran como energía renovable, lo que se obtiene de la biomasa, considerada una opción de combustión no fósil, favorable desde la óptica del ciclo del carbono al generar emisiones de CO_2 resultante de un carbono, en gran proporción retirado de la parte atmosférica en el mismo ciclo biológico, lo que incide en manera mínima en la alteración del medio ambiente (Prieto, 2017).

En Ecuador, existe la oportunidad de utilizar las fuentes de biomasa para la generación de energía. El bagazo de caña de azúcar representa uno de los principales recursos, cuyo aprovechamiento integral y eficiente contribuye a la obtención de energía renovable, mediante la instalación de tecnología y equipos apropiados para su proceso de combustión, entre los que se encuentran las calderas. A partir de aquello, surge la necesidad de establecer un adecuado funcionamiento de las mismas, donde su optimización operativa contribuya a disminuir los niveles de pérdida de calor sensibles de los humos, incremente su rendimiento, determine los coeficientes de exceso de aire, la velocidad y el volumen de los humos (Menes et al., 2016).

Mencionado esto, surge la necesidad en las empresas agroindustriales dedicadas al procesamiento de la caña de azúcar de optimizar la eficiencia de las calderas solucionando los costos de operación y hacer más eficientes los recursos económicos y energéticos que ocasiona los problemas de funcionalidad y las altas demandas de vapor en el proceso. Desde estas perspectivas, la presente propuesta tecnológica tiene como objetivo establecer mejoras para el uso de gases de combustión de caldera # 12, mediante un diseño de funcionalidad que permita

el incremento de la temperatura del aire del ventilador neumático para optimizar sus condiciones operativas.

Bajo este contexto, el estudio realiza un diagnóstico a las desviaciones de rendimiento existente en los procesos de combustión de la caldera # 12, de esta manera diseñar un bucle¹ de reutilización de los gases de combustión que salen a una temperatura de 170C° y ser introducidos nuevamente mediante el ventilador neumático y mejorar los niveles de estabilidad y funcionamiento de la caldera en el proceso endotérmico inherente a la combustión.²

1.1. Planteamiento del problema

Uno de los procesos de significancia que se lleva a efecto en la Empresa Ecoelectric S.A., es la combustión de la biomasa, que consiste inicialmente en el mezclado, calentamiento, evaporación y volatización de la humedad, seguido por un procedimiento químico que se caracteriza por la oxidación, en primer lugar, de los componentes volátiles y por último del carbono fijo. Bajo este contexto, entre los problemas identificados que afecta la eficiencia térmica del proceso en general, se encuentra la disponibilidad de temperaturas lo suficientemente altas como para generar reacciones y minimizar la formación de hollín, la turbulencia y el exceso de aire frío que reduce la combustión y la pérdida del calor sensible (Bin, 2016).

Por lo tanto, se requiere de un tiempo de residencia suficiente que permita completar los diferentes procesos físicos y químicos, tomando en consideración que la humedad del bagazo en muchos de los casos es superior al 50%, lo que incide en la modificación de los tiempos requeridos para la correcta ejecución de los fenómenos antes mencionados. Así, la evaporación de la humedad dispuesta en el combustible tiende a alargar el período endotérmico inherente a

¹ Bucle: Considerado como una estructura que permite la repetición constante de una sentencias o acciones específicas.

² Caso Ecoelectric, Milagro 2021

la combustión, lo que retrasa la ignición. En muchos de los casos, este proceso de evaporación se efectúa el poder energético que poseen las partículas que se encuentran encendidas, situación que provoca que estas lleguen a apagarse, dando paso a la presencia de una cantidad de material con características no combustibles disueltos en los gases de combustión (Coszkun, Oktay, & Ilten, 2017).

Mencionado esto, Ecoelectric S.A. requiere mejorar el aprovechamiento de los gases generados en caldera # 12, con el propósito de introducir gases calientes y optimizar la combustión de la misma, tomando en consideración que el ventilador neumático tiende a tomar aire frío que ocasiona una deficiencia térmica que dificulta el correcto proceso, evidenciando problemas para mantener la temperatura o generar un incremento de ésta, capaz de afrontar los niveles de humedad mayor al 50% que frecuentemente posee el bagazo al momento de ingresar a la caldera ocasionando una mayor demanda térmica para lograr una combustión adecuada.

1.2. Problema de investigación

Desde estas perspectivas, se plantea la siguiente interrogante: ¿De qué manera se puede mejorar el uso de los gases de combustión de caldera # 12 para optimizar la funcionalidad del ventilador neumático?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Proponer mejoras para el uso de gases de combustión de la caldera # 12, mediante un diseño de funcionalidad que permita el incremento de la temperatura del aire proporcionado por el ventilador neumático para optimizar sus condiciones operativas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades del bagazo en función a su capacidad calorífica para los procesos de combustión en caldera

- Diagnosticar las desviaciones de rendimiento existente en los procesos de combustión de caldera # 12
- Diseñar el bucle de reutilización de los gases de combustión de caldera # 12 para optimizar la funcionalidad del ventilador neumático.
- Evaluar el índice de eficiencia total de la caldera # 12, a partir de la reutilización de los gases de combustión.

1.4. Alcance

Como parte del alcance, la presente propuesta tecnológica pretende contribuir a la mejora del uso de gases de combustión de caldera # 12, mediante un diseño de funcionalidad que permita el incremento de la temperatura del aire del ventilador neumático para optimizar sus condiciones operativas, cuyos resultados deja abiertas futuras líneas de investigación a partir del diseño funcional que viabiliza la disposición de una propuesta de implementación para la empresa ECOELECTRIC.

1.5. Idea a defender

La implementación de un ducto para la recolección de gases de la caldera # 12, mejoraría la funcionalidad del ventilador neumático, permitiendo una mejor combustión del bagazo.

1.6. Objeto y campo de estudio

Objeto de estudio: Uso de gases de combustión de la caldera # 12.

Campo: Calderas Industriales Eficientes.

1.7. Variables que se relacionan en el estudio

Variable 1: Uso de gases de combustión de la caldera # 12.

Variable 2: Funcionalidad del ventilador neumático.

1.2. Estado del arte

1.4.1 Antecedentes de la investigación

Como parte del proceso investigativo, la búsqueda de información permitió establecer un conjunto de trabajos realizados con antelación y que guardan similitud con el presente estudio, entre los que se encuentran:

(Chica & Guerrero, 2016) en su investigación titulada “Diseño del control Automático de gases de combustión en la caldera del Ingenio María Luisa S.A.”, planteó su objetivo con la finalidad de esquematizar una propuesta de mejora para el tratamiento de los gases de combustión que provienen de la caldera de dicha planta industrial, logrando de esta manera una mejor relación entre los caudales de aire-bagazo para de esta forma mantener la vinculación gaseosa, permitiendo una mejor combustión. La metodología empleada fue descriptiva, donde se estableció la implementación de una estrategia de control que incorpora un software para una mejor eficacia de los procesos de combustión. Los resultados obtenidos permitieron generar una modificación de los chutes de alimentación y compuertas de la caldera para incrementar el poder calorífico y de combustión del material (bagazo) de alimentación.

(Jiménez F. , 2017) en su investigación titulada “Propuesta de mejora para el proceso de generación de vapor de Gelymar S.A.” planteó alternativas de optimización operativa, mediante un análisis técnico con el propósito de aumentar la productividad de vapor y elevar la calidad de la biomasa empleada como combustible disminuyendo los índices de humedad que varía entre 27 a 50%, así como en la cantidad de material extraño (tierra) que tiende a tapar las rejillas interiores de la caldera. El análisis situacional determinó que estas causalidades inciden en el rendimiento de la planta de caldera afectando de forma negativa en los costos por toneladas de vapor que requiere la empresa para su operatividad. Como parte de las mejoras, se planteó la incorporación de un secador rotatorio que posee una capacidad de secado de 3.573 kg/hr lo que equivale a un ritmo de evaporación de agua de 1.471 kg/hr. La investigación concluye que la

optimización en la producción de vapor permite disminuir el consumo de la biomasa, factor esencial para bajar los costos operativos en las empresas agroindustriales.

1.4.2 Aspectos generales de la investigación

Los generadores de vapor empleados en la industria azucarera son considerados equipos críticos. Debido a su capacidad para proveer tanto de energía térmica para el proceso, además de la potencia necesaria que se requiere para el funcionamiento de equipos y maquinarias que se requieren para el mismo. Así mismos son utilizados en el aprovisionamiento energético en excedente a la red pública, generando nuevos réditos económicos a través del criterio de cogeneración³ (Campos, 2017). Por lo general, la potencia cogenerada en la forma de energía mecánica o eléctrica, es plenamente utilizada en la planta industrial que se posiciona como un consumidor de este sistema cogenerador o en su caso, puede ser explotada de manera parcial o total para la disposición de energía eléctrica pública.

Para (Alderetes, 2016) alrededor de 1000 ingenios azucareros a nivel mundial disponen de generadores de vapor (calderas), por lo que puede considerarse a este sector industrial como uno de los mayores consumidores de estos equipos. Es por ello que incremento del interés y potenciación de la cogeneración industrial, trae consigo la necesidad de mejorar el rendimiento térmico de las calderas con el objetivo de elevar las presiones y hacer más eficiente las temperaturas de trabajo.

Según (Jiménez F. J., 2017) en su “Propuesta de mejora para el Proceso de Generación de Vapor de GELYMAR S.A”, enfatiza en el problema de eficiencia térmica de las calderas, donde los niveles de presión suelen evidenciar bajas por el aprovisionamiento de gases fríos al interior de ellas. De la misma manera, evidencia la necesidad de mejorar la calidad de la biomasa que es empleada como combustible, ya que esta presenta características variables en su nivel de

³ Generación simultánea y combinada de calor y energía eléctrica.

humedad que fluctúa entre 27-50% así como en la proporcionalidad de tierra, lo que ocasiona el taponamiento de las rejillas internas de la caldera. Además, registra un bajo rendimiento de la caldera a consecuencia de la presencia de factores como pérdida de calor en los gases de combustión, humedad, temperatura de aire inducido, entre otros.

En este sentido, la investigación concluye que los procesos de generación de vapor son de vital importancia para los procesos agroindustriales. Donde las calderas se convierten en su principal generador. Por ello, al ser equipos con un elevado consumo de combustible, es necesaria la supervisión constante de su funcionamiento, con el propósito de cuantificar los parámetros de eficiencia o consumo energético inherente a las operaciones de la planta. En consecuencia, se prioriza el incremento de la temperatura para mejorar su rendimiento y generar beneficios económicos para la producción (Demirbas, 2014).

(Torres, 2017) en su estudio titulado “Automatización para la mejora de la combustión en calderas” destaca como aporte de la investigación los problemas evidenciados en el cambio climático y la escasez de los recursos naturales energéticos. Situación que ha conllevado a múltiples empresas agroindustriales a generar programas de sustentabilidad del medioambiente y buscar alternativas que disminuyan la generación de gases contaminantes a la atmósfera y minimizar el consumo de combustible fósil. Paralelo a ello, destaca la optimización de las calderas, específicamente en sus procesos de combustión, donde toma en consideración los elementos necesarios para el mismo: combustible, aire y la fuente de ignición⁴. Por ello, es necesario que el aire que ingrese a la cámara de combustión tenga la temperatura adecuada para que el combustible arda y reacciones eficientemente con el oxígeno (Kumar, Navindgi, & Srinivas, 2016).

⁴ Proporcional nivel adecuado de calor para la combustión del combustible o ejerza una reacción con el oxígeno y logre encender la flama.

Los resultados obtenidos de la investigación, permitió identificar la relación que debe existir entre el aire y el combustible, situación que permite tener un mayor aprovechamiento del material de combustión, y disminuir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, así como elevar su nivel de transferencia de energía. Para lo cual se debe tener presente una serie de indicadores que optimiza los procesos de los equipos de caldera, mediante propuestas de mejoras continuas y el aprovisionamiento de equipos compensatorios que generen un mayor operatividad del sistema (Lekshmi & Pillai, 2015).

En esta misma línea, (Pérez, Cordovés, & Terán, 2016) en su propuesta de “Diseño e implementación de un sistema de control para mejorar la calidad de los gases de combustión de una caldera pirotubular de 5 BHP”. En este sentido, la investigación prioriza la implementación de métodos de control de la calidad de combustión, con el propósito de optimizar la eficiencia térmica de las mismas. Para aquello, establecen parámetros de medición térmica y de presión, donde la calidad de los gases de combustión evidencian una operatividad acorde a la demanda de energía de la planta industrial, garantizando de esta manera el pleno funcionamiento de los equipos que requieren del aprovisionamiento de energía (Li, y otros, 2016).

(Figueroa & Mazabel, 2011) aseguran que las empresas agroazucareras enfrentan dificultades en función a la optimización de la caldera. En este sentido, se tiene una búsqueda activa para minimizar las pérdidas de los índices de combustión incompleta y por incombustión mecánica. En este sentido, el estudio destaca la asociación a la presencia de CO , H_2 y C_xH_x en los gases de escape. Mientras que la segunda es generada por una serie de compuestos con características sólidas combustibles.

Ante lo expuesto, es evidente que dentro de la combustión en capa de bagazo, las sustancias volátiles logran quemarse a una altura determinada sobre la parrilla, de lo cual se desprende alrededor del 54% del poder calorífico inmerso en el proceso de combustión. Debido a ello, es

relevante la de inyección de aire en dicha zona, el mismo que se conoce con el nombre de aire secundario y es equivalente a la cifra porcentual del aire total que se necesita para la combustión (aire primario). No obstante, el aumento de la altura de la superficie de bagazo genera el surgimiento de sectores insuficientes de oxígeno, especialmente cuando no se dispone del suministro de aire secundario, el mismo que puede ser provisto de manera paralela mediante ventilado auxiliar de tiro forzado, conocido como *overfire* (Figueroa & Mazabel, 2011).

Para Horton (2018) dentro de los procesos de combustión de caldera, las determinaciones del poder calorífico y las cenizas provenientes del bagazo determinan variaciones sujetas a la usabilidad de este material en su composición química al cambiar de una región geográfica, así como en la variedad de la caña. Desde estas perspectivas los estudios realizados por la CENICAÑA de Colombia establecen una tendencia lineal entre el poder calorífico superior del bagazo y su contenido de cenizas, con una aceptable correspondencia de sus variables; con base en aquello, este diagnóstico logra concluir que la autosuficiencia energética de una fábrica agroindustrial depende en gran medida del poder calorífico del bagazo, el mismo que debe tener las siguientes características: 48% al 52% de humedad; 2% al 5% de cenizas; 46% a 49% de fibra; 2% al 3% de sacarosa y 3% al 5% grados brix.

1.5 Fundamentación Teórica

1.5.1 Calderas

Las calderas son maquinarias dispuestas en el sector industrial en el mundo. Las mismas son diseñadas en el campo de la ingeniería industrial con el propósito de genera vapor saturado, que es provisto mediante un proceso de transferencia de calor a presión continua, en la cual el nivel de fluido, se encuentra de forma inicial en estado líquido, propenso a calentarse y cambiar de estado (Sunudas & Prince, 2016).

Para la ITC-MIE-AP01, la caldera representa todo artefacto a presión en la cual el calor procedente de diversa fuente de energía es transformado en energía reutilizable, que se origina mediante la transportación de la fase líquida a vapor. Por ello, su usabilidad se especifica únicamente en el incremento a altas temperaturas dispuestos en elementos intercambiadores caloríficos, capaz de producir un cambio de fase. En consecuencia, estos equipos industriales son elaborados con materiales de acero laminados que se asemejan a los contenedores de gas (Alderetes, 2016).

Dada la diversidad de aplicación que posee el vapor, especialmente de agua, las calderas son empleadas de manera significativa en el ámbito industrial como esterilizador (tindalización⁵). Debido a ello, es común que los centros hospitalarios dispongan de calderas, donde la producción de vapor se encarga de esterilizar los implementos médicos. Así mismo, son capaces de emplearlos como contenedores industriales que se encargan de esterilizar los cubiertos, preparación de alimentos en el campo marino (Alderetes, 2016).

El objetivo principal de la caldera, es la generación de calor que puede ser empleado posteriormente en diversos procesos industriales. Por consiguiente, el nivel de calor logrado es transferido en forma de vapor mediante tuberías que se encuentran aisladas y direccionadas a los diferentes puntos que requiere la planta industrial. Bajo este contexto, la usabilidad del vapor se centra en la generación de potencia en plantas eléctricas, procesos de evaporización de sal y azúcar, calentamiento de soluciones, industrias textiles, hoteles y el sector hospitalario (Horton, 2018)

Por otra parte, la instalación de las calderas depende exclusivamente del proceso en el que va a ser empleada, así como del costo que disponga la industria para su inversión. En la actualidad

⁵ Consiste en el calentamiento de una sustancia hasta el punto de ebullición o por debajo de este.

existe una gama variada de equipos que se fabrican y son instaladas. Así, las selecciones de estas deben ser analizadas minuciosamente y tomar en consideración de las necesidades de la empresa, para realizar un proceso de adecuación eficiente y vinculada con los procesos. Los generadores de vapor se encargan de emplear el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso (Rodas & Vargas, 2016).

(Orozco Barrera, 2016) menciona las calderas de mediano volumen de agua se encuentran conformadas por varios tubos de humo, así como de tubos de agua capaces de incrementar las superficies de calefacción, sin incrementar la volumetría total de agua a emplearse en dicho proceso. Las calderas pequeñas emplean se encuentra conformadas por múltiples tubos de agua en un pequeño diámetros, cuya capacidad se ve reflejada en el nivel de incremento de la superficie de calefacción (Orozco Barrera, 2016).

1.5.1.2 Cámara de agua

El nombre asignado a este repositorio hace énfasis en el nivel de agua que es empleado por la caldera. Es así como dicha capacidad es definido en la fase de construcción de la misma con un nivel de funcionalidad estable de la presión de vapor y el nivel del agua. Este tipo de equipos son lentos en el encendido, debido a la reducida cámara para generar vapor. Sin embargo, es rápida para la generación de vapor, posee un buen rendimiento en la producción directa de grandes cantidades de este (Figuroa & Mazabel, 2011).

(Figuroa & Mazabel, 2011)

1.5.1.2 Cámara de vapor

Es considerado un espacio que recibe el vapor proveniente de la caldera. En su interior procede a separarse del agua que llueve como parte del proceso de suspensión. Por lo tanto, se debe tener presente que entre más variable se presenta el consumo, mayor debe ser el volumen de

aprovisionamiento de la cámara. Debido a ello, se debe incrementar la distancia existente entre el agua y el punto de toma de vapor. (Llorens Morraja & Miranda, 2016).

Para el cálculo del rendimiento se estima la siguiente fórmula:

Fórmula 1:

$$\text{Rend. Util} = \frac{Q. \text{ adq. fluido caloportador}}{\text{PCI} \times \text{Consumo Comb.}}$$

La fórmula 1 evidencia el proceso de obtención del rendimiento útil en función del porcentaje (%), estableciendo una vinculación del calor transmisión de fluido-coloportador⁶ y el PCI en unidad de tiempo

1.5.2 Balance Termoenergético

De manera general, las industrias azucareras requieren de vapor para la obtención de energía, así como para actividades complementarias que conforman los procesos operativos de fabricación. Por lo tanto, en la usina,⁷ se logra convertir el vapor en energía eléctrica, proveniente de la energía térmica que es transportada producto de la combustión de la bio-masa en el interior del equipo de caldera. Así pues, la generación de esta fuente energética demanda del acondicionamiento de los diversos equipos tanto primarios como auxiliares empleados en la producción industrial (Alderetes, 2016).

Bajo este contexto, se logra que el vapor denominado de escape que se encuentra en el sector del turbo-generador, así como de las turbinas de mando, tengan la posibilidad de proveer la energía térmica suficiente para dar arranque a las operaciones previas de calentamiento, proceso de evaporación, dilución, refundición, centrifugado y secado que amerita el ciclo productivo del azúcar. En este sentido, las industrias azucareras que operan termodinámicamente

⁶ Fluido que trasporta, por conducciones, calor de un lugar a otro.

⁷ Instalación industrial, especialmente en la que se produce energía eléctrica a partir de otras formas de energía.

supeditado a un ciclo de *Rankine*,⁸ con vapor en sobrecalentamiento y con la disposición de turbinas de contrapresión de las que el vapor de escape es empleado para brindar un poder energético con características térmicas que se necesita para el proceso, mientras que los equipos denominados consumidores se proyectan a manera de condensadores de presión (Armendaris, 2018).

Uno de los aspectos a considerar, es el consumo de potencia y de energía térmica que requieren las industrias azucareras y la relación existente entre estas demandas, donde existe dependencia de numerosas variables que pueden provocar que estas proporciones varíen dentro de determinados rangos, lo que implica que deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar los procesos de *benchmarking*⁹ energético entre diferentes fábricas, logrando citar las siguientes variables a considerar (McCoy, 2014):

- Variedad y tipo de caña de azúcar.
- Porcentaje fibroso.
- Tipo de cosecha aplicada (manual, mecánica) contenido de *trash*.¹⁰
- Nivel de limpieza de la caña de azúcar previo a la molienda.
- Sistema de preparación y de extracción que se emplea para la molienda (trapiche, difusor)
- Grado de inhibición que se emplea
- Tipología implementada para el proceso de acoplamiento de las maquinarias-equipos.
- Niveles de presión y contrapresión que demandan los equipos (turbogeneradores-turbina de mando).
- Equipos y esquemas de evaporación y calentamiento
- Tipos de tachos y sistemas de vacío empleados en el proceso
- Refinería, destilería y maquinarias deshidratadoras complementarias

⁸ Denominado *Rankine* (símbolo R). Hace mención a la presencia de una escala de valoración térmica dispuesta en grados Fahrenheit sobre el cero absoluto. Por ello, no posee valores negativos

⁹ El termino *benchmarking* es usado generalmente para describir el proceso de comparar el consumo de *energía*.

¹⁰ Hace referencia a la cantidad de materia extraña (**trash**) que tiende a incorporarse durante el proceso de cosecha, especialmente de material vegetal.

- Tiempo óptimo
- Tipo de caldera y combustible requerido
- Condicionantes operativas
- Sistema de recuperación de condensados y porción de agua de reposición
- Equipos empleados para el control y monitoreo de los niveles de contaminación ambiental en calderas

Según Alderetes (2016) es necesario tener presente el requerimiento energético y el vapor requerido para los procesos operativos de la fábrica, evidenciados de la siguiente manera:

Tabla 1

Consumo de energía y vapor

Consumo energético por sector	Kwh/Ton. Caña
Preparación de la caña de azúcar	7 a 8
Procesos de molienda	9 a 10
Usina	9 a 11
Calderas	1 a 2
Destilería complementaria	1 a 1.5
Consumo total energético	20 a 35 $\frac{Kwh}{Ton\ caña}$
Consumo de vapor	$\frac{Kg * vapor}{Ton\ caña}$
Consumo de proceso	350 a 550
Consumo de vapor alcohol 96°	2 a 3.5
Consumo de vapor (alcohol anhidro – cicloexano)	1.6
Consumo de alcohol anhídrido con tamices	0.6

Fuente: Alderetes (2016)
Elaboración propia.

1.5.3 Cogeneración

Para (Quispe, 2016) la cogeneración hace referencia al proceso sistemático de producción formas de energía útil que se obtiene de una sola fuente energética, que por lo general es la térmica y la fuerza motriz. Por lo tanto, cuando se presenta de esta manera se habla de un ciclo

*Topping*¹¹ sin embargo, al presentarse de manera inversa se refiere a un ciclo *Bottoming*¹². Por ello, el primer ciclo de generación de fuerza motriz y energía térmica es el más empleado en las fábricas azucareras y destiladoras de alcohol.

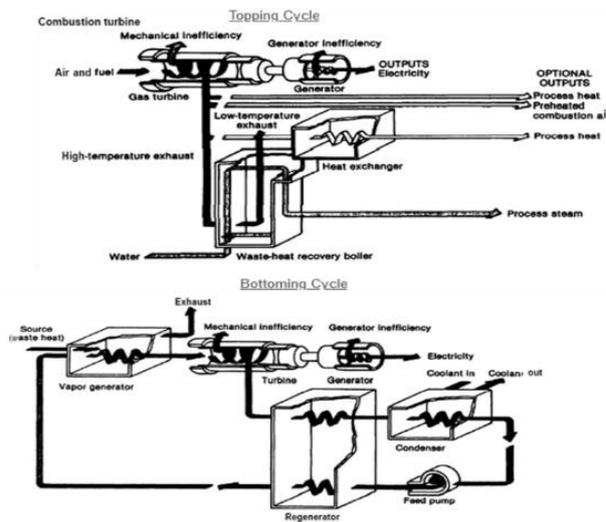


Figura 1. Ciclos *Topping* y *Bottoming*.

Fuente: *Industrial and Comercial Cogeneration*, OTA (2016)

Al designar con E_e a la energía eléctrica generada, E_t a la energía térmica que es aprovechada y E_b a la energía térmica que proviene del bagazo el mismo que es quemado en el interior de la caldera, se puede llegar a una definición de los siguientes parámetros o indicadores que intervienen en los sistemas de cogeneración en un ciclo *topping clásico*.

¹¹ Ciclo superior o de cabecera. Hace énfasis en los casos de ingresos de combustible y aire al equipo motriz

¹² Ciclo inferior o de cola, representa los excedentes de calor que se emplea en un equipo motriz

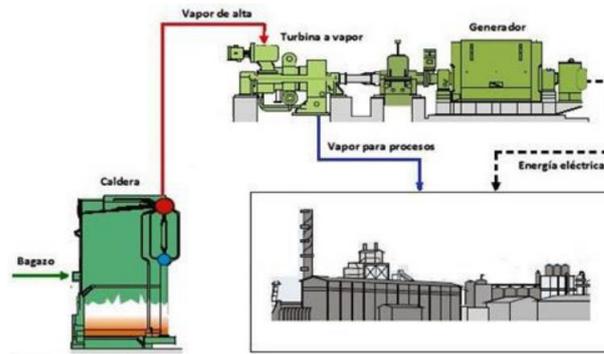


Figura 2. Ciclo Topping básico

Fuente: *Industrial and Comercial Cogeneration*, OTA (2016)

Ante aquello, los indicadores a determinar dentro del sistema de cogeneración son:

Rendimiento de generación: $\eta_g = E_g/E_b$

Relación de cogeneración: $\psi = E_t/E_e$

Rendimiento combinado total: $\varphi_c = (E_t + E_e)/I$

Rendimiento combinado total: $\varphi_c = \eta_g(1 + \psi)$

Tabla 2

Parámetros a considerar en los sistemas de cogeneración

Sistemas/cogeneradores	$\psi = E_t/E_e$	E_e [% E_t]	φ %
Turbina/contrapresión	abr-14	14-28	84-92
Turbina extracción/contrapresión	2-oct	22-40	60-80
Turbina/gas	1.3-2	24-35	75-80
Ciclo/combinado	1-1.7	34-40	69-83
Motor/diésel	1.1-2.5	33-50	75-85

Fuente: Alderetes (2016)

Elaboración propia.

Con base en estos parámetros, se puede evidenciar que para una fábrica agroindustrial destinada al procesamiento de azúcar, el consumo energético oscila entre los 28 Kwh/Ton.caña, con un consumo térmico aproximado de 330kwh (500 kg.vapor/Ton.caña), mientras que la

cogeneración es de $\psi = \frac{330}{7} = 11.78$ con lo que se define si ésta se sitúa como una fábrica termoconsumidora o termointensiva (Ernst, 2017).

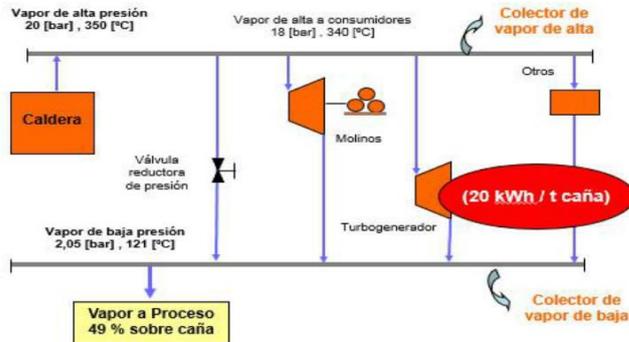


Figura 3. Ciclo térmico típico
Fuente: Ernst (2017).

Así, al asumir un proceso productivo de 2.1 kg. Vapor/kg. Bagazo y un poder calorífico inferior del bagazo equivalente a 2,12 kwh/kg, se obtiene un rendimiento global del ciclo de cogeneración de:

Bagazo consumido: $B = 500/2.1 = 238$ kg. Bagazo/Ton. Caña

Energía proporcionada al ciclo: $E_b = 238 * 2,12 = 504 \frac{kwh}{Ton.caña}$

Rendimiento de generación: $\eta_g = \frac{E_g}{E_b} = \left(\frac{28}{504}\right) 100 \approx 6\%$

Rendimiento combinado total: $\varphi_t = \frac{E_t + E_e}{E_b} = \frac{28 + 330}{504} = 0,7103$

Rendimiento total del ciclo de cogeneración: $\varphi_t \approx 71\%$

Mediante el despeje de las fórmulas, se obtiene que sólo el 6% de la energía térmica que proporciona el bagazo es convertida en energía eléctrica, mientras que el 65% es empleado en operaciones de transferencia de calor y un 29% se pierden en el proceso de conversión (Ernst, 2017). Bajo este contexto, al tener al bagazo como combustible de bajo costo, las industrias

azucareras proyectan la posibilidad de diversificar sus actividades de comercialización y tratan de introducir nuevas fuentes de ingresos, condicionándolas a optimizar la termoenergética y ubicarla en primer plano para impulsar el desarrollo de ciclos modernos de calderas de alta presión y temperatura que se combinan plenamente con las turbinas de extracción-contrapresión y/o extracción-condensación que se enfocan en generar diversas combinaciones que impulsa la venta de energía excedente al sistema de electrificación nacional (Pang & Mujumdar, 2016).

Tabla 3

Condiciones operativas en ciclos modernos

Ciclo térmico	Presión Vap/Bar	Temp. Vapor °C	Producción Vapor Ton/h
Tradicional	dic-25	250-360	20-100
Cogenerador	46-6	450-590	160-400

Fuente: Alderetes (2016)
Elaboración propia.

1.5.4 Biomasa

Para (Bustamante, Carrillo, Prieto, Corral, & Hernández, 2017) la biomasa constituye toda la materia de tipo orgánica sean estas vegetales, industriales o animales considerada residuo que puede ser transformada en energía, a través de diversas tecnologías que producen combustibles líquidos, sólidos o gaseosos. Por consiguiente, se constituye en una fuente de energía renovable por el hecho de provenir del Sol, que es captada mediante la clorofila de los vegetales y por medio de la fotosíntesis procede a convertir el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y el agua del suelo en carbohidratos, dando forma a una materia orgánica. Debido a ello, cuando éstos son quemados se induce a una liberación de energía, volviéndose a convertir en CO_2 y H_2O que se devuelven a la atmósfera, permitiendo la creación de un ciclo indefinido (Quintero, Bernard, Zoulalian, & Rogaume, 2017).

Desde estas perspectivas, dichas fuentes energéticas con características de biomasa que comúnmente son empleadas en la generación de energía suelen incluir desechos agrícolas, de origen agroindustrial, animal, urbanos e industriales, tales como el bagazo, cascaras de arroz, girasol, papel, entre otros, los que a través de una adecuada aplicación tecnológica se logran utilizar de manera eficiente. Así pues, este recurso es renovable capaz de sustituir a los combustibles fósiles no renovables, cuyo uso es de gran relevancia a nivel mundial, motivo por el cual múltiples empresas agroindustriales han optado por incluirlas como partes de sus procesos operativos (Faba, Díaz, & Ordóñez, 2014).

El cultivo de caña de azúcar se considera como una fuente renovable por la generación de residuos, durante los procesos de cosecha agrícola (RAC) como de los obtenidos de la molienda (bagazo), cuyo potencial es definido por diversos procesos de los cuales no sólo se podrá obtener productos de alto valor agregado sino una fuente generadora de energía eléctrica (Hernández, 2017). Ante aquello, el bagazo que es extraído de los cañaverales de azúcar está compuesto por los siguientes elementos:

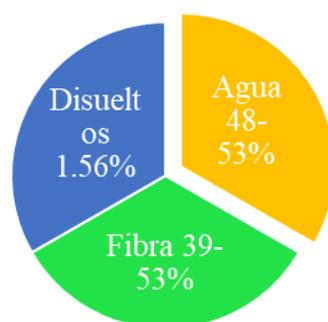


Figura 4. Composición del bagazo
Fuente: Hernández (2017)

Mencionado esto, se puede considerar que la fibra está conformada por un conjunto de componentes insolubles en agua y son distinguidos como fibra verdadera y fibra falsa o médula

que se encuentra en la zona central de los tallos. Así pues, al proceso de molienda o difusión que ingresa la caña de azúcar se logra extraer jugo mixto y bagazo (Stronguiló & Chacón, 2015).

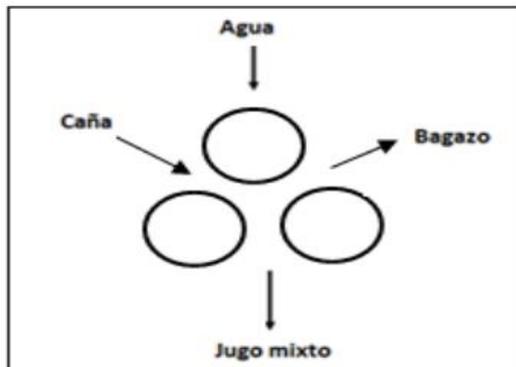


Figura 5. Proceso extractivo de la caña de azúcar
Fuente: : Alderetes (2016)

A partir de este procedimiento, el balance de masas y fibras inherentes al proceso de extracción y despreciando las fibras suspendidas en el jugo, se obtiene:

$$\text{Balance de masas: } M_c + M_a = M_j + M_b$$

$$\text{Balance de fibras: } M_c f_c = M_b * f_b$$

$$\text{Cantidad de bagazo: } M_b = M_c * f_c / f_b$$

Con lo cual:

- M_c Caña molida en Ton/h
- M_a Agua de imbibición en Ton/h
- M_j Jugo mixto en Ton/h
- M_b Bagazo generado en Ton/h
- f_c Fibra en caña % (11-16%)
- f_b Fibra en bagazo % (39-53%)

Con base en lo expuesto, se logra asumir los valores de $M_c = 1$ ton/h y $f_b = 48\%$. Por lo tanto, la cantidad de bagazo disponible se distribuye en función a los contenidos de fibra en caña:

Tabla 4***Cantidad de bagazo disponible en función a la fibra en caña***

Fibra % caña	Kg bagazo/Ton.Caña	Bagazo % caña
11	233	23
12	250	25
13	270	27
14	291	29

Fuente: Alderetes (2016)

Elaboración propia.

1.5.5 Ventilador de tiro forzado para caldera

Para (Retirado, y otros, 2020) los equipos generadores de vapor constituyen un conjunto de instalaciones elementales en el funcionamiento de las empresas industriales. Dada su importancia, se consideran la esencia de toda industria moderna. Así, las calderas de vapor juegan un rol significativo, por su gran tamaño, productividad y consumo de portadores energéticos tales como el agua, combustible, electricidad, entre otros.

Bajo este contexto, los ventiladores centrífugos son ampliamente utilizados en diversos sectores industriales. Su aplicabilidad permite proporcionar aire en un proceso de combustión, así como en el transporte de gases, en plantas de potencia, entre otros. Por consiguiente, su uso prolongado, registra la presencia de ventiladores que son incapaces de satisfacer la demanda y requerimiento de la planta, por lo que deben ser re-adaptados con el propósito de mejorar la capacidad del sistema termo-energético en el que se encuentra instalado (Zaleta et al., 2016)



Figura 6. Ventilador de tiro forzado para caldera
Fuente: Zibo Xinhua Fan Co. Ltd (2020)

De manera general, los ventiladores de tiro forzado se emplean para persuadir un espacio o crear presiones de aire mecánicas en un sistema térmico. Por lo tanto, su utilidad radica en la detección de un proceso de combustión que se emplea en las calderas, por lo que la tasa de transferencia de calor se incrementa (Zaleta, Belman, Pérez, Álvarez, & Gámez, 2016)

CAPÍTULO 2

2.1 METODOLOGÍA

2.1.1 Tipo y diseño de investigación

Al considerarse una propuesta tecnológica para mejoras en el uso de gases de combustión de caldera # 12, mediante un diseño de funcionalidad que permita el incremento de la temperatura del aire del ventilador neumático para optimizar sus condiciones operativas, el tipo de investigación es determinada de la siguiente manera:

- Según su finalidad, la investigación es aplicada ya que pone en práctica los conocimientos adquiridos dentro del proceso de formación profesional al momento de generar una propuesta tecnológica que facilite la optimización de los gases de caldera # 12 de la Ecoelectric S.A. encargada proveer de vapor para la operatividad de las maquinarias empleadas en el procesamiento industrial para la obtención de azúcar para consumo humano por parte del Ingenio Azucarero Valdez. En este sentido, dicha tipología investigativa brindó la oportunidad de proponer un esquema industrial para recoger los gases de caldera y volverlos a introducir con el propósito de elevar la temperatura en la caldera y mejorar el proceso de combustión del bagazo.
- Según su objetivo gnoseológico, la investigación es descriptiva, por aportar con el diseño estructural de un sistema (ducto) que permite recoger los gases de caldera y volverlos a utilizar con la finalidad de incrementar la temperatura en el proceso de combustión del bagazo, para de esta manera disminuir los niveles de humedad o consistencia del mismo ocasionado por una desfibración no adecuada.
- Según el contexto de la investigación, el estudio fue considerado de campo, debido a que el levantamiento de información se lo realizó en las instalaciones de Ecoelectric S.A. donde se encuentra asentada la caldera # 12, permitiendo de esta manera generar un diseño estructural que facilite la reutilización de los gases, los mismos que son

direccionados por medio de un ducto a la parte superior de la caldera e ingresados a través del impulso de un ventilador de tiro forzado.

- Según su orientación temporal, la investigación fue considerada como transversal, ya que atiende la problemática suscitada en el período 2021, en el cual se estima el planteamiento de la propuesta tecnológica determinando un aporte para Ecoelectric S.A. en el ámbito operativo y económico.
- Según el enfoque, la investigación tiene un diseño mixto (cualitativo-cuantitativo) debido al análisis de información que proporciona cifras cuantitativas en relación a las características operativas de la caldera; mientras que la parte cualitativa se encuentra determinada por la descripción del entorno de trabajo y las características operativas de las calderas, así como del bagazo.

2.1.2 Metodología empleada en la investigación

Al considerar un proceso investigativo direccionado al planteamiento de una propuesta tecnológica, los métodos empleados para su desarrollo fueron:

- Analítico-sintético, permitió hacer un planteamiento investigativo donde se consideran todos los elementos necesarios para mejorar el proceso de combustión del bagazo empleado por Ecoelectric S.A. en la generación de vapor, específicamente en la caldera # 12, en la cual se determinaron los elementos pertinente para la construcción de un ducto encargado de recoger los gases que salen de estas y volverlos a introducir incrementando la temperatura y lograr una mejor dispersión del bagazo y por ende una combustión eficiente.

2.1.1 Características de la caldera

Según (Cerdeira & Cid, 2017) la caldera es un equipo encargado de la generación de vapor a partir del agua líquida. En este sentido, las cantidades que se necesitan para generar valor son

obtenidas mediante las reacciones del proceso de combustión en estado sólido, líquido y gaseoso. Por lo tanto, el consumo del combustible que emplea estos artefactos son relativos con los factores del poder calorífico, la generación de vapor, niveles de presión operaria (Pando & Mayorga, 2018).

Ante lo mencionado, al agua de alimentación es fundamental para la generación de un buen desempeño energético en la caldera. Es por ello que un tratamiento deficiente se origina una disposición directa en la superficie de intercambio de calor interno de caldera, situación que incide en el nivel de eficiencia de transferencia del poder calorífico (Pérez, Cordovés, & Terán, 2016). Adicionalmente, al existir una ausencia de calentamiento del agua provoca la necesidad de incrementar el tiempo de combustible en la caldera, minimizando su eficiencia, situación que amerita un mayor tiempo de permanencia en el tiempo requerido para la generación de calor.

Para (Vivanco, 2017) la cámara de combustión en la caldera, el combustible procesado para la combustión es transferido mediante la usabilidad de los gases de combustión caliente el agua. Debido a ello, los gases de combustión disponen de un nivel sustancial de energía desperdiciada, mientras que la combustión debe disponer de la dosis acerada de vapor, en la cual debe considerar los costos y la calidad del combustible que se ubicó en una cifra variante que se ubica entre los 150 a 250 °C, perdiendo alrededor del 10 al 30% de energía térmica a través de la obtención de energía técnica.

De acuerdo con (Pando & Mayorga, 2018) los escenarios de la presentación de los costos y calidad del vapor generado, donde se consideras las cifras de los costos y calidad del vapor obtenido. La temperatura es esencial para los costos y calidad del servicio obtenido. Es decir, si los gases de la chimenea son mínimos es preciso mencionar

que hay una mejor combustión, el exceso de aire al quemador si está con exceso, el proceso de caldera no resulta provechoso, perdiendo niveles de eficiencia, de presión de trabajo y costes.

(Pando & Mayorga, 2018).

Al observar que el proceso de combustión es directo, esperando una mejora en el cuidado de un conjunto de directrices, cuando los gases observan al salir del proceso interno, entre los que se encuentran:

- Evidencia de humo negro (la cantidad de aire es insuficiente)
- Evidencia de humo blanco (la cantidad de aire es demasiado)
- Evidencia de humo transparente (relación adecuada de aire/combustible)

Los procesos de análisis de gases se los efectúa mediante analizadores, donde se obtienen mediciones exactas del exceso o insuficiencia en el aprovisionamiento de aire. Debido a ello, resulta esencial conocer los parámetros de eficiencia que determinan a correcta operación de las calderas con base en el grado de ponderación de aprovechamiento energético que demanda para la producción de vapor (Jurado & Lazo, 2018).

Ante lo expuesto, se procede a determinar la eficiencia de combustible que demanda la caldera a partir del flujo másico del vapor, el poder calorífico del combustible (bagazo), el flujo de combustible y las entalpías de vapor saturado y líquido a la presión de operación de la caldera.

Tabla 5**Características técnicas de la caldera Acuotubulares**

Parámetros físicos para ña caldera	Valores
Serie	2006-1-RP
Gama de producción	185 t/h
Temperatura de diseño máx.	hasta 495 °C
Capacidad	185 t/h
Presión nominal	47.5 kgf/cm ²
Producción de vapor	185 t/h
Presión de operación	45.7 kgf/cm ²
Eficiencia de combustión	70%
Horas de trabajo	24 horas
Consumo vapor real	98% consumo vapor nominal
Para el bagazo de caña	
Poder Calorífico Inferior	3893,31 Kcal/kg
Flujo másico del combustible	1.794,17 Ton/h
1 TON	1.3114 BEP
Para el agua de alimentación	
Temperatura	110 °C

Fuente: Golato et al. (2008).

Tabla 6

Características del quemador

Marca	Caldema		
Modelo	RL130		
Modo operación del quemador	dos pasos		
Salida de Calor	486/948 ÷ 1540 kw		
	41/80 ÷ 130 Kg/h		
Emisiones	CO emisión mg/kWh	< 40	indicador N° Bacharach
	grado de humos	< 1	
	NOx emisión mg/kWh	< 200	

Fuente: Golato et al. (2008).

2.1.2 Característica del bagazo de caña de azúcar

El proceso de fabricación del azúcar proveniente de la caña de azúcar genera una serie de subproductos, los mismos que gozan de igual significancia del primero obtenido. Algunos de ellos provienen del proceso de cosecha, entre los que se encuentran el cogollo, la paja, maleza, y otros que se generan en la fase de industrialización como el bagazo, las mieles finales y la cachaza. En este sentido, el bagazo puede llegar a tener entre el 26% a 30% del total de peso de la caña dispuesta a molienda. Entre sus componentes se encuentra el agua, sólidos particulados y cantidades mínimas de sólidos solubles que registran los siguientes valores: del 42 a 56% de humedad, sólidos particulados del 40 al 47% y sólidos solubles de 6 a 8% (Roca, Sánchez, Olivares, & Barbosa, 2015, pág. 3).

Para el caso del Ingenio Valdez, la composición química elemental del bagazo de caña de azúcar evidencia un 49.50% de humedad (ver Tabla 1):

Tabla 7

Propiedades del bagazo de caña

Elemento	Porcentaje (%)
% HYDROGEN	2.53
% CARBON	24.08
% NITROGEN	0.17
% OXYGEN	21.43
% SULFUR	0.25
% MOISTUR	49.50
% ASH	2.03

Fuente: Golato et al. (2008).

En lo referente al poder calorífico, este se encuentra determinado por su composición química, donde los porcentajes de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre, cenizas, humedad, carbono fijo y volátiles determinan sus propiedades de combustión, donde:

$$HHV_{db} = 344.5C + 1239.6H + 18.2S - 28.5N - 112.5O - 7.65A [kJ/kg]$$

Bajo este contexto, el poder calorífico del bagazo de caña de azúcar depende en gran medida de la variedad de la caña, la estructura del suelo, el riego, tipo de abono y la madurez de la planta. Sin embargo, el contenido de humedad del bagazo tiende a variar en conformidad con la velocidad y eficiencia de la molienda, por lo tanto, la humedad del bagazo que ingresa a las calderas es inferior a 50.96%, como resultado del proceso de evaporación que se efectúa en la pila de almacenamiento, y también al efecto del secado que se logra mediante el uso de agua caliente durante el proceso de maceración, y cuyo propósito centra su interés en elevar la

extracción de sacarosa, la misma que no se puede obtener con agua fría; así, la aplicación del agua caliente garantiza la obtención del jugo caliente, además de incrementar la temperatura del bagazo por encima de la temperatura ambiente, lo que beneficia en dos partes:

- Secado parcializado del bagazo
- Incremento de la temperatura del bagazo a la entrada al horno, lo que representa el aumento de su valor calórico normal a través de la reducción de la temperatura entre el agua que ingresa con el bagazo y la temperatura proveniente de la evaporación del agua del horno.

Si se toma en consideración, que la fibra dispuesta de la caña es insuficiente y la humedad del bagazo es alta, se presenta el problema en caldera, ocasionando que estas tiendan a bajar la presión de vapor debido a la densidad del bagazo y la escasa capacidad de dispersión para combustión que se puede generar en el interior de las calderas. Por lo tanto, la calidad del bagazo está estrechamente relacionada con la maceración, el porcentaje de fibra el pol que constituye la cantidad de azúcar en solución con el agua que se encuentra dispuesta en el bagazo.

En este sentido, se debe procurar que la presencia de azúcar en el bagazo sea mínima oscilando entre el 2 y el 4%, obteniendo una cantidad de bagazo en caña de azúcar de entre el 30% lo que representa una productividad de 250 kg por tonelada de caña procesada.

Tabla 8***Generación de energía y consumo de bagazo de caña de azúcar***

ESCENARIOS	Potencia				Ton bagazo	
	TnVH	Lb VH	KW	kg	Ton Hora	día
TURBO 27,5	170	374000	27500	82.524,27	82,52	1.980,58
TURBO 27	168	369600	27000	81.553,40	81,55	1.957,28
TURBO 26	164	360800	26000	79.611,65	79,61	1.910,68
TURBO 25	160	352000	25000	77.669,90	77,67	1.864,08
TURBO 24	154	338800	24000	74.757,28	74,76	1.794,17
TURBO 23	148	352600	23000	71.844,66	71,84	1.724,27
TURBO 22	143	314600	22000	69.417,48	69,42	1.666,02
TURBO 21	138	303600	21000	66.028,71	66,03	1.584,69
TURBO 20	133	292600	20000	63.636,36	63,64	1.527,27
TURBO 19	128	281600	19000	61.244,02	61,24	1.469,96
TURBO 18	123	270600	18000	58.851,67	58,85	1.412,44
TURBO 17	119,5	262900	17000	58.009,71	58,01	1.392,23
TURBO 17,5	116	255200	17000	55.502,39	55,50	1.332,06
TURBO 16	111	244200	16000	53.110,05	53,11	1.274,64
TURBO 15	106	233200	15000	50.717,70	50,72	1.217,22
TURBO 14	101	222200	14000	48.325,36	48,33	1.159,81
TURBO 13	96	211200	13000	45.933,01	45,93	1.102,39
TURBO 12	91	200200	12000	43.540,67	43,54	1.044,98

Fuente: ECOELECTRIC S.A. (2021)

CAPÍTULO 3

3.1 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1.1 Análisis de propuesta

La problemática se centra en la necesidad de optimizar los gases de caldera, tomando en consideración que el porcentaje de humedad del bagazo que ingresa a esta es del 70%, situación que genera que éste se torne más denso y no logre ser esparcido para su correcta combustión. En este sentido, se pretende generar un bucle de reutilización de los gases de combustión de caldera # 12 para optimizar la funcionalidad del ventilador neumático, logrando que estos ingresen nuevamente e incrementen el proceso de secado del bagazo en las duchas.

La propuesta radica en recoger los gases provenientes del ducto de caldera que salen a una temperatura aproximada de 175° C y volverlo a introducir al horno con el propósito de disminuir la humedad del bagazo, logrando de esta manera, optimizar el consumo del mismo. A partir de aquello, se ha podido constatar que la densidad del bagazo es equivalente al 14% de fibricidad, lo que implica que el proceso en los desfibradores y molinos deben mejorarse, para de esta manera lograr ser esparcido por el aire que ingresa del ventilador neumático existente. Sin embargo, la calidad del bagazo demanda de la reutilización de gases de caldera para de esta manera incorporar gases calientes e incrementar su capacidad calórica.

Para aquello, se requiere implementar una conexión nueva desde el ducto que transporta el flujo de los gases hacia la lavadora (1), creando un baypas de retorno (2) con un flujo contrario que es dirigido hacia un ventilador de tiro forzado (3) encargado de alimentar los gases calientes nuevamente al horno y lograr un proceso de secado inducido adicional del bagazo (4), obteniendo esparcirse de una mejor manera para generar una combustión más eficiente, minimizando de esta manera la cantidad de bagazo requerido de manera diaria para la generación de energía que demanda los procesos operativos de fábrica.

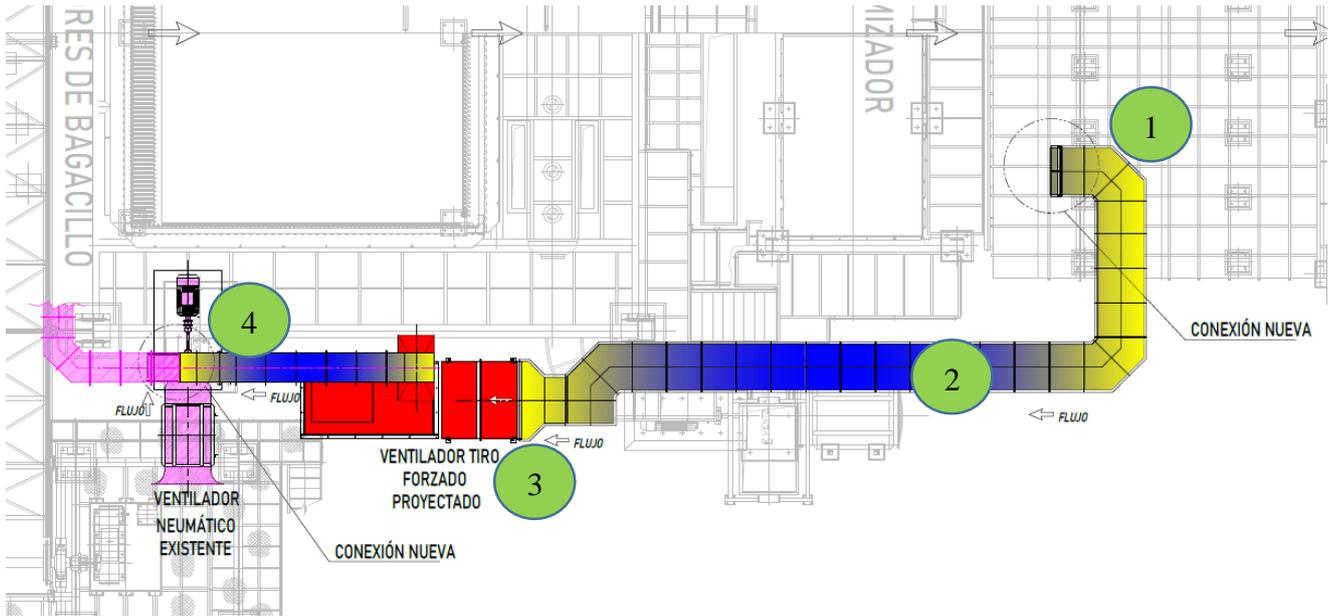


Figura 7. Propuesta de implementación del ducto de recolección de gases de caldera. Vista superior

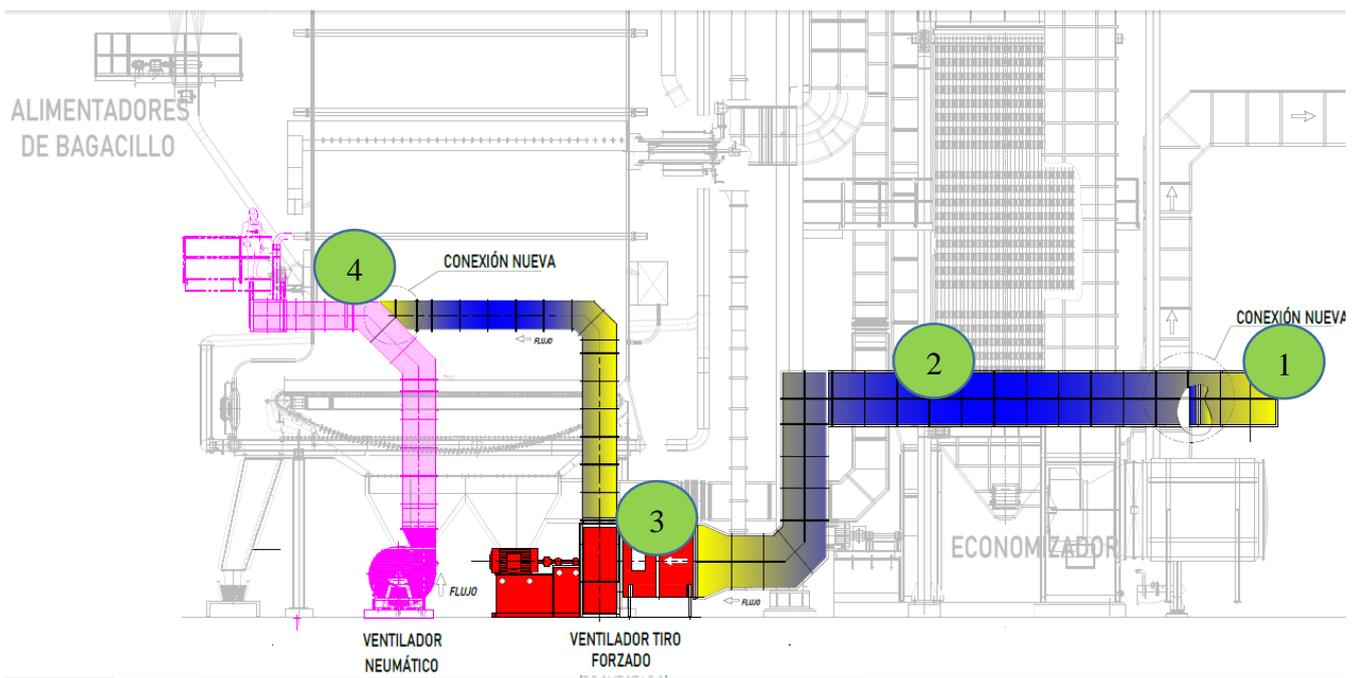


Figura 8. Propuesta de implementación del ducto de recolección de gases de caldera. Vista lateral

El acoplamiento del ventilador de tiro forzado permite suplir el déficit de flujo de aire hacia la caldera, además de asegurar que los gases incorporados en el mismo contribuyan a la disminución de los niveles de humedad del bagazo. Por lo tanto, la carga al 100% del ventilador permite proporcionar un flujo de aire de $8.800 \text{ m}^3/\text{min}$, con una caída de presión a la descarga

de 6.86 KPa, con lo cual los gases de calderas dispuestos al retorno ingresan a una temperatura de 175°C.

Se consideró un sistema convencional de secado, en la cual se logra generar un bucle de gases calientes de caldera impulsado por medio de un ventilador de tiro forzado para secado. Por lo tanto, se estimó la potencia requerida para el ventilador auxiliar, y contemplado por el consumo específicos del vapor en la usina equivalente a 10 kg vapor/ kwh. A partir de aquello se establecen los siguientes valores promedio para la actividad azucarera:

Tabla 9

Valores promedios estimados en la actividad azucarera

Componentes	Indicadores
Molienda promedio	243,7 TCH
Producción de vapor de la caldera	46 t/h
Presión del vapor generado	18,64 kg/cm ² ef
Temperatura de vapor	294 °C
Humedad del bagazo quemado	51,15% base húmeda

Fuente: ECOELECTRIC S.A. (2021)

Por lo tanto, con la reincorporación de los gases de la caldera al horno se obtiene un incremento de eficiencia calorífica de la misma manera, equivalente al 3%, estimando un ahorro de consumo de bagazo para un escenario Turbo de 17,5 dispuesto de la siguiente manera:

Tabla 10***Ahorro de bagazo húmedo***

Bagazo con niveles de humedad (BNH) del	55.502,39 kg/h
51,15% consumido en el proceso normal	
Bagazo con niveles de humedad (BNH) del	53.837,31 kg/h
48,15% consumido posterior al bucle de gases de caldera	
Cantidad de bagazo optimizado (CBO)	1.665,07 kg/h
Ahorro neto relativo	3%

Fuente: ECOELECTRIC S.A. (2021)

Tabla 11***Aspectos económicos generados con la propuesta***

Cantidad de bagazo optimizado (CBO)	1,665 Ton/h
Costo de bagazo	0,50 c/Ton
Ahorro económico al mes	\$ 599.40

Fuente: ECOELECTRIC S.A. (2021)

Los datos dispuestos en la Tabla 11 evidencian que el sobrante de bagazo logrado una vez que se mejore la eficiencia del secado del bagazo mediante el bucle de gases de caldera es de 1,665 Ton/h donde el costo de compra del bagazo es equivalente a \$ 0,50 de los cuales al mes ECOELECTRIC S.A. ahorraría aproximadamente \$ 599.40.

Cálculo de la inversión

Para poner en marcha el proyecto, es necesaria la construcción de un ducto cuya dimensión total para la entrada y salida de los gases de caldera, es de 17 metros lineales, dispuestos en forma de “L”, donde la parte horizontal equivale a 12 metros y la vertical a 5 metros. (Ver figura 9)

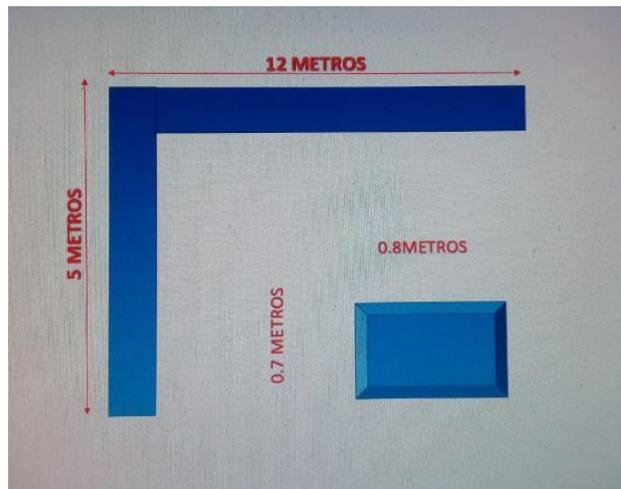


Figura 9. Superficie en metros lineales del ducto.

En este sentido, la construcción del ducto partirá desde un acople en la parte previa de las duchas de gases que transportará los mismos hasta el ventilador de tiro forzado, de donde se alimenta a un ducto de salida que transporta los gases hasta el ducto principal del ventilador neumático encargado de ingresar aire a la caldera. En este caso, se estaría induciendo gases de caldera caliente a 175°C , incrementando de esta manera la intensidad del secado del bagazo y la reducción de los índices de humedad del mismo



Figura 10. Esquema constructivo del ducto.

Tabla 12***Estimación de costos de la propuesta***

Detalle	Cantidad	Costos unitario	Total
		(USD)	
Construcción del ventilador + mano de obra + materiales	1	10.000	10.000,00
Planchas metálicas 6 mm (ducto)	17.708	160	2.833,28
Mano de obra del ducto	1	10.000,00	10.000,00
Motor eléctrico	1	30.000,00	30.000,00
Total	-----	-----	52.833,28

Fuente: Elaboración propia

La propuesta de mejora empleada en este proyecto determina un horizonte de cinco años con la finalidad de poder visualizar pérdidas o ahorro en un mediano plazo, para lo cual se determinan los siguientes aspectos:

3.1.2 Análisis de resultados

Estimación de beneficios a partir de la implementación de la propuesta tecnológica

La puesta en marcha de la propuesta tecnológica amerita establecer un Estado de Resultados (ER) para la elaboración del Flujo De Caja Neto (FCN), bajo los siguientes parámetros:

1. Los resultados obtenidos en la Tabla 10 evidencia que ECOELECTRIC S.A., al implementar la propuesta de solución para optimizar la reutilización de los gases de caldera lograría un mejor proceso de secado del bagazo utilizado para la generación de vapor, estimando un ahorro de 1.665,07 kg/h, obtenido de la diferencia entre:

$$BNH(51,15\%) - BNH(48,15\%) = \text{Cantidad de bagazo optimizado (CBO)}$$

$$55.502,39 \text{ Kg/h} - 53.837,31 \text{ Kg/h} = 1.665,07 \text{ Kg/h (CBO)}$$

2. A partir de los resultados obtenidos de la cantidad de bagazo optimizado-CBO ($1.665,07 \text{ Kg/h}$), se establece que dentro del ciclo total de producción que dura la zafra,¹³ ECOELECTRIC S.A. tendría la oportunidad de ahorrar alrededor de 7.192,8 toneladas de bagazo.

Tabla 13
Cantidad de bagazo optimizado

CBO (Ton/h)	HORAS/DÍA	Total Ton/día	Total Ton/Ciclo
1,665	24	39,96	7192,8

Fuente: Elaboración propia

3. Una vez estimado el ahorro o sobrante de bagazo que normalmente ECOELECTRIC S.A. empleaba para la generación de energía, se puede considerar que la empresa tiene la oportunidad de adicionar 5,99 días de producción energética en “Escenario TURBO 15” obteniendo de aquello 2.157,84 MW adicionales, es decir que los réditos económicos en dicha operación por la venta de energía adicional serían de \$ 86.313,60.

Tabla 14
Cantidad de bagazo optimizado

Ítems	Valores
Toneladas Horas (Ton/h)	143,856 Ton/h
Días adicionales de producción energética	5,994 días
Mw/horas (Escenario TURBO 15)	15 Mw
Mw/días (Total Mw en el día)	360Mw/d

¹³ Período de cosecha de la caña de azúcar (junio-diciembre)

Mw/Totales (en los 5 días adicionales)	2.157,84 Mw/total
Kw/Totales (kilovatios totales adicionales)	2.157.840,00 Kw
Costo/kw (USD) venta	\$ 0,04
Ganancias (réditos económicos USD)	\$ 86.313,60

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos de se procede a la elaboración del Estado de Resultados (ER) de la propuesta práctica.

Tabla 15

Estado de Resultados (ER). Escenario conservador

Ítems	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos No Operacionales	86.313,60	86.313,60	86.313,60	86.313,60	86.313,60
(-) Costos de Operación	43.156,80	43.156,80	43.156,80	43.156,80	43.156,80
(-) Costos de Mantenimiento	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
(-) Depreciación (10%/año)	8.631,36	8.631,36	8.631,36	8.631,36	8.631,36
Ingresos No Operacionales	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(-) Costos No Operacionales	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidad antes del impuestos	34.025,44	34.025,44	34.025,44	34.025,44	34.025,44
Impuesto	8.506,36	8.506,36	8.506,36	8.506,36	8.506,36

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 14 permite observar que los ingresos no operacionales que Ecoelectric S.A. obtiene a partir del CBO es de \$ 86.313,60 de los cuales requiere de \$ 43.156,80 para la operación de todo el proceso, estimado del 50% de los valores percibido de la venta de energía que equivale a \$ 0,02; mientras que los costos de mantenimiento alcanza los \$ 500,00; teniendo una utilidad

ante de los impuestos de \$ 34.025,44. A partir de estos valores, se procede a realizar una proyección considerando un escenario *conservador*¹⁴ para la proyección de resultados a 5 años.

Tabla 16

Flujo de caja (FC). Escenario conservador

Período proyectado	Inversión	Ingresos	Gastos	Impuestos	Flujo de Caja Neto (FCN)
Año 0	-52.833,28				-52.833,28
Año 1		86.313,60	43.656,80	8.506,36	34.150,44
Año 2		86.313,60	43.656,80	8.506,36	34.150,44
Año 3		86.313,60	43.656,80	8.506,36	34.150,44
Año 4		86.313,60	43.656,80	8.506,36	34.150,44
Año 5		86.313,60	43.656,80	8.506,36	34.150,44

Fuente: Elaboración propia

Del flujo de caja dispuesto en la tabla 16, se puede observar el valor de \$ 52.833,28 equivalente al monto de inversión inicial que se requiere para la puesta en marcha del proyecto, el Valor Actual Neto (VAN) de lo que significa la inversión, mantenimiento y operación del ventilador de tiro forzado con una tasa de descuento del 15% es de \$ 61.644,29 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 58%, donde los montos de inversión son recuperables en 3,23 años.

$$\sum_{i=1}^5 \frac{FCN}{(1+k)^i}$$

Donde *FCN* es el flujo de caja neto, *i* equivale al número de períodos y *k* es la tasa de descuento por lo que se obtiene un VAN de \$ 61.644,29 lo que significa que la inversión en la implementación de la propuesta práctica, con los costos asociados, es inferior a los ingresos

¹⁴ Es aquel en el que no deberían ocurrir sorpresas ni positivas ni negativas, por estar basado en circunstancias similares al pasado.

adquiridos de manera significativa lo que se puede concluir que su puesta en marcha es rentable.

(Ver Tabla 17)

Tabla 17

Estimación de factibilidad VAN y TIR. Escenario conservador

INVERSIÓN	52,833,28	TASA DE DESCUENTO	15%
------------------	------------------	--------------------------	------------

TIPO DE PRODUCTO	INVERSIÓN	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	VAN	TIR
<i>PROYECTO A</i>	-52833,28	\$34.150,44	\$34.150,44	\$34.150,44	\$34.150,44	\$34.150,44	\$61.644,29	158 %

Elaboración propia

Tabla 18

Simulación de Rentabilidad a partir del VAN

TASA DE DESCUENTO	VAN
0%	\$117.918,92 RENTABLE
5%	\$95.020,25 RENTABLE
10%	\$76.623,76 RENTABLE
15%	\$61.644,29 RENTABLE
20%	\$49.297,44 RENTABLE
25%	\$39.006,82 RENTABLE
30%	\$30.342,50 RENTABLE
35%	\$22.979,38 RENTABLE
40%	\$16.668,46 RENTABLE
45%	\$11.216,80 RENTABLE
50%	\$6.473,25 RENTABLE
60%	-\$1.343,95 NO RENTABLE
70%	-\$7.482,94 NO RENTABLE

Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 18, sea cual fuere la tasa de descuento que se aplique al proyecto, el proyecto de inversión siempre refleja cifras positivas o rentables, tal y como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Esquema gráfico del VAN y TIR.

Otro de los factores que se toma en consideración para el análisis de la propuesta, es la variación de la calidad de bagazo donde los niveles de humedad tienden a aumentar debido a una deficiencia en la parte del difusor, encontrándose niveles de sacarosa elevados en el mismo que durante el proceso de combustión tiende a cristalizarse y ocasionar que éste de lleve de manera no adecuada. Por lo tanto, el escenario variaría significativamente en relación a las proyecciones realizadas. Por otra parte, se debe considerar también las variantes sociales que tienden a incrementar los costos de la inversión, mantenimiento y operación del ventilador de tiro forzado; para aquello se realiza un análisis económico de la propuesta bajo un escenario negativo, con una tasa de descuento del 15% pero un incremento porcentual en los costos del 0.12% según la tasa inflacionaria¹⁵ del 0,12% pronunciada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) al corte de agosto del 2021.

¹⁵Proceso de desequilibrio entre la producción y la demanda

Tabla 19***Estado de Resultados (ER). Escenario pesimista***

Ítems	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos No Operacionales	86.313,60	86.313,60	86.313,60	86.313,60	86.313,60
(-) Costos de Operación	48.335,62	53.514,43	58.693,25	63.872,06	69.050,88
(-) Costos de Mantenimiento	560,00	627,20	702,46	786,76	881,17
(-) Depreciación (10%/año)	8.631,36	8.631,36	8.631,36	8.631,36	8.631,36
Ingresos No Operacionales	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(-) Costos No Operacionales	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidad antes del impuestos	28.786,62	23.540,61	18.286,53	13.023,42	7.750,19
Impuesto	7.196,66	5.885,15	4.571,63	3.255,85	1.937,55

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 19, los costos se incrementaron en función al 0,12% de la tasa de inflación, teniendo que se requiere de en el año 1 de \$ 48.335,62 para la operación de todo el proceso, estimado del 50% de los valores percibido de la venta de energía que equivale a \$ 0,02; mientras que los costos de mantenimiento alcanza los \$ 560,00; teniendo una utilidad ante de los impuestos de \$ 28.786,62. A partir de estos valores, se procede a realizar una proyección considerando un escenario *pesimista*¹⁶ para la proyección de resultados a 5 años. A partir del año 2 hasta el 5 se evidencia un incremento porcentual que tiende a generar variaciones en los costos de operación, así como en el de mantenimiento, obteniendo el siguiente fulo de caja:

¹⁶

Tabla 20**Flujo de caja (FC). Escenario conservador**

Período proyectado	Inversión	Ingresos	Gastos	Impuestos	Flujo de Caja Neto (FCN)
Año 0	-52.833,28				-52.833,28
Año 1		86.313,60	48.895,62	7.196,66	30.221,33
Año 2		86.313,60	54.141,63	5.885,15	24.975,31
Año 3		86.313,60	59.395,71	4.571,63	19.721,23
Año 4		86.313,60	64.658,82	3.255,85	14.458,12
Año 5		86.313,60	69.932,05	1.937,55	9.184,89

Fuente: Elaboración propia

Del flujo de caja dispuesto en la tabla 20, se puede observar el valor de \$ 52.833,28 equivalente al monto de inversión inicial que se requiere para la puesta en marcha del proyecto, el Valor Actual Neto (VAN) de lo que significa la inversión, mantenimiento y operación del ventilador de tiro forzado con una tasa de descuento del 15% es de \$ 18.131,08 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 32%, donde los montos de inversión son recuperables en 1,87 años.

Tabla 21**Estimación de factibilidad VAN y TIR. Escenario pesimista**

INVERSIÓN	52,833,28	TASA DE DESCUENTO	15%
------------------	------------------	--------------------------	------------

TIPO DE PRODUCTO	INVERSIÓN	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	VAN	TIR
PROYECTO A	-52833,28	\$ 30.221,33	\$ 24.975,31	\$ 19.721,23	\$ 14.458,12	\$ 9.184,89	\$ 18.131,08	32 %

Elaboración propia

Tabla 22

Simulación de Rentabilidad a partir del VAN. Escenario pesimista

TASA DE DESCUENTO	VAN
0%	\$45.727,60 RENTABLE
5%	\$34.729,55 RENTABLE
10%	\$25.676,44 RENTABLE
15%	\$18.131,08 RENTABLE
20%	\$11.771,55 RENTABLE
25%	\$6.357,00 RENTABLE
30%	\$1.704,57 RENTABLE
35%	-\$2.326,46 NO RENTABLE
40%	-\$5.845,72 NO RENTABLE
45%	-\$8.939,57 NO RENTABLE
50%	-\$11.676,80 NO RENTABLE
60%	-\$16.292,14 NO RENTABLE
70%	-\$20.022,00 NO RENTABLE

Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 18, sea cual fuere la tasa de descuento que se aplique al proyecto, el proyecto de inversión siempre refleja cifras positivas o rentables, tal y como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Esquema gráfico del VAN y TIR. Escenario pesimista

Ante lo expuesto, el análisis de los resultados determina que a pesar de enfrentar problemas inflacionarios, la viabilidad del proyecto aún continúa siendo factible y generadora de recursos a favor de la empresa, lo que implica una alternativa óptima a ser considerada por Ecoelectric S.A.

CONCLUSIONES

- La propuesta de mejoras para el uso de los gases de combustión de la caldera # 12, mediante un diseño de funcionalidad que permita el incremento de la temperatura del aire del ventilador neumático para optimizar sus condiciones operativas es factible, por considerar en dos escenarios (conservador, pesimista) que el VAN y TIR generados a partir del Estado de Resultados y del Flujo de Caja Neto inherentes a la inversión son positivos.
- El análisis del problema permitió diagnosticar las desviaciones de rendimiento existente en los procesos de combustión de la caldera # 12, determinando la necesidad de disminuir el índice de humedad del bagazo, el mismo que es inferior a 50.96% al momento de ingresar a la caldera, como resultado del proceso de evaporación que se efectúa en la pila de almacenamiento, y también al efecto del secado. De la misma manera, el índice de fibrosidad del 14% incide en la densidad del bagazo, lo que ocasiona que este no logre ser esparcido de manera adecuada, disminuyendo su capacidad calorífica y de combustión.
- Existe la necesidad de diseñar el bucle de reutilización de los gases de combustión de la caldera # 12 para optimizar la funcionalidad del ventilador neumático, el mismo que recoge los gases del ducto antes que ingrese al área de lavado, logrando inducirlos nuevamente al horno mediante una conexión paralela por medio de un ventilador de tipo forzado.
- La evaluación del índice de eficiencia total de la caldera # 12, a partir de la reutilización de los gases de combustión determinó un decremento en los índices de humedad del bagazo de caña de azúcar posterior a la reutilización de los gases, los mismos que ingresan a 170° C incrementando la temperatura y su capacidad calorífica, determinado un mejor proceso de suspensión de las partículas dispuestas a combustión.

RECOMENDACIONES

Como parte de las recomendaciones, se sugiere que ECOELECTRIC S.A. tome en consideración la implementación de la propuesta de mejora para el uso de los gases de combustión de la caldera #12 en la funcionalidad de ventilador neumático, teniendo presente que los índices de humedad, así como los de fibrociencia inciden en su densidad. Por tanto, el decremento de estos porcentajes logra una disminución de consumo de tonelaje de bagazo y la eficiencia en la generación de electricidad.

Es necesario que el proceso ocurrente en el desfibrador y de molienda determine una mejora en la desfragmentación del bagazo de caña de azúcar, logrando una mejora en la fibrociencia, y por ende en su capacidad de combustión y propiedad calorífica. Por ello, la propuesta debe ser asumida como un bucle de recolección de gases que contribuye a la disminución de la humedad y por ende genera un ahorro en relación a los costos de bagazo diarios.

Bibliografía

- Alderetes, C. (2016). *Calderas a Bagazo*. Colombia.
- Armendaris, C. (2018). Aplicaciones de gases de escape de calderas. *In Thermal Energy International INC* .
- Bin, A. (2016). *Properties and bulk drying of biomass*. Obtenido de Agricultural Engineering.
- Bustamante, V., Carrillo, A., Prieto, J. Á., Corral, J. J., & Hernández, J. C. (2017). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5-24.
- Campos, C. (21 de Septiembre de 2017). *Cogeneración. Guía para Implementación de Sistema Integral de Gestión de Energía_UPME*. Obtenido de Energía UPME: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Guia/Guia.pdf>
- Cerdeira, D., & Cid, J. S. (2017). Guía básica de calderas industriales. *Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas.*, 71-95.
- Chica, J., & Guerrero, D. (2016). *Diseño del control Automático de gases de combustión en la caldera del Ingenio María Luisa S.A*. Obtenido de Universidad Autónoma de Occidente.
- Coszkun, C., Oktay, Z., & Ilten, N. (2017). A new approach for simplifying the calculation of flue gas specific heat and specific exergy value depending on fuel composition. *Energ.*
- Demirbas, A. (2014). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*.
- Ernst, H. (2017). *Informe técnico óptima de vapor y calor. In Bosch Industriekessel*. Acoplares.
- Faba, L., Díaz, E., & Ordóñez, S. (2014). Transformación de biomasa en biocombustibles de segunda generación. *Revista de Energía*.

Figuroa, D. G., & Mazabel, J. C. (2011). *Diseño del control automático de gases de combustión en la caldera de ingenio María Luisa S.A.* Obtenido de Biblioteca Digital UAO: <http://bdigital.uao.edu.co/handle/10614/1290>

Hernández, A. (2017). Aprovechamiento de las posibles fuentes de biomasa para entregar más electricidad en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez. *Revista Centro Azucar.*

Horton, R. (2018). *Optimizar la eficiencia de las calderas . Eficiencias de Caldera.* Obtenido de Mundo Caldera: <https://www.mundohvacr.com.mx/2013/05/optimizar-la-eficiencia-de-las-calderas/>

Jiménez, F. (2017). *Propuesta de mejora para el proceso de generación de vapor de Gelymar S.A.* Obtenido de Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Jiménez, F. J. (2017). *Propuesta de mejora para el Proceso de Generación de Vapor de GELYMAR S.A.* Obtenido de Universidad Católica de La Santísima Concepción.

Jurado, I., & Lazo, G. (2018). Estudio de Prefactibilidad para la instalación de una Planta Productora de Calentadores Solares para uso en calderos industriales. *Revista de la Universidad de Lima.*

Kumar, R., Navindgi, M., & Srinivas, G. (2016). Performance Guarantee Test Assessment of CFBC Boiler. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology,*.

Lekshmi, K., & Pillai, V. (2015). Boiler Blowdown Analysis In An Industrial Boiler. *IOSR Journal of Engineering.*

Li, H., Chen, Q., Zhang, X., Finney, K., Sharifi, V., & Swithenbank, J. (. (2016). Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: A case study. *Journal of applied thermal engineering.*

Llorens Morraja, M., & Miranda, A. (2016). Ingeniería térmica. *Marcomp.*

McCoy, G. (2014). *Improving energy efficiency through biomass drying*.

Orozco Barrera, B. A. (2016). *Ajuste de los parámetros de combustión en la caldera de la compañía eléctrica de Sochagota S.A. E.S.P. - Termopaipa IV para buscar una reducción en los niveles de no X*. Obtenido de Repositorio Digital UPTC: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2703/1/TGT_1324.pdf

Pando, A., & Mayorga, J. (2018). Generación de Vapor. *Revista Industrial*.

Pang, S., & Mujumdar, A. (2016). *Drying of Woody Biomass for Bioenergy: Drying Technologies and Optimization for an Integrated Bioenergy Plant*.

Pérez, C. A., Cordovés, A., & Terán, J. R. (2016). Diseño e implementación de un sistema de control para mejorar la calidad de los gases de combustión de una caldera pirotubular de 5 BHP. *Enfoque UTE*, 7.

Prieto, E. (2017). *Aumento de la Eficiencia energética en las calderas mediante la recirculación de condensados en la industria Gloria Colombia Planta COGUA*. Obtenido de Universidad Santo Tomás.

Quintero, A., Bernard, C., Zoulalian, A., & Rogaume, Y. (2017). Improving the Operation of an Automatic Wood Chip Boiler by Optimizing CO Emissions. *Energy & Fuels*.

Quispe, C. (2016). Análisis Energético de un sistema de Cogeneración con Ciclo Combinado y Gasificación para la Industria Azucarera. Universidad de Piura. *Universidad de Piura.*, 11-26.

Retirado, Y., Laurencio, H. L., Sánchez, A. A., Camaraza, Y., Salazar, M. F., Lamorú, M., & Góngora, E. (2020). Análisis termoenergético del sistema de generación de vapor de una central térmica de 49 MW. *Enfoque UTE*, 87-101.

Roca, G., Sánchez, C., Olivares, E., & Barbosa, L. (2015). Caracterización del bagazo de la caña de azúcar . *Faculdade de Engenharia Agrícola-FEAGRI e Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético-NIPE*.

Rodas, A., & Vargas, C. (2016). *Análisis comparativo de la eficiencia térmica en la caldera bagacera n ° 4 en funcionamiento convencional*. Obtenido de Repositorio Digital USS: <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4413/Rodas Flores - Vargas Machuca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Stronguiló, M. L., & Chacón, L. M. (2015). Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles. *Enfoque UTE*.

Sunudas, T., & Prince, M. (2016). Optimization of Boiler Blowdown and Blowdown Heat Recovery in Textile Sector. *Journal of Engineering Research and Application*.

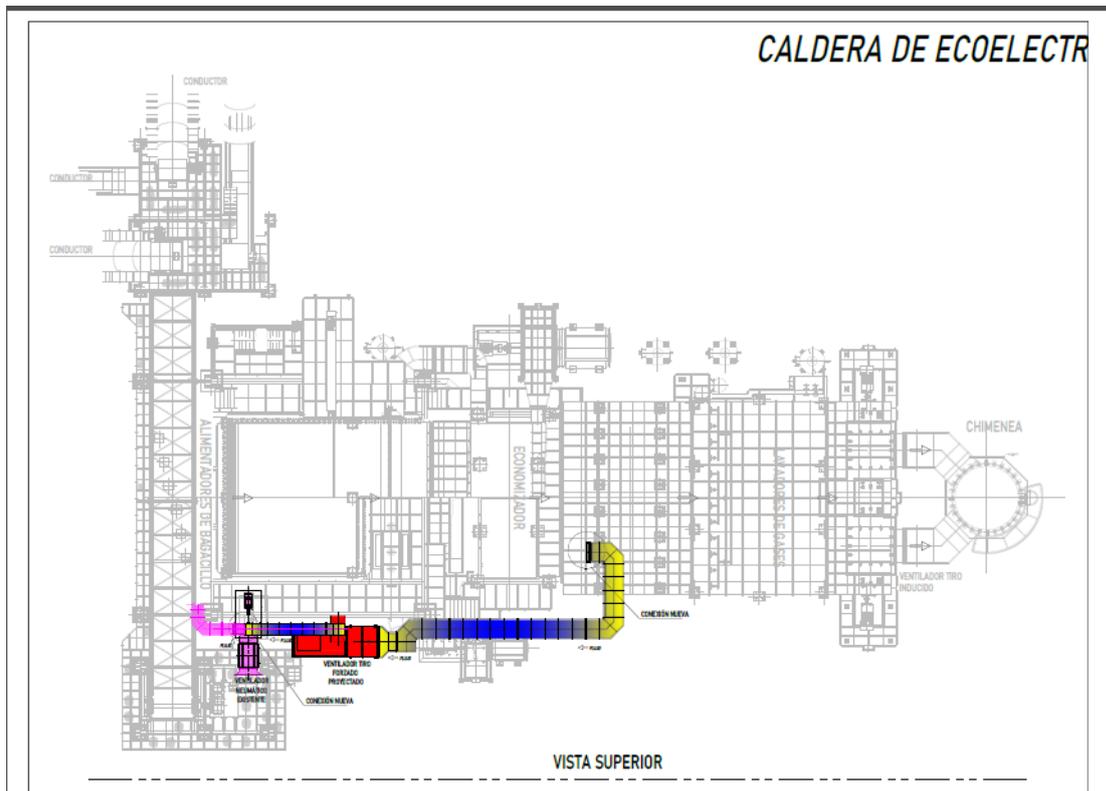
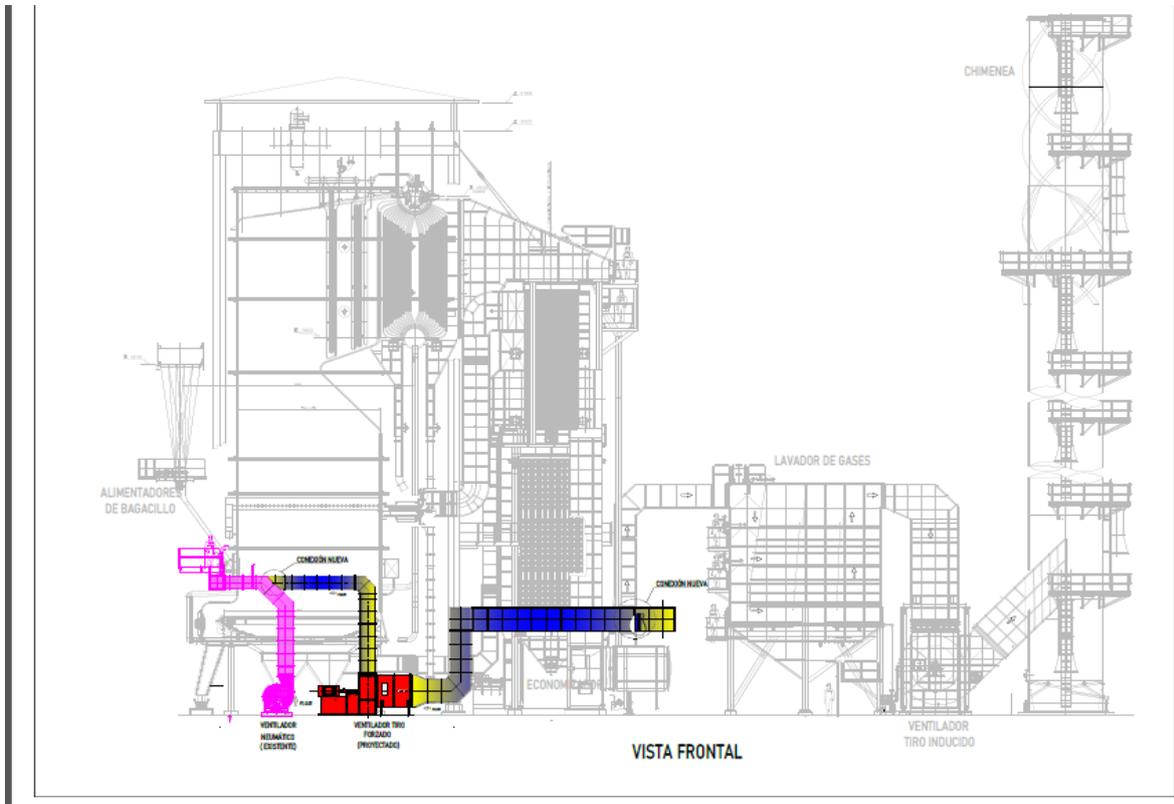
Torres, O. (2017). Automatización para la mejora de la combustión en calderas. *Mundo AHCR*, 5.

Vivanco, C. (2017). Diseño de un Sistema de Control Automático para la Caldera en la Industria Comprolacsa de la ciudad de Loja. *Universidad Nacional de Loja*.

Zaleta, A., Belman, J. M., Pérez, J. P., Álvarez, L. A., & Gámez, S. A. (2016). Flow shortfall analysis in a forced-draft fan: proposals of geometrical changes for the original design. *Acta Universitaria*, 43-54.

Anexos

Anexo 1. Vista frontal y lateral de la propuesta del bucle de gases de caldera.



Anexo 2. Ventilado Neumático Caldera 12 Ingenio Valdez



Anexo 3. Vista lateral de la planta agroindustrial



Anexo 4. Caldera 12

