

ESCUELA DE POSGRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE OPERACIONES Y
CADENA DE ABASTECIMIENTO

Mezcla de aire y gas natural en la emisión de gases
contaminantes en calderas de vapor

Tesis para optar el grado de **MAESTRO** en:

DIRECCIÓN DE OPERACIONES Y CADENA DE ABASTECIMIENTO

Autor

Miguel Oscar Soto Primo

Asesor

Doctor Alberto Carlos Mendoza De Los Santos

<https://orcid.org/0000-0002-0469-915X>

Perú

2024

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Desarrollo Sostenible y Gestión Empresarial

SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Responsabilidad social empresarial (RSE). Sistemas integrados de
gestión

JURADO EVALUADOR

Jurado 1	MG. JORGE GUILLERMO CALIZAYA PORTAL	44158053
Presidente	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 2	MG. ANA TERESA LA ROSA GONZALEZ OTOYA	17895857
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	MG. NEICER CAMPOS VASQUEZ	42584435
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Informe similitud

Tesis_Soto Primo

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	5 %	4 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	5 %
2	doku.pub Fuente de Internet	3 %
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
4	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1 %

Resumen

La presente tesis trata el tema de la mezcla de aire y el gas natural y su influencia en los gases contaminantes en calderas generadoras de vapor, de una empresa de harina de pescado, con el objetivo de evaluar el impacto de las variables, enfatizando que a través de la técnica del exceso de aire se pueda minimizar los niveles de gases contaminantes de las calderas de vapor, para esta tesis se realizó mediciones en las calderas del área de vapor donde el diagnóstico pre estudio se encontró elevadas concentraciones cercanas a los estándares permisibles por la norma técnica peruana registrándose en registros debidamente validadas, se realizaron tres tipos de ensayos de exceso de aire para ver cuál de los ensayos registra los niveles mínimos de gases contaminantes y ver si el costo beneficio es rentable a corto o largo plazo, se pudo concluir que aun exceso de aire del 20% en la mezcla de aire y gas natural tiene relación directa en las emanaciones de los gases contaminantes ya que las mediciones arrojaron las mínimas concentraciones respecto a los otros dos ensayos sin perder la eficiencia de trabajo de la caldera con un costo bajo en su implementación y realización.

Palabra Clave: Exceso de aire, gas natural, gases contaminantes, calderas de vapor.

Abstract

This thesis deals with the topic of the mixture of air and natural gas and its influence on polluting gases in steam generating boilers of a fishmeal company, with the objective of evaluating the impact of the variables, emphasizing that through using the excess air technique, the levels of polluting gases in steam boilers can be minimized. For this thesis, measurements were made in the boilers in the steam area where the pre-study diagnosis found high concentrations close to the standards permissible by the Peruvian technical standard, registering in duly validated records, three types of excess air tests were carried out to see which of the tests records the minimum levels of polluting gases and to see if the cost benefit is profitable in the short or long term, it was concluded that Even an excess of air of 20% in the mixture of air and natural gas has a direct relationship with the emissions of polluting gases since the measurements showed the minimum concentrations compared to the other two tests without losing the working efficiency of the boiler with a low cost in its implementation and realization

Keyword: Excess air, natural gas, polluting gases, steam boilers

Dedicatoria y Agradecimientos

Esta tesis está dedicado al Dios supremo y salvador Jesús el cristo a mis padres, por brindarnos su apoyo incondicional a mis hijas Kadmiel y Yadira que son los amores de mi vida y son las ganas de querer superarme cada día más, los profesores de la UPN por formarnos con ahínco y agrado, para lograr nuestras metas, muchas gracias por su consagración para con tan noble profesión

Tabla de contenidos

Línea y Sub Línea de Investigación.....	ii
Jurado Evaluador	iii
Informe Similitud	iv
Resumen.....	v
Abstract	vi
Dedicatoria y agradecimiento	vii
Tabla de contenidos	viii
Índice de tablas.....	X
Índice de figuras.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	12
I.1. Realidad problemática.....	12
I.2. Pregunta de investigación	13
I.2.1. Pregunta general	13
I.2.2. Preguntas específicas	14
I.3. Objetivos de la investigación.....	14
I.3.1. Objetivo general	14
I.3.2. Objetivos específicos.....	14
I.4 Justificación de la investigación	14
I.4.1. Justificación teórica	14
I.4.2. Justificación practica	14
I.4.3. Justificación metodológica	15
I.5. Alcance de la investigación	15
II. MARCO TEÓRICO.....	15
II.1. Antecedentes.....	15
II.1.1. Antecedentes internacionales	15
II.1.2. Antecedentes nacionales	17
II.2. Conceptos	17
II.2.1. Variable 1	17
II.2.2. Variable 2	18
II.3. Bases teóricas	18
II.4. Marco conceptual (terminología).....	19
III. HIPÓTESIS	20
III.1. Declaración de hipótesis	20
III.1.1. Hipótesis general.....	20
III.1.2. Hipótesis específicas.....	20
III.2. Operacionalización de variables	21
IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS	22
IV.1. Tipo de investigación.....	22

IV.2.	Nivel de investigación.....	22
IV.3.	Diseño de investigación	22
IV.4.	Método de investigación.....	23
IV.5.	Población.....	23
IV.6.	Muestra.....	23
IV.7.	Unidad de estudio.....	23
IV.8.	Técnicas de recolección de datos	23
IV.8.1.	Técnica	23
IV.8.2.	Instrumento.....	23
IV.9.	Presentación de resultados	24
V.	RESULTADOS	24
V.1.	Evaluar la concentración actual de la mezcla aire y gas natural con respecto a los gases contaminantes de las calderas de vapor.....	24
V.2.	Determinar las diferentes proporciones de mezclas de aire y gas natural de las calderas de vapor. 25	
V.3.	Evaluar las diferentes concentraciones de gases contaminantes respecto a las diferentes proporciones de mezcla de aire y gas natural de las calderas.	28
V.3.1.	Prueba de U de Mann Whitney	29
V.4.	Determinar la relación costo beneficio de la implementación de proporciones de mezclas de aire y gas natural de las calderas de vapor.	31
VI.	DISCUSIÓN, CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	33
VI.1.	Discusión	33
VI.2.	Conclusiones	35
VI.3.	Recomendaciones.....	36
	Lista de referencias	37
	Apéndice.....	40

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Medición de parámetros de las calderas antes de la manipulación de variables.</i>	25
Tabla 2	<i>Límites Máximos Permisibles para calderas de vapor de uso industrial (gas natural)..</i>	25
Tabla 3	<i>Equivalencia de unidades de los gases contaminantes.</i>	26
Tabla 4	<i>Datos de los estudios revisados de los resultados finales</i>	27
Tabla 5	<i>Proporciones de aire y gas natural con respecto a los gases contaminantes.</i>	28
Tabla 6	<i>Muestras de las mediciones antes y después de la manipulación del exceso de aire .</i>	29
Tabla 7	<i>Muestras de las mediciones antes y después de la manipulación del exceso de aire .</i>	30
Tabla 8	<i>Consumo de combustibles en uso de calderas de vapor del año 2021</i>	31

Índice de figuras

Figura 1. Cuadro de Operacionalización de variables 21

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Realidad problemática

Desde la creación de las calderas para el uso doméstico e industrial se buscó siempre el máximo rendimiento con el uso de toberas modernas o tecnologías nuevas y lograr la correcta combinación del aire y combustible para disminuir la contaminación. Al respecto Muñoz & Menéndez (2020) manifiestan que la actividad industrial genera un impacto en el medio ambiente y que los calderos industriales son parte de la causa de ellas y que provocan diferentes problemas en la salud del ser humano, por tanto, las altas eficiencias y la mínima emanación de gases que dañan el medio ambiente, más la eficiencia energética son los principales objetivos de la optimización de calderas. Alrededor del 78% de las calderas utilizan gas natural y los gases de combustión son la raíz de generación de gases nocivos y que dañan el medio ambiente, por esta razón, la optimización del combustible en la caldera es importante para preservar el medio ambiente y mermar el consumo de energía (Ibrahim & Farrukh, 2019).

Por otra parte Cartes (2021) sostiene que con el concilio que se realizó en París en el 2015, cerca de 200 países se decidieron ocuparse del tema a fin de sostener el incremento de la temperatura del planeta debajo de los 2° centígrados, a través de un replanteamiento organizacional en las labores de producción, económica, consumo en un formato sostenible y canalizados a la ejecución de culturas climáticas con el objetivo de alcanzar las metas respectivas. Dentro de los procesos productivos están las industrias de alimentos, estos requieren, la utilización de calderas muy frecuentemente en las etapas de transformación o agregación de valor, por todo esto, es de gran relevancia la evaluación de estos equipos (Muñoz et al., 2020).

Según Villafuerte (2021) manifiesta que en Latinoamérica el instrumento que tiene más aprobación es la huella de carbono, la cual no ha sido efectiva ni con la ejecución de normas orientadas por las políticas climáticas de cada país; cabe resaltar que son considerados en Latinoamérica a Brasil y México como países más contaminantes, esto debido a su densidad demográfica. Acorde a la regulación se exponen productos que son nocivos para la salud, debido a la gran variedad de recursos como combustibles sólidos, gaseosos y líquidos, por la poca renovación en estos equipos y además en los procesos se usa diversas materias primas de origen vegetal, animal u otro; por ende, el uso de las calderas es habitual en las industrias, municipalidades y otros. Las normas locales buscan garantizar el rendimiento medioambiental a un nivel aceptable forzando a quemadores modernos y la automatización de las calderas; en el caso de calderas desgastados y obsoletas, se requiere una cantidad importante de reconstrucción y costes financieros significativos (Redko et al., 2018).

Dentro del entorno peruano el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), se ocupa de valorar, controlar, inspeccionar y penalizar en todo el ámbito ambiental, tal como la usanza de estímulos en los grupos empresariales de pesquería, energía, minería, pesquería e industria en general. Es en la mayoría de estos sectores en donde las calderas no cuentan con tecnologías o la renovación de las mismas ya que la meta principal es la reducción de los gases que

emanan las calderas por debajo de los límites permisibles con contrataciones de empresas certificadas para la regulación de aire combustible. Las calderas son una de las maquinarias que consumen mucha energía, utilizando entre el 75 y el 80 % del combustible recibido y el resto del combustible no son quemados completamente dentro de las cámaras de combustión las cuales van al exterior con alto partículas de carbono y NOX, es por eso, se hace latente usar eficientemente el combustible mejorando la relación aire combustible de las calderas para lograr la máxima eficiencia en la combustión (Ibrahim & Farrukh, 2019).

Actualmente en la empresa de harina de pescado, se utiliza el Gas Licuado Petróleo (GLP) y Residual 500; la migración al Gas Natural (GN) hará real la minimización de las partículas de los gases de combustión y sumado a la implementación del monitoreo de la correcta mezcla de aire combustibles, hará que los porcentajes de contaminación disminuyan, por consiguiente, los ratios de productividad y rentabilidad aumentaran beneficiando a la empresa en general. Dentro del proceso, el gas natural se usa para la operación y el GLP para el arranque del quemador. El Residual 500 se almacena en los tanques de almacenamiento principales y se envía a la caldera a través de las tuberías de distribución. El gas natural es proporcionado por una tubería de alta presión y, por lo tanto, no requiere almacenamiento; sin embargo, la presión debe reducirse antes del uso en la caldera y pasar por calentadores de gas/aire, las partículas de los gases quemados se expulsan al exterior por medio de una chimenea y deben cumplir con los estándares ambientales (Babatunde et al., 2021).

Por todo esto, habiendo un problema latente, y encontrándose antecedentes que acreditan el problema que presenta este modelo de inconvenientes hace necesario elaborar una solución viable para dar soluciones parciales o totales con el cual se logre mitigar la problemática expuesta; por tal motivo, se evidencia que hay varias investigaciones de la combinación de aire y gas natural basado en la estequiometría del aire de las cuales se subdividen en base al exceso de aire como uno de las soluciones que se necesita para la problemática presentada. El uso del gas en la generación de vapor tiene un alto costo ambiental considerando que vienen de fuentes no renovables, sumado a estos equipos sobredimensionados y con baja eficiencia por la mala combustión (mezcla gas-aire), el impacto ambiental de la actividad humana se presenta con más fuerza en estos tiempos, esto afecta en la mejora del rendimiento de estos generadores de vapor y la disminución de CO₂ al ambiente (Borges et al., 2016)

I.2. Pregunta de investigación

I.2.1. Pregunta general

¿En qué magnitud la mezcla de aire y gas natural influye en la emisión de gases contaminantes en las calderas de vapor?

I.2.2. Preguntas específicas

- 1 ¿Cuál es la presente concentración de mezcla del aire con gas natural y la emisión de gases contaminantes de las calderas de vapor?
- 2 ¿Cómo implementar diferentes proporciones de mezclas de aire y gas natural de las calderas de vapor?
- 3 ¿Cuáles son las diferentes medidas de los gases contaminantes respecto a las diferentes proporciones de mezcla de aire y gas natural de las calderas de vapor?
- 4 ¿Cuál es la relación costo beneficio de implementar las proporciones de mezclas de aire combustible de las calderas de vapor?

I.3. Objetivos de la investigación

I.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la mezcla de aire y gas natural en la concentración de gases contaminantes en las calderas de vapor

I.3.2. Objetivos específicos

- 1 Evaluar la concentración actual de la mezcla aire y gas natural con respecto a los gases contaminantes de las calderas de vapor.
- 2 Determinar las diferentes proporciones de mezclas de aire y gas natural de las calderas de vapor.
- 3 Evaluar las diferentes concentraciones de gases contaminantes respecto a las diferentes proporciones de mezcla de aire y gas natural de las calderas.
- 4 Determinar la relación costo beneficio de la implementación de proporciones de mezclas de aire y gas natural de las calderas de vapor

I.4 Justificación de la investigación

I.4.1. Justificación teórica

La investigación presentada está dirigida a validar el conocimiento de la relación aire combustible y su implicancia en la generación de gases contaminantes en el caso de calderas de vapor en una empresa industrial del sector pesquero.

I.4.2. Justificación practica

Los resultados presentados en esta investigación sentaran las bases para estandarizar los ratios de aire combustible para el uso de gas natural en calderas y a su vez disminuir los niveles de concentración de los gases contaminantes que afectan al medio ambiente. A si mismo permitirán incrementar la eficiencia energética, la productividad y por consiguiente beneficiara a la empresa lucrativamente.

I.4.3. Justificación metodológica

Para el éxito de los objetivos propuestos se diseñó unos registros para recolección de datos, de los ratios aire combustible y de los porcentajes de los gases contaminantes el cual fue validado por expertos. Este instrumento podrá ser utilizado para futuras investigaciones similares.

I.5. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación que se está presentando es verificar si hay un vínculo de causa efecto entre la relación aire con gas natural y los gases contaminantes, se va a realizar en calderas pirotubulares de 900 Bph a 1500 Bph. Se pretende generar conocimiento con relación a la influencia que tiene el ratio aire combustible en el porcentaje de los gases contaminantes.

II. MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes

II.1.1. Antecedentes internacionales

Ibrahim & Farrukh (2019) efectuaron una investigación mediante una simulación en el departamento de Ingeniería Química y de Materiales de la Universidad Nacional de Ciencias y Tecnología en la ciudad Islamabad, Pakistán, con el objetivo de optimizar el nexo aire-combustible, para aumentar la eficiencia térmica y el desempeño ambiental de las calderas de vapor. Para ello, se realizó simulaciones con el software ASPEN HYSYS® seleccionándose Peng Robinson como paquete de fluidos para la producción de vapor saturado a una presión de 11 Bar. Se utilizó como combustible gas natural mezclado con aire comburente ya que cumple con las condiciones del caldero de vapor referente al estudio. En esta investigación se encontró que la eficiencia térmica y el desempeño ambiental aumentaron su nivel, concluyendo que al optimizar el nexo aire combustible mejora el desempeño ambiental de las calderas.

Kim et al. (2021) ejecutaron un estudio de pruebas estándar de 14 lugares de Seosan en la República de Corea con la intención de definir las características de los gases de las calderas y como la combustión repercute en ellas; para ello, se operaron durante largas horas consecutivas las calderas domésticas para realizar pruebas en determinada ciudad. Para el estudio se midieron en 10 instalaciones que contaban con calderos a gas natural, en donde se recolectaron 28 muestras. Los compuestos que se identificaron fueron aromáticos, CO₂ oxigenados, alcanos, en ese orden, que fueron consistentes en todas las muestras. En este estudio se encontró que la combustión afecta en gran manera concluyendo que si repercute en los gases contaminantes

Fomenko et al. (2019) realizaron estudios de la simulación numérica de la ignición metano-aire en el quemador de flujo directo por el Departamento de Centrales Térmicas MPEI en la ciudad de Moscú, Unión Soviética, con el objetivo de investigar los efectos del reemplazo de los quemadores de vórtice existentes en las instalaciones, para ello, se simularon cinco modos de funcionamiento del quemador en relación de la capacidad de la caldera usando el software ANSYS,

mediante modernos paquetes de dinámica de fluidos computacionales. Se utilizó gas natural como combustible, la fracción másica de metano en este gas natural es del 93,4%. La cual cumple con las condiciones del caldero de vapor referente al estudio. En este estudio se encontró que los flujos de aire varían de acuerdo al diseño del quemador y que los parámetros del flujo gas-aire en el plano de entrada a la caldera influyen en el desempeño ambiental de la caldera.

Rimar et al. (2019) realizaron estudios de simulaciones en la relación aire – combustible en Departamento de Técnica de Procesos, Facultad de Manufactura Tecnologías de la Universidad Técnica de Kosice con sede en Prešov, Bayerova, República Eslovaca, con el objetivo de reducir la formación de óxidos de nitrógeno en las condiciones límites de la combustión, para ello, simularon condiciones a una alta carga térmica de la celda de combustión usando gas natural, con el modelo de simulación creado en ANSYS Fluent, y simultáneamente en un dispositivo real: Steam Membrane Boiler OK 60 ČKD Dukla. En este estudio se halló que al incrementar la cantidad de gas con respecto al aire produce mayores temperaturas de combustión y que el resultado es mayor generación de Nox y que influye en el rendimiento ambiental de la caldera.

Zaporozhets (2019) realizó un estudio experimental en el Departamento de Monitoreo y Optimización de Procesos Termo físicos, Instituto de Ingeniería Termofísica de NAS de la ciudad de Kyiv, Ucrania. El objetivo de proponer un algoritmo para el accionamiento eléctrico de un ventilador basado en velocidad de rotación; para ello, se realizó una muestra en una caldera NIISTU-5. Para el estudio se elaboró registros de toma de muestras de las mediciones de los gases de la caldera en mención. Se encontró el aumento la eficiencia de la combustión teniendo en cuenta las condiciones reales, las condiciones de funcionamiento y las propiedades del combustible, concluyendo con emisión de sustancias nocivas (CO y NO) en los gases de combustión tres veces menor al inicial.

Zhang et al. (2020) ejecuto un análisis experimental en la Universidad de Ingeniería Civil y Arquitectura de Beijing, China con el objetivo de recuperar el calor de condensación de fluidos de combustión sinergizada con bajo volumen de NOX del sistema de emision de una caldera que tiene una carga térmica nominal de 58 kW; para ello, se instalaron puntos de medicion con un sistema FGCHR&LN y un colector de datos Agilent 34972^a. Para este estudio se transmitieron datos a una computadora las cuales llevaban un registro de recoleccion de datos de todo el experimento. Dentro del estudio la eficiencia mejoraron considerablemente concluyendo que las emiciones disminuyeron de manera positiva.

Taymarov et al. (2019) efectuaron un estudio experimental en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Estatal de Ingeniería Eléctrica de Kazan, Rusia con el objetivo de verificar como afecta el exceso de aire a varios modelos de quemadores; para ello, realizaron pruebas en 8 quemadores de diferentes modelos de las calderas de tambor. Para el estudio se realizaron mediciones con instrumentos fijos con el analizador de gases DAG-500 los cuales se registraron en una tabla de datos. En esta investigacion se encontro que los quemadores con mayor proporcion de exceso de aire emitian menos contaminantes, concluyendo que el exceso de aire afecta a las emciones de manera positiva para el medio ambiente.

Tian et al., (2024) desarrollaron un estudio en el laboratorio clave de ciencias térmicas e ingeniería energética del Ministerio de Educación, Departamento de Energía e Ingeniería Energética, Universidad de Tsinghua, Beijing, china con el objetivo de medir la eficiencia térmica y las emisiones contaminantes de una instalación de 4,2 MW. En las calderas que trabajan con gas natural se evaluaron respectivamente en función de los modelos termodinámicos los resultados sugirieron que las emisiones de NOx aumentaron ~19% a medida que se aumento el hidrogeno haciendo que la caldera perdiera eficiencia la relacion de exceso de aire se aumento para suprimir el aumento de NOx se realizaron tambien mas acciones para mitigar el gas contaminante con las cuales se disminuyeron en gran manera la emanasion de gases contaminantes.

Bian et al., (2023) se elaboraron simulaciones en la escuela de Energía e Ingeniería Eléctrica, Instituto de Tecnología de Nanjing, República Popular China con el objetivo de cumplir con el estándar de emisiones ultra bajas de NOx, para la cual el sistema de combustión se reequipó tecnologías de combustión por aire en cual con un coeficiente de exceso de aire de 1.2 a 1.15 que representan del 20% al 15 % de exceso de aire los cuales a menor porcentaje arrojo un NOx de 394 mg/Nm³ (209.55 ppm) y aun porcentaje mayor de 317 mg/Nm³ (168.6 ppm) con lo cual demostraron que con dicha investigación los niveles del NOx se redujeron hasta un 40% mediante la modernización lo cual demostró la disminución de este gas contaminante.

II.1.2. Antecedentes nacionales

Gavelan (2018) Desarrollo una tesis de maestría en ciencias con mención en ingeniería ambiental en el sector agroindustrial del distrito Pucala; Lambayeque, con la finalidad de plantear un procedimiento de gestión ambiental; para ello, se monitorio las emisiones de gases contaminantes en los calderos, monitoreo de nivel de ruido y la calidad del agua en dicha provincia. Para el estudio se elaboró unos registros de las emisiones de los gases de los calderos más otros registros para las demás muestras, considerando las dimensiones para su medición para su evaluación de las mezclas de aire y gas. En este estudio se encontró que los fluidos de las regulaciones son muy altas, concluyendo que el nivel de gases de combustión está demasiado elevado.

II.2. Conceptos

II.2.1. Variable 1

Mezcla de aire y gas natural

Según Jiménez (2016) la cantidad de aire necesario se conoce como exceso de aire que es expresado en porcentaje de aire por encima del teórico, para combustibles gaseosos esta alrededor del 15%. La mezcla correcta de aire y gas da una eficiencia de combustión que consiste en cuanto energía libera este combustible y si alcanza a sustraer todo el poder calorífico del gas que se expresa en porcentaje calorífico del potencial total del combustible.

Según Echavarría & Arrieta (2017) manifestaron que con factores de aireación 1.1 a 1.3 a un excedente de aire del 20 % empleando el gas natural como comburente, se llega a conservar características intrínsecas de combustión con los mínimos grados de temperatura en la cámara completa se puede lograr emanaciones de CO y NOX inferiores a los 20 ppm y 4 ppm consecutivamente con una eficiencia por encima del promedio del 80 % en quemadores de calderas.

Según Simic et al. (2021) la eficiencia de la combustión necesita en enorme medida del volumen del quemador para quemar completamente el quemador sin dejar combustible sin quemar ya que los quemadores están contruidos con una cantidad de aire que supere las estequiométricas. Varios modelos de calderas disponibles tienen una cantidad constante de excedente de aire utilizado en la fase de ignición de gas. Se declara que la proporción de exceso de aire del 5%, pero por la experiencia es el 10% y otros autores redactan que el valor óptimo es el 15%. Varios autores afirman que la proporción de exceso de aire puede cambiar con la entrada de fuego en calderas modulantes.

II.2.2. Variable 2

Gases contaminantes

Según Yepes et al. (2019) manifiestan que los gases de combustión se juntan de forma aglomerada con una gran cantidad en emanación de contaminantes, estos son como el CO₂, CO, NO_x, SO_x y elementos en partículas, que desfavorecen en gran medida a la salud de los seres vivos, además de aportar al aumento del recalentamiento global.

Para Xiao et al. (2023) expresan que el gas natural al pertenecer al ámbito de las energías limpias genera de manera mínima NO_x asociados con la quema de combustible. Al aplicar dos modelos basados en meticulosas reacciones químicas entre el combustible y el aire. Observándose que el NO_x tiene 3 modelos de formación, de manera térmica, por concentraciones irregulares y a baja temperatura, cuando interaccionan con las moléculas de nitrógeno en el combustible y el oxígeno.

Según Liu et al. (2023) declaran que al realizarse el desarrollo de combustión del gas natural se generan gases contaminantes lo que plantea de manera significativa, peligros al entorno del medio ambiente y la salud de todo ser vivo. Los gases que se generan principalmente son el NO_x y el CO que son resultados del poco exceso de aire. La cantidad de emisión está relacionada por la temperatura de combustión, contenido local de oxígeno y el tiempo de residencia de la misma.

II.3. Bases teóricas

Mezcla de aire y gas natural

Para Navakas et al., (2018) declara que una de las características de la llama en el gas va en relación de la equivalencia del aire en un rango de 1.0 a 1.3 para crear la mezcla de aire y gas natural que genere óptimas condiciones para quema total del combustible que se utiliza en los quemadores de las calderas industriales esto representa de 0% a un 30 % de exceso de aire por cada unidad de combustible.

Gases contaminantes

Según Cornette et al. (2021) los gases contaminantes productos de la combustión del gas, las especies del que se miden incluyen en gas húmedo y los gases secos que constituyen el CO₂, O₂, CO y NO_x, para la determinación de los gases contaminantes se realizó diferentes concentraciones de emisiones en diferentes condiciones de la caldera.

Calderas de vapor

Existen dos tipos de calderas las de tipo acuotubular y las de tipo piro-tubular. Las piro-tubulares poseen de tres a cuatro pasos de gases, que generan vapor saturado hasta 350 psi. Estos contienen un tubo de combustión (1er paso) y una recámara en la parte posterior que se encuentra húmeda. Se fabrican a una capacidad de 50 BHP hasta 1000 BHP. La salida de los gases se realiza por la parte superior trasera de la unidad y las acuotubulares en su mayoría se usa con combustibles sólidos y trabajan a elevadas cantidades de vapor sobrecalentado desde 50000 Lb/hr hasta 350000 Lb/hr o rangos más altos, estas se arman de inmensas carcasas junto con equipos de recuperación de calor y otros equipos asistidos (Distral, 2021)

United States Environmental Protection Agency (EPA)

Según la United States Environmental Protection Agency (2016) manifiesta que a nivel mundial, los gases de efecto invernadero nocivos y que son generados por las labores humanas son: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄) y Óxido nitroso (N₂O)

Norma técnica peruana NTP 350.301 2009

La norma técnica Peruana abarca los patrones de eficiencia térmica (combustible/vapor) que deben tener las calderas industriales sin la utilización de equipos de recuperación de calor y las propiedades del etiquetado. También se hallan los gases contaminantes y sus límites permisibles para cada tipo de combustibles que utilizan las calderas de vapor (INDECOPI CNP (Institution), 2009)

II.4. Marco conceptual (terminología)

Calderas vapor acuotubulares

En este tipo de calderas el agua está dentro en espiras de tubos de acero donde las llamas y gases de combustión las rodean. Se debe tener en cuenta la cantidad numerosa de tubos que pueden instalarse. La superficie externa que esta en contacto con la llama suele ser muy grande para superficies parcialmente reducidas. Por tal motivo, su puesta a producir vapor es muy rápida, pudiendo producir vapor a elevadas presiones (Espinel et al., 2020)

Calderas de vapor pirotubulares

Este tipo de calderas también conocidos como tubos de fuego en el cual se consigue vapor de agua. El vapor producido por los gases que son resultados de la quema que circula por el interior de los tubos, estos están sumergidos en agua, el cual produce el vapor saturado que se genera, este vapor es transportado por las líneas de tuberías hacia los usuarios finales (Velázquez et al., 2020)

Combustión teórica o estequiométrica

La ignición necesita una cantidad determinada de oxígeno, esto es, una dosis mínima de aire para crear una reacción química. La proporción del aire depende del tipo de combustible a utilizar y de las condiciones que se presentan dentro de la reacción. Cuando la proporción de aire necesaria es suplida la ignición llega a ser plena todos los reactivos se mezclan con el oxígeno concibiendo productos inalterables. Si no hay la cantidad requerida de oxígeno en la reacción, la ignición se da por incompleta, generando productos de menor estabilidad y menor eficiencia energética de calor (Barbieri et al., 2020)

Balance estequiométrico

El balance estequiométrico es la mezcla de la circulación entre el combustible y comburente que es el aire, que ingresa a la cámara de ignición, de esta manera, logra realizar la reacción química requerida que produce la oxidación de los elementos del combustible (Rivera et al., 2020)

III. HIPÓTESIS

III.1. Declaración de hipótesis

III.1.1. Hipótesis general

La proporción del 15% de exceso de aire disminuye la emisión de gases de contaminantes en las calderas de vapor.

III.1.2. Hipótesis específicas

1 La relación en la mezcla aire combustible está entre 5% al 12% de exceso de aire entre baja y alta con respecto a 70 ppm de CO entre alta y baja de emisiones de gases contaminantes de las calderas de vapor.

2 Se implementarán rangos del 10% al 15% de exceso de aire para las mezclas de combustión de las calderas de vapor.

3 Las relaciones después de la implementación son de 20 ppm de CO entre alta y baja de las emisiones de gases contaminantes, respecto al 10% al 15% de exceso de aire entre baja y alta en proporciones de mezcla de aire de las calderas de vapor.

4 El costo beneficio de la mejora de relación de mezcla de aire combustible con respecto a la expulsión de las partículas contaminantes será igual a la unidad en el primer semestre.

III.2. Operacionalización de variables

Figura 1.

Cuadro de Operacionalización de variables

Variable	Tipo de Variable	Operacionalización		Indicador	Nivel de Medición
	Según su naturaleza	Definición Conceptual	Definición Operacional		
Mezcla de aire y gas natural	Cuantitativas continuas	Según Echavarría & Arrieta (2017) manifestaron que con factores de aireación 1.1 a 1.3 a un excedente de aire del 20 % empleando el gas natural como comburente, se llega a conservar características intrínsecas de combustión con los mínimos grados de temperatura en la cámara completa se puede lograr emanaciones de CO y NOX inferiores a los 20 ppm y 4 ppm consecutivamente con una eficiencia por encima del promedio del 80 % en quemadores de calderas.	Para Navaras et al., (2018) declara que una de las características de la llama en el gas va en relación de la equivalencia del aire en un rango de 1.0 a 1.3 para crear la mezcla de aire y gas natural que genere óptimas condiciones para quema total del combustible que se utiliza en los quemadores de las calderas industriales esto representa de 0% a un 30 % de exceso de aire por cada unidad de combustible.	exceso de Aire en %	De Razon
Emisión de gases contaminantes	Cuantitativas continuas	Según Yepes et al. (2019) manifiestan que los gases de combustión se juntan de forma aglomerada con una gran cantidad en emanación de contaminantes, estos son como el CO ₂ , CO, NO _x , SO _x y elementos en partículas, que desfavorecen en gran medida a la salud de los seres vivos, además de aportar al aumento del calentamiento global	Según Cornette et al. (2021) los gases contaminantes productos de la combustión del gas, las especies del que se miden incluyen en gas húmedo y los gases secos que constituyen el CO ₂ , O _h 2, CO y NOX, para la determinación de los gases contaminantes se realizó diferentes concentraciones de emisiones en diferentes condiciones de la caldera.	CO en ppm	De Razon
				Nox en ppm	

IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS

IV.1. Tipo de investigación

El método que se utiliza en esta investigación es de tipo aplicada

Para Lozada (2016) Comento que la investigación del modelo aplicada busca engendrar comprensión con la aplicación directa a los trastornos de determinada población o aun sector productivo. Básicamente profundiza en descubrir la ciencia de la investigación fundamental, estableciendo la evolución que conecta con la conjetura y el resultado. En esta investigación se utilizó la información y entendimiento adquiridos en la combinación del gas natural con el aire y su impacto en la emisión de los gases de las calderas de vapor.

Según Reyes et al. (2019) expone que, la investigación cuantitativa está compuesta de un elemento suficiente que garantiza la existencia de la misma característica del universo; tener una población definida posibilita con una relación que incluya todos los elementos que la comprenden para conseguir el objetivo acudiendo a fórmulas estadísticas de tipo probabilístico, pero si la muestra es definida será de tipo no probabilístico.

IV.2. Nivel de investigación

Para Ramos (2020) manifiesta que el estudio de investigación explora una interpretación y precisión de los fenómenos. Por lo tanto, en los estudios experimentales, en el cual se pueda producir una manipulación deliberada de la variable independiente, el cual permita comprobar la hipótesis que demuestren la conducta de un determinado fenómeno. En este estudio se determina el nexo de causa y efecto entre la combinación de aire combustible con la emisión de gases de combustión en las calderas de planta vapor esta examina el porqué de los hechos a través de la prueba de hipótesis.

IV.3. Diseño de investigación

Para Hernández (2018) manifiesta que el término experimento más universal se describe a realizar una actividad y luego observar las consecuencias. La cualidad de esta concepción de experimento es la manipulación deliberada de una acción para estudiar sus posibles resultados Dentro del presente trabajo se modificará las relaciones de aire combustible para ver los efectos de los gases de combustión de las calderas de vapor por lo tanto se experimentó en la variable dependiente.

También Hernández (2018) añade que cuando se manipula un impulso o tratamiento a un objeto y luego adaptar una modificación con una o muchas variables para contemplar cómo está el nivel del objeto en las variables se clasifica de pre experimento porque el nivel de control es mínimo. Esta tesis maneja un grupo de unidad de muestra, y se realiza la comparación con otra unidad de muestra para luego hallar un resultado esto se constituye una investigación pre experimental.

IV.4. Método de investigación

Según Rodríguez & Pérez (2017) manifiestan que, las afirmaciones generales, llevan a afirmaciones particulares que acomodan el precepto de la lógica y sacan conclusiones mediante una gama de enunciados, conocidos como silogismos. Se basa en deducir soluciones o particularidad concreta partiendo de principios, generalizaciones, leyes o definiciones universales. Se vale decir umbral desconocido, comenzando de lo conocidos o encontrar efecto desconocido, de principio conocido. Dentro de esta investigación se emplea el método deductivo, porque, de los estudios generales de las mezclas de aire combustible y su impacto en los gases de combustión se quiere aplicar en la toma de muestra de la caldera de vapor pirotubular de la fábrica pesquera para tal investigación.

IV.5. Población

La población que es objeto de estudio consta de 6 calderas de vapor pirotubular de 900 Bph de una fábrica pesquera

IV.6. Muestra

Según Ñaupas et al. (2019) manifiesta que se comprende a la muestra como el máximo representante de la población. Por lo cual la muestra que se usara en el estudio serán las 6 calderas de vapor pirotubular de 900 Bph de una fábrica pesquera.

Según Otzen & Manterola (2017) expresa que el muestreo no probabilístico, intencional da lugar a seleccionar casos innatos de una población restringiendo la muestra sólo a estos casos. Por consiguiente ya que la población de las calderas es muy variable y la muestra es mínima se selecciona las 6 calderas, pues es lo que más conviene al investigador, para dirigir la investigación.

IV.7. Unidad de estudio

06 calderas de vapor pirotubular de 900 Bph

IV.8. Técnicas de recolección de datos

IV.8.1. Técnica

El análisis documental para la recolección de datos de la eficiencia de las calderas y gases contaminantes.

IV.8.2. Instrumento

Ficha de registro de recolección de datos se usara para la recolección de datos de eficiencia y gases contaminantes (apéndice 16)

IV.9. Presentación de resultados

Como primer paso se procedió a evaluar la concentración actual en la mezcla de aire y gas natural con respecto a los fluidos contaminantes en las calderas por parte de la empresa contratista las cuales tomaron muestras antes de la manipulación de la regulación del aire y gas natural las cuales se anotaron en los registros para después compararlos con el resultado final.

Como segundo paso se propuso determinar las diferentes proporciones de las combinaciones de aire con gas natural que se recopilaron a lo largo de los antecedentes en base a sus resultados finales que alcanzaron cada uno de los estudios. Luego mediante fórmulas y conversiones se uniformizó para poder tener una referencia de como modificar la variable independiente y así manipular la variable dependiente y se plasmó en un cuadro resumen.

Como tercer paso se evaluó las diferentes concentraciones de gases contaminantes respecto a las diferentes proporciones de aire y gas natural que se propusieron para determinar cuál era la más adecuada para tener el menor impacto de gases contaminantes y se estableció el exceso de aire del segundo ensayo la cual fue de menor impacto ante los gases contaminantes, la cual se estableció como primordial para las demás calderas.

Por último se determinó el vínculo costo beneficio de las implementaciones de las proporciones de la mezclas de aire y gas natural en base a la cotización de la empresa encargada de regulación en base al ahorro anual de combustible y también a las posibles multas por parte de la OEFA por no pasar los límites permisibles determinado por la norma técnica peruana.

V. RESULTADOS

V.1. Evaluar la concentración actual de la mezcla aire y gas natural con respecto a los gases contaminantes de las calderas de vapor.

Las caldera en el cual se tomó las muestras es el denominado calderas de la Marca Distral, las cuales son de potencia de 900bph que es del tipo de los Piro tubulares. Se verifico consumo de combustible en llama baja 687 M3/h y en llama alta 893 M3/h. de consumo de gas natural.

Se efectuó el monitoreo y análisis de gases de combustión con equipo analizador Testo 340 Digital con N° de serie 02102675 con certificado de calibración N° G-0132-21 adjunto en apéndice, a raíz de los resultados hallados, se tomó la muestra de las concentraciones de los gases contaminantes, tal como se demuestra en los cuadros técnicos de comparación.

Tabla 1

Medición de parámetros de las calderas antes de la manipulación de variables.

Calderas	Mezcla aire y gas natural	Gases contaminantes	
	Exceso de aire	CO	NOx
Caldera 1 900bph	-1.50%	262 ppm	125 ppm
Caldera 2 900bph	7.20%	231 ppm	110 ppm
Caldera 3 900bph	5.30%	254 ppm	117 ppm
Caldera 4 900bph	6.2%	240 ppm	110 ppm
Caldera 5 800bph	2.70%	251 ppm	124 ppm
Caldera 6 900bph	11.30%	154 ppm	108 ppm
Promedio	5.20%	232.00 ppm	115.67 ppm

Nota: Datos proporcionados por el informe de STEAM SERVICE E.I.R.L. (Apéndice 1,2 y 3).

Según la NORMA TÉCNICA NTP 350.301 PERUANA 2009 aplicable en calderas de 98 – 11 772 kW (10 a 1200 BHP) de hasta 300 Psig para calderas de tubos de humo, los límites permisibles para los gases contaminantes que se manifiestan en el siguiente cuadro.

Tabla 2

Límites Máximos Permisibles para calderas de vapor de uso industrial (gas natural)

Parámetro	Equivalentes en límites de emisión		
	mg/Nm ³	ppm	mg/m ³
CO (Max)	100	80	91.59
NOx (Max)	320	156	293.95

Nota: Datos de la norma técnica NTP 350.301 peruana 2009 (Apéndice 4).

La concentración actual de la mezcla aire y gas natural con respecto a los gases contaminantes de las calderas de vapor son:

Exceso de aire en promedio:	5.20%	LMP	
CO Promedio:	232ppm	80ppm	(Max)
Nox promedio:	115.67	156ppm	(Max)

V.2. Determinar las diferentes proporciones de mezclas de aire y gas natural de las calderas de vapor.

Se procedió a hacer una revisión de las diferentes proporciones de mezcla de aire y gas natural con respecto a su impacto en las concentraciones de gases contaminantes de los estudios que se revisaron en los antecedentes para determinar cuál porcentaje de mezcla de aire es la más adecuada para implementar en las calderas de vapor de la industria pesquera.

Debido a que hay diferentes unidades de medida se procedió a uniformizar las mediciones mediante las fórmulas que se tomaron de la Norma técnica peruana 350.301- 2009 (INDECOPI CNP (Institution), 2009)

$$P_{ppm} = \frac{24.45 \times mg/m^3}{Peso Molecular} \quad (1)$$

Peso molecular CO	28.01 g/mol
Peso molecular NO _x	46.1 g/mol

Tabla 3

Equivalencia de unidades de los gases contaminantes.

Gas	Equivalencia De Concentración Según Gas
CO	1 ppm equivale a 1,25 mg/Nm ³
NO _x	1 ppm equivale a 2,05 mg/Nm ³

Ibrahim & Farrukh, (2019)

Simulador ASPEN HYSYS (Apéndice 9)

Exceso de aire: 10%

NO_x = 75.27 ppm

(Kim et al., 2021)

Caldera a la potencia 100 – 500MW (Apéndice 10)

Exceso de aire 15%

NO_x = 28.8 ppm

CO = 7.7 ppm

Fomenko et al. (2019)

Caldera a la potencia 86%

19.72 Kg/s gas aire

1.456 Kg/s añadido de aire

7.38% de exceso de aire

NO_x = 200-225 mg/m³. Equivalente a 106.14 a 119.41 ppm

Rimar et al. (2019)

Caldera a la potencia 85% (Apéndice 11)

O₂ = 7.33% equivalente en exceso de aire 34.9%

NO_x = 189 mg/m³ Equivalente a 100.3 ppm

CO = 3 mg/m³ Equivalente a 2.62 ppm

Zaporozhets (2019)

Caldera a la potencia 10 a 100% (Apéndice 12)

O₂ = 3.3-3.5% equivalente a EAR 1.19-1.2 por unidad de gas natural

Exceso de aire 19-20%

CO y NO_x = 10 a 40ppm

Zhang et al. (2020)

Caldera a la potencia 90% (Apéndice 13)

Exceso de aire 1.2 equivalente al 20%

NO_x = 50 mg/m³ equivalente a 26.54 ppm

Taymarov et al. (2019)

PK-47, casaing A (Apéndice 14)

Caldera a la potencia 92.6%

Exceso de aire 1.15 equivalente al 15%

NOx = 349 mg/m³ equivalente a 185.22 ppm

Gavelan (2018)

Caldera 800 Bph (Apéndice 15)

O₂ = 3 % equivalente en exceso de aire 15%

NOx = 748.6 mg/Nm³ equivalente a 365 ppm

CO = 404 mg/Nm³ equivalente a 323 ppm

Tian et al., (2024)

Caldera de 4.2 MW (Apéndice 16)

Exceso de aire 1.3 equivalente al 30%

NOx = 34.11 mg/m³ equivalente a 18.1 ppm

Bian et al., (2023)

Caldera de 600MW

Exceso de aire 1.15 a 1.2 equivalente al 15% a 20%

NOx = 394 mg/Nm³ a 317 mg/Nm³ equivalente a 209.55 ppm a 168.6 ppm

Después de las conversiones realizadas a todos los resultados de las investigaciones realizadas se elaboró la siguiente tabla.

Tabla 4

Datos de los estudios revisados de los resultados finales

Estudios Revisados	Exceso de aire	Gases contaminantes	
		CO	NO _x
Autores			
Ibrahim & Farrukh (2019)	10%	No analizado	75.27 ppm
Kim et al. (2021)	15%	7.7 ppm	28.8 ppm
Fomenko et al. (2019)	7.38%	No analizado	106.14-119.41 ppm
Rimar et al. (2019)	34.9%	2.62 ppm	100.3 ppm
Zaporozhets (2019)	19-20%	10-40 ppm	10-40 ppm
Zhang et al. (2020)	20%	No analizado	26.54 ppm
Taymarov et al. (2019)	15%	No analizado	185.22 ppm
Gavelan (2018)	15%	323 ppm	365 ppm
Tian et al.,(2024)	30%	No analizado	18.1 ppm
Bian et al., (2023)	15% - 20%	No analizado	209.55 – 168.6 ppm

Nota. Elaboración propia en base a los antecedentes.

Si bien es cierto se trabaja con el mismo porcentaje de aire al 15 % en diversos estudios las partes ppm difieren. En base a los trabajos publicados la temperatura de la llama es de los factores de más importancia que interviene en la formación del NO_x también los hallazgos recientes apuntan a la geometría la llama como un factor que influye en el calor que emana de la llama y el tiempo de la presencia de los fluidos de combustión en la cámara de ignición de la Caldera y al configurar la geometría de la llama es posible minimizar las zonas con una temperatura superior que es el limitante en los términos de crecimiento exponencial de los óxidos de nitrógeno durante la combustión (Rimar et al., 2019)

Al uniformizar los datos de todos los estudios se seleccionaron los datos que más se repetían de la tabla 3 y que tenían la mínima cantidad de gases contaminantes y se optó por experimentar con más exceso de aire con fines de verificar el comportamiento de los gases contaminantes seleccionándose tres ensayos de diferentes proporciones de exceso de aire lo más aproximado posible al 15%, 20% y 25%

V.3. Evaluar las diferentes concentraciones de gases contaminantes respecto a las diferentes proporciones de mezcla de aire y gas natural de las calderas.

Teniendo en consideración la evaluación de gases contaminantes, se procedió a realizar tres ensayos de mezcla de aire y gas natural usando la técnica de manipulación del exceso de aire para poder determinar cuál de todas las proporciones es la más idónea para lograr disminuir las emisiones de gases contaminantes en las calderas de la empresa pesquera.

Se procedió a realizar los ensayos para el monitoreo de los gases.

El primer ensayo se hizo en baja con un exceso de aire aproximado al 15% dando como resultado un CO promedio de 61.33 ppm y el NO_x con 103.50 ppm.

El segundo ensayo se hizo en media con un exceso de aire aproximado al 20% dando como resultado un CO promedio de 11.33 ppm y el NO_x con 37.50 ppm.

El tercer ensayo se hizo en alta con un exceso de aire aproximado al 25% dando como resultado un CO promedio de 30 ppm y el NO_x con 55 ppm.

Los presentes datos se toman en base a los reportes de gases de contaminantes elaborados por la empresa STEAM SERVICE E.I.R.L. en el apéndice están más datos de todos los gases que se intervienen en las calderas pero los datos más relevantes para el presente estudio son el CO y el NO_x que se colocaran en la tabla resumen.

Tabla 5

Proporciones de aire y gas natural con respecto a los gases contaminantes.

% exceso de aire	Monóxido de carbono (Co)			Óxido de nitrógeno (NOx)		
	15%	20%	25%	15%	20%	25%
Caldera N° 1	71 ppm	13 ppm	28 ppm	91 ppm	39 ppm	57 ppm
Caldera N° 2	57 ppm	9 ppm	33 ppm	105 ppm	40 ppm	55 ppm
Caldera N° 3	56 ppm	13 ppm	28 ppm	109 ppm	38 ppm	56 ppm
Caldera N° 4	59 ppm	11 ppm	25 ppm	107 ppm	40 ppm	53 ppm
Caldera N° 5	63 ppm	12 ppm	31 ppm	104 ppm	32 ppm	51 ppm
Caldera N° 6	62 ppm	10 ppm	35 ppm	105 ppm	36 ppm	58 ppm
Promedio	61.33 ppm	11.33 ppm	30 ppm	103.5 ppm	37.5 ppm	55 ppm

Nota: Reporte STEAM SERVICE E.I.R.L. (apéndice 1, 2 y 3)

Como se ve en la tabla un exceso del 15% nos dio un Monóxido de carbono (CO) de 61.33 ppm y un Óxidos de nitrógeno (NO_x) de 103.5 ppm luego cuando se modificó el exceso de aire al 20 % nos dio como resultado un Monóxido de carbono (CO) de 11.33 ppm y un Óxidos de nitrógeno (NO_x) de 37.5 ppm y por último se intensifico el exceso de aire a un 25% el cual nos dio como resultado de gases contaminantes en Monóxido de carbono (CO) de 30 ppm y un Óxidos de nitrógeno (NO_x) de 55 ppm en la cual al evaluar las diferentes proporciones de exceso de aire en la mezcla de aire y gas natural el ensayo del 20% es el que se da el mínimo de emisiones de gases contaminantes para las calderas en general de la empresa pesquera.

V.3.1. Prueba de U de Mann Whitney

La prueba de Mann Whitney es usada en diseños no relacionados o independientes esto es manifestar cuando la situación uno se aplica a un conjunto de participantes diferentes con los de la condición 2, los datos en estos casos deben de ser ordinales se escoge la muestra que tiene la menor emisión de gases contaminantes.

Se trata de aceptar o rechazar la siguiente hipótesis de investigación

Hi: Si a un grupo de calderas se les aplica un mezcla de aire con un exceso de aire de un 20.38% el cual permite minimizar las emisiones de gases contaminantes que las calderas que tienen una mezcla de aire con un exceso de aire mínimo de 5.2% en donde las emisiones de gases contaminantes son elevadas en comparación con la muestra que se le aplica más exceso de aire con la cual se demostraría la influencia de la mezcla de aire y gas en los gases contaminantes.

Conceptos comprendidos CO y NOx.

0 ppm.....270 ppm

Tabla 6

Muestras de las mediciones antes y después de la manipulación del exceso de aire

Planta de vapor	Exceso de aire en CO	
	A: 5.2%	B: 20.38%
N° de muestras	A: 5.2%	B: 20.38%
Caldera 1	262	13
Caldera 2	231	9
Caldera 3	254	13
Caldera 4	240	11
Caldera 5	251	12
Caldera 6	154	10

Nota: Reporte STEAM SERVICE E.I.R.L. (apéndice 1, 2 y 3)

$$n_1 = 6$$

$$n_2 = 6$$

$$\Sigma R_1 = 57$$

$$\Sigma R_2 = 21$$

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - \Sigma R_1 \quad (2)$$

$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - \Sigma R_2 \quad (3)$$

Aplicando formulas:

$$U_1 = 6 \cdot 6 + \frac{6(6 + 1)}{2} - 57 = 0 \quad (4)$$

$$U_2 = 6 \cdot 6 + \frac{6(6 + 1)}{2} - 21 = 36 \quad (5)$$

$$U_1 = 0$$

$$U_2 = 36$$

$$U \text{ critica} = 5 \text{ (Apéndice 24)}$$

Tabla 7

Muestras de las mediciones antes y después de la manipulación del exceso de aire

Planta de vapor	Exceso de aire en NOx	
	A: 5.2%	B: 20.38%
N° de muestras	A: 5.2%	B: 20.38%
Caldera 1	125	39
Caldera 2	110	40
Caldera 3	117	38
Caldera 4	110	40
Caldera 5	124	32
Caldera 6	108	36

Nota: Reporte STEAM SERVICE E.I.R.L. (apéndice 1, 2 y 3)

$$n1 = 6$$

$$n2 = 6$$

$$\Sigma R1 = 57$$

$$\Sigma R2 = 21$$

$$U1 = n1 \cdot n2 + \frac{n1(n1 + 1)}{2} - \Sigma R1 \quad (6)$$

$$U2 = n1 \cdot n2 + \frac{n2(n2 + 1)}{2} - \Sigma R2 \quad (7)$$

Aplicando formulas:

$$U1 = 6 \cdot 6 + \frac{6(6 + 1)}{2} - 57 = 0 \quad (8)$$

$$U2 = 6 \cdot 6 + \frac{6(6 + 1)}{2} - 21 = 36 \quad (9)$$

$$U1 = 0$$

$$U2 = 36$$

$$U \text{ critica} = 5 \text{ (Apéndice 24)}$$

Dado que el valor U es menor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula

Por lo tanto, los niveles de contaminación de los gases contaminantes de exceso de aire del 20.38% y del 5.2% son completamente diferentes.

V.4. Determinar la relación costo beneficio de la implementación de proporciones de mezclas de aire y gas natural de las calderas de vapor.

Para determinar la relación costo beneficio se procede a revisar la COTIZACION No. 13-SS-22 la cual la empresa STEAM SERVICE E.I.R.L. provee los servicios de regulación de las calderas de vapor de la compañía pesquera donde se realizó el estudio y la manipulación de las variables de la mezcla de aire y gas natural.

COTIZACION No. 13-SS-22 (apéndice 6)

Costo por caldera	\$ 1,700.00
IGV	\$ 323.00
Total	\$ 2,023.00

Tabla 8

Consumo de combustibles en uso de calderas de vapor del año 2021

Combustible	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Gas natural M ³	188,340.1	365.8	4,053.5	53,635.7	630,792.7	244,242.1	12,271.2	778,475.1	1'121,814.8	3'033,991.0
R500 Gal.	1,047.0	0.0	0.0	0.0	10,161.0	0.0	0.0	44,620.0	10,683.0	66,511.0

Nota: Fuente registró SUDESCO Energía (Apéndice 8)

Costo gas natural Anual

Costo \$ 0.5678 por M³ de gas natural según factura E001-601 (Apéndice 22)

Consumo del gas natural antes de la regulación (Apéndice 19)

893 M³/h

Consumo del gas natural después de la regulación (Apéndice 21)

791 M³/h

$$PD = \frac{\text{Valor anterior} - \text{Valor actual}}{\text{Valor anterior}} \times 100 \quad (10)$$

$$PD = \frac{893 \text{ M}^3/\text{h} - 791 \text{ M}^3/\text{h}}{893 \text{ M}^3/\text{h}} \times 100 \quad (11)$$

PD=11.42% menos de gas natural en promedio

Consumo 2021 : 3'033,991.0 M³ de gas natural

Consumo posible de ahorro al 11.42% : 346,481.7 M³ de gas natural

Equivalentes en dólares : \$ 196,732.30 Anuales

Costo regulación de calderas Anual

Costo unitario de regulación : \$ 2023.00

Costo regulación de 6 calderas : \$ 12,138.00

Costo por 4 regulaciones anuales : \$ 48,552.00

Conclusión de la inversión

Inversión : \$ 48,552.00

Ahorro : \$ 196,732.30

El regreso de inversión se dará a los 0.25 del primer año.

El costo beneficio es mayor de 4.05.

VI. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

VI.1. Discusión

De acuerdo a la investigación realizada el objetivo era determinar si existía influencia de la mezcla de aire y gas usando la técnica del exceso de aire en los gases contaminantes la cual demostró que si hay influencia directa, las investigaciones de Zaporozhets (2019) y Zhang et al. (2020) coinciden con el presente estudio y con las bases teóricas propuestas por Echavarría & Arrieta (2017), mas no coinciden con los estudios de Kim et al. (2021), Taymarov et al. (2019), Gavelan (2018) y Bian et al., (2023) que aunque demuestran que hay influencia, el impacto en los gases contaminantes son diferentes al estudio dado pero son considerados por las bases dadas por Jiménez (2016) y Simic et al. (2021), también están los estudios de Rimar et al. (2019), Tian et al.,(2024), Fomenko et al. (2019) y Ibrahim & Farrukh (2019) en ellos también se afirma el objetivo principal, más los resultados distan mucho de los resultados del presente estudio.

De acuerdo a los resultados de la primera etapa, el estudio arrojó un 5.2% de exceso de aire en promedio por la no regulación prolongada con cantidades de CO de 232 ppm y Nox de 115.67 ppm. Comparando con los estudios de Ibrahim & Farrukh (2019), Fomenko et al. (2019) y Rimar et al. (2019) las cuales no manejan un estudio pre investigación solo se limita a simular mediante un programa las condiciones de exceso de aire y su efectos en los gases contaminantes, Kim et al. (2021), Zaporozhets (2019) y Zhang et al. (2020) no tiene mediciones pre estudio solo proyectan a comparar sus mediciones o el uso de controladores como mejorar la disminución de gases contaminantes, Taymarov et al. (2019) no cuenta una medición pre investigación como el presente estudio, más la investigación de Gavelan (2018) muestran un estudio pre investigación con una caldera similar a nuestro estudio de 800Bph con un índice de oxígeno del 3% equivalentes a un exceso de aire del 15% con un CO de 1178 ppm y un Nox de 1724.41 las cual nos da una referencia de la medición con el presente estudio recalando que las calderas pueden tener diferentes estados como tiempo de residencia de la llama, la longitud la temperatura u otras desviaciones que dificultan tener resultados similares entre sí, con la cual se afirma la hipótesis general del presente estudio.

Así mismo la presente investigación manipulo de manera deliberada tres porcentajes de exceso de aire basados en los antecedentes para ver cómo influye en los gases contaminantes y en cuál de ellos las emisiones son mínimas, los estudios de Ibrahim & Farrukh (2019), Fomenko et al. (2019) y Rimar et al. (2019) basan sus pruebas en simulaciones buscando una proporción que emita menos gases contaminantes, luego están los estudios de Kim et al. (2021), Zaporozhets (2019) y Zhang et al. (2020) que manifiestan cierta similitud en sus estudios tomando muestras en varios tiempos y en diferentes tipos de calderas para hacer cálculos de cual proporción es la que arroja menos gases contaminantes similares a los de Taymarov et al. (2019), ya que basa su estudio con calderas con toberas de regulaciones fijas y registra cuál de ellas emite la menor cantidad de gases contaminantes también están los estudios de Gavelan (2018) y Bian et al., (2023) y Tian et al., (2024), las cuales hicieron el uso tecnologías e inversiones para mejorar con el mismo exceso de aire reducir sus emisiones bajo técnicas de residencia de la llama dentro de las calderas, en todos los estudios mencionados se demostró la influencia de la combinación de aire y gas en los

gases contaminantes, respondiendo la pregunta principal y afirmando la hipótesis específicas demostrando que la mezcla de aire afecta en la emisión de los gases contaminantes.

Con respecto a los resultados encontrados en la presente investigación se demostró para el caso de la empresa pesquera que el exceso de aire ideal que emite de manera mínima los gases contaminantes son un exceso de aire cercano al 20% coincidiendo con los estudios de Zaporozhets (2019) y Zhang et al. (2020) los cuales sus emisiones tienen similitud cercana a las emisiones del estudio que se realizó, el estudio también demostró que un exceso de aire de un 15% aunque influye en los gases contaminantes no disminuye de manera mínima los gases contaminantes y prueba de ellos son los resultados de los estudios de Kim et al. (2021), Taymarov et al. (2019), Gavelan (2018) y Bian et al., (2023) que tuvieron una proporción del 15%, de igual manera un incremento del exceso de aire por encima del 25% no minimiza los gases contaminantes, lo cual se demostró con los estudios de Rimar et al. (2019) y Tian et al., (2024) que tuvieron la proporción ya mencionada, los estudios de Fomenko et al. (2019) y Ibrahim & Farrukh (2019) demuestran que a menor proporción de exceso de aire, los gases tienden a incrementarse en todo caso en todos los estudios de los antecedentes se demuestra la influencia del exceso de aire en los gases contaminantes y aunque rechaza la tercera hipótesis específica responde a la pregunta principal del estudio.

En respecto al costo beneficio ninguno de los estudios precedentes manifiesta con valores cuantitativos si existe un beneficio económico de las diferentes implementaciones de las investigaciones que se realizaron todo los estudios se centran en el exceso de aire y los gases contaminantes no pudiéndose evidenciar si los proyectos tuvieron ventajas en cuanto a costo e inversión como tiene el presente estudio, pero demostraron que al manipular la mezcla de aire y gas hasta una proporción ideal se logra minimizar las emisiones de gases contaminantes más el presente estudio se preveía un retorno de inversión el primer semestre, lo cual al realizar los cálculos reales se contraponen como mejor resultado a lo esperado ya que el retorno de inversión será al primer trimestre contraponiendo la cuarta hipótesis.

VI.2. Conclusiones

Se evaluó la influencia de la mezcla de aire y gas natural en base al exceso de aire existente de la caldera de muestra de la empresa pesquera la cual influye de manera directa en los gases contaminantes producto de la combustión de las calderas de vapor de la industria pesquera.

Se determinó la concentración actual de la mezcla de aire con el gas natural y las cantidades de CO y NOx de los gases contaminantes productos de la combustión de las calderas de vapor.

Se determinaron los diferentes proporciones de la mezcla de aire con el gas natural basados en el exceso de aire que se emplearon en los diversos estudios en base a los datos recopilados se elaboró tres tipos de ensayos y cuál de las proporciones es la adecuada para que influya con la mínima cantidad de gas contaminante de las calderas de vapor de la compañía pesquera.

Se evaluaron las diferentes concentraciones de gases contaminantes en base a las tres proporciones de mezcla de aire con gas natural y cuál de estas proporciones tenían menos impacto en la generación de CO y NOx de los gases contaminantes de las calderas de vapor de la industria pesquera

Se determinó el retorno de la inversión de la implementación de las proporciones de mezcla de aire y gas natural dentro del primer trimestre juntamente con el costo beneficio que fue mayor en un 4.05.

VI.3. Recomendaciones

Se sugiere para futuras evaluaciones de la mezcla de aire y gas en base al exceso de aire en calderas de vapor contar con historiales de las emisiones de los gases contaminantes para poder tener un historial comparativo y ver que tanto puede impactar el estudio post implementación en las calderas y ver el alcance real de las mismas.

Se recomienda que las mediciones antes del estudio a realizar se tomen mucha más cantidad de muestras para tener una mayor referencia del estado real del exceso de aire y del gas contaminante las cual servirá para tener mayor claridad del estado en que se encuentra la caldera en el que se aplicara las regulaciones, esto ayudara a que los futuros ensayos puedan tener más data pre estudio y usarla para las comparaciones post estudio.

Se recomienda durante la manipulación de las variables realizar varios tipos de ensayos para poder tener diversidad de muestras y escoger cual es la más idónea, pero tener en cuenta que requerirá de tiempo en demasía y el costo de la misma es elevada pero sirve para poder tener un resultado mucho más satisfactorio con el cual el estudio tendrá un mejor sustento y peso en los resultados que se desee demostrar.

Se recomienda al elegir la muestra ideal y regularla en las calderas de vapor cambiar los componentes mecánicos que sean nuevos para lograr mantener durante el tiempo la regulación realizada en las calderas y la frecuencia de regulación anual sea la mínima posible en todas las posiciones o carreras que se maneja en una caldera de vapor.

Se recomienda en cuanto a regulaciones contar con una empresa certificada en regulación de calderas para cuanto se tengan auditorias del estado, mostrar los informes de las regulaciones, pues serán un aval si en caso la caldera tuviera dificultades esto haría que el costo beneficio sea rentable.

Lista de referencias

- Babatunde, D., Anozie, A., & Babatunde, O. (2021). An Air-Fuel Ratio Parametric Assessment on Efficiency and Cost. *Integración y Optimización de Procesos Para La Sostenibilidad*, 1–15.
- Barbieri, R. C., Campos, J. C. C., Brito, R. F., Siqueira, A. M., Minette, L. J., & Acevedo, E. J. (2020). Análisis de la Eficiencia Energética de una Caldera Industrial Alimentada por Leña. *Research, Society and Development*, 9(1), e58911606. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1606>
- Bian, C., Huang, J., & Sun, R. (2023). Numerical optimization of combustion and NOX emission in a retrofitted 600MWe tangentially-fired boiler using lignite. *Applied Thermal Engineering*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120228>
- Borges, J., Monzón, M., Alejandro, J., Rodríguez, L., Josefa, M., Moya, V., & Armando, D. (2016). *APLICACIONES INDUSTRIALES Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor Method for evaluating the efficiency and environmental impact of a steam generation*.
- Cartes, F. (2021). Metodología para la estimación del precio social del carbono en Chile y los países de América Latina y el Caribe. *Cepal*, 1–40.
- Cornette, J. F. P., Coppieters, T., Lepaumier, H., Blondeau, J., & Bram, S. (2021). Particulate matter emission reduction in small- and medium-scale biomass boilers equipped with flue gas condensers: Field measurements. *Biomass and Bioenergy*, 148(February), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106056>
- Echavarría, J. D., & Arrieta, A. A. (2017). Estudio del régimen de combustión sin llama ante la variación de la carga térmica. *Ingeniería y Ciencia*, 13(25), 185–208. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.13.25.8>
- Espinel Blanco, E. E., Álvarez Pacheco, C. E., & Moreno C, G. G. (2020). Modelamiento Del Tambor De Una Caldera Acuotubular Para Una Planta De Energía Térmica. *Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada (Rcta)*, 1(35), 102–108. <https://doi.org/10.24054/16927257.v35.n35.2020.49>
- Fomenko, N. E., Jovicic, V., Prokhorov, V. B., & Fomenko, M. V. (2019). Numerical study of the methane-air combustion in the direct-flow burner of the boiler 300 MW TGMP-314 boiler. *Journal of Physics: Conference Series*, 1370(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1370/1/012006>
- Gavelan, J. (2018). SISTEMA DE GESTION PARA DISMINUIR EFECTOS CONTAMINANTES OCASIONADOS POR ACTIVIDADES DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL PUCALÁ SAA, DISTRITO PUCALA 2018 Tesis [UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO]. In *UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO*. http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127%0Ahttp://publicacoes.cardiol.br/portal/ijcs/portugues/2018/v3103/pdf/3103009.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-75772018000200067&lng=en&tlng=
- Hernández, R. (2018). Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. In *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. shorturl.at/mws39
- Ibrahim, U., & Farrukh, S. (2019). Optimization of fuel in saturated steam boiler through preheating of controlled air-fuel mixture. *2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies, ICoMET 2019*, 1–7.

<https://doi.org/10.1109/ICOMET.2019.8673398>

- INDECOPI CNP (Institution). (2009). *NTP-350.301-2009-Calderas-estandares-eficiencia*. 1–21.
- Jiménez Lira, G. K. (2016). Analysis of biogas combustion efficiency for domestic stove use in Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz*, 3, 94–102.
- Kim, J., Yu, J. H., Jihan, C., Lee, D., Yu, M. S., Hwang, I., & Kim, J. H. (2021). *Emission Characteristics of PM (PM_{total}, PM₁₀, PM_{2.5}), NO_x, CO and VOCs Emitted from LNG-fired Gas Turbine and Small Domestic Boiler*. 15(4).
- Liu, J., Zhu, Y., & Zhou, H. (2023). Numerical simulation study on combustion characteristics and NO_x emission of COREX gas swirl burner and boiler. *Fuel*, 352(July).
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129128>
- Lozada, J. (2016). Investigación Aplicada : Definición , Propiedad Intelectual e Industria. *Cienciaamérica*, 1(3), 34–39.
- Muñoz, A., Menendez, J., & Gonzalez, A. (2020). Manejo De Las Calderas Industriales Y Su Impacto En El Medio Ambiente En La Ciudad De Guayaquil. *Posgrados*, 4.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19836/1/UPS-GT003144.pdf>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2019). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 5TA EDICIÓN*.
- Navakas, R., Saliamonas, A., Striūgas, N., Džiugys, A., Paulauskas, R., & Zakarauskas, K. (2018). Effect of producer gas addition and air excess ratio on natural gas flame luminescence. *Fuel*, 217, 478–489. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.094>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Ramos, C. A. (2020). Alcances de una investigación. *CienciaAmérica*, 9(3), 1–6.
<https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Redko, A., Dzhyoiev, R., Davidenko, A., Pavlovskaya, A., Pavlovskiy, S., Redko, I., Kulikova, N., & Redko, O. (2018). Aerodynamic processes and heat exchange in the es.pdf. *Revista de Ingeniería de Alejandria*, 90–104.
- Reyes, C. L. P., Olaya, F. A. C., Gamboa, G. I. C., Vargas, I. A., Salazar, O. A. C., & Vélez, W. I. A. (2019). *METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Cuantitativa & Cualitativa*.
- Rimar, M., Fedak, M., Kulikov, A., Corny, I., Abahad, M., & Kizek, J. (2019). Reduction of NO_x formation under the limit combustion conditions through the application of combined primary deNO_x methods on the gas boilers. *Acta Montanistica Eslovaca*, 24(2), 98–119.
- Rivera, A. D. P. F., Jiménez, F. M. R., Santaella, J. R. B., & Rubio, J. C. C. (2020). Mathematical model of a combustion chamber of a pirotubular boiler using the matlab-simulink tool. *Revista Materia*, 25(3), 1–10. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200003.1112>
- Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 1–26.
<https://www.redalyc.org/pdf/206/20652069006.pdf>

- Simic, K., T'Jollyn, I., Faes, W., Borrajo Bastero, J., Laverge, J., & De Paepe, M. (2021). Modelling of a gas-fired heating boiler unit for residential buildings based on publicly available test data. *Energy and Buildings*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111451>
- Taymarov, M., Akmetova, R., & EA, A. (2019). Efficiency of application of various layout arrangements of oil-gas burners in thermal power plant boilers. *Publicaciones de IOP*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/552/1/012008>
- Tian, T., Min, X., Zhang, Y., & Zhang, H. (2024). *Thermodynamic and emission characteristics of a hydrogen-enriched natural gas-fired boiler integrated with external flue gas recirculation and waste heat recovery*. 358.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2016). *Datos globales de emisiones de gases de efecto invernadero*.
- Velázquez González, A., Corrales Suárez, J. M., & Pérez Molina, L. R. (2020). Evaluación termoexergética de un generador de vapor pirotubular compacto. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 21(2), 1–8. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21n2.015>
- Villafuerte, N. M. (2021). Huella de carbono en Latinoamérica como herramienta de medición de impacto ambiental en Instituciones privadas, 2017-2021. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 10018–10038. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.1050
- Xiao, G., Gao, X., Lu, W., Liu, X., Asghar, A. B., Jiang, L., & Jing, W. (2023). A physically based air proportioning methodology for optimized combustion in gas-fired boilers considering both heat release and NOx emissions. *Applied Energy*, 350. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121800>
- Yepes, H. A., Arrieta, C. E., & Amell, A. A. (2019). Combustión sin llama como una alternativa para mejorar la eficiencia de sistemas térmicos: revisión del estado del arte. *Tecnológicas*, 22(46), 115–154. <https://doi.org/10.22430/22565337.1105>
- Zaporozhets, A. (2019). *Analysis of Control System of Fuel Combustion in Boilers with Oxygen Sensor*. 63(4), 241–248.
- Zhang, Q., Niu, Y., Yang, X., Xiao, X., Shen, Q., & Wang, P. (2020). *Experimental study of flue gas condensing heat recovery synergized with low NOx emission system*. 269. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115091>

Apéndice

Apéndice 1. Reporte los gases contaminantes calderas 1 y 2 (Steam Service E.I.R.L.)

Cuadro N° 6: Resultados del Caldero N° 1 comparados con rangos técnicos de eficiencia.

CALDERO	N° 1				RANGOS		
MARCA	DISTRAL 900 BHP						
LLAMA	ANTES	DESPUES			BAJA	ALTA	VALOR
	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA			
Eficiencia de gas	79.5	85.2	85	84.5	85		%
Oxígeno (O2)	0.85	3.23	4.01	4.64	3 - 6		%
Dióxido de carbono (CO2)	9.37	10.6	9.4	9.68	10 - 12		%
Exceso de aire (EA)	-1.5	15.4	21	25.6	5-15		%
Temperatura de gases (TS)	169.2	165.7	175.9	205.7	160-190	° C	° C
Temperatura de ambiente	27.5	30.1	30.4	30.6			° C
Monóxido de carbono (CO)	262	71	13	28			ppm
Dióxido de azufre (SO2)	4	0	1	2			ppm
Oxido nítrico (NO)	93	69	28	53			ppm
Óxidos de nitrógeno (NOx)	125	91	39	57			ppm
Presión de línea	79.5	32	56	56			PSI
Presión regulada	0.85	0.47	0.41	0.3			bar
Presión al quemador	9.37	2	36 / 48	10			In H2O

Cuadro N° 7: Resultados del Caldero N° 2 comparados con rangos técnicos de eficiencia.

CALDERO	N° 2				RANGOS		
MARCA	DISTRAL 900 BHP						
LLAMA	ANTES	DESPUES			BAJA	ALTA	VALOR
	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA			
Eficiencia de gas	84.7	85.2	85.4	84.8	85		%
Oxígeno (O2)	1.57	3.14	3.82	4.21	3 - 6		%
Dióxido de carbono (CO2)	9.83	9.57	9.71	9.68	10 - 12		%
Exceso de aire (EA)	7.2	15.1	20.6	25.3	5-15		%
Temperatura de gases (TS)	167.5	175.6	173.2	209.7	160-190	° C	° C
Temperatura de ambiente	28.5	29.7	30.1	30.4			° C
Monóxido de carbono (CO)	231	57	9	33			ppm
Dióxido de azufre (SO2)	2	0	1	2			ppm
Oxido nítrico (NO)	89	70	25	57			ppm
Óxidos de nitrógeno (NOx)	110	105	40	55			ppm
Presión de línea	42	47	53	52			PSI
Presión regulada	0.4	0.33	0.37	0.38			bar
Presión al quemador	0.7	1.97	2.54	9			In H2O

Apéndice 2. Reporte los gases contaminantes calderas 3 y 4 (Steam Service E.I.R.L.)

Cuadro N° 8: Resultados del Caldero N° 3 comparados con rangos técnicos de eficiencia.

CALDERO	N° 3				RANGOS		
MARCA	DISTRAL 900 BHP						
LLAMA	ANTES	DESPUES			BAJA	ALTA	VALOR
	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA			
Eficiencia de gas	82.3	84.8	85.1	84.5	85		%
Oxígeno (O ₂)	0.85	3.27	3.81	4.03	3 - 6		%
Dióxido de carbono (CO ₂)	11.28	10.03	9.65	9.87	10 - 12		%
Exceso de aire (EA)	5.3	14.7	20.2	25.4	5-15		%
Temperatura de gases (TS)	164.2	178.6	175.1	208.7	160-190	° C	° C
Temperatura de ambiente	27.7	26.1	27.1	30.3			° C
Monóxido de carbono (CO)	254	56	13	28			ppm
Dióxido de azufre (SO ₂)	2	0	0	2			ppm
Oxido nítrico (NO)	115	65	33	54			ppm
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	117	109	38	56			ppm
Presión de línea	52	51	55	53			PSI
Presión regulada	0.39	0.33	0.37	0.3			bar
Presión al quemador	0.6	2	0.7	12			In H ₂ O

Cuadro N° 9: Resultados del Caldero N° 4 comparados con rangos técnicos de eficiencia.

CALDERO	N° 4				RANGOS		
MARCA	DISTRAL 900 BHP						
LLAMA	ANTES	DESPUES			BAJA	ALTA	VALOR
	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA			
Eficiencia de gas	83.2	85.2	84.2	85.3	85		%
Oxígeno (O ₂)	1.42	3.06	3.78	4.1	3 - 6		%
Dióxido de carbono (CO ₂)	10.82	9.99	9.59	9.62	10 - 12		%
Exceso de aire (EA)	6.2	15.2	19.6	24.9	5-15		%
Temperatura de gases (TS)	166.7	176.9	170.5	210.6	160-190	° C	° C
Temperatura de ambiente	26.8	26.7	26.8	30.8			° C
Monóxido de carbono (CO)	240	59	11	25			ppm
Dióxido de azufre (SO ₂)	2	0	1	2			ppm
Oxido nítrico (NO)	107	67	30	50			ppm
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	110	107	40	53			ppm
Presión de línea	56	32	56	54			PSI
Presión regulada	0.34	0.24	0.34	0.32			bar
Presión al quemador	0.6	2	0.5	13			In H ₂ O

Apéndice 3. Reporte los gases contaminantes calderas 5 y 6 (Steam Service E.I.R.L.)

Cuadro N° 10: Resultados del Caldero N° 5 comparados con rangos técnicos de eficiencia.

CALDERO	N° 5				RANGOS		
	DISTRAL 800 BHP						
	LLAMA	ANTES	DESPUES			BAJA	ALTA
	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA			
Eficiencia de gas	80.8	84.9	85	86	85		%
Oxígeno (O2)	1.58	3.32	3.92	4.24	3 - 6		%
Dióxido de carbono (CO2)	11.35	9.75	9.48	9.67	10 - 12		%
Exceso de aire (EA)	2.7	15	20.9	25.1	5-15		%
Temperatura de gases (TS)	168.7	175.4	169.7	213.6	160-190	° C	° C
Temperatura de ambiente	27.2	26.9	27.5	30.6			° C
Monóxido de carbono (CO)	251	63	12	31			ppm
Dióxido de azufre (SO2)	2	0	1	2			ppm
Oxido nítrico (NO)	115	69	30	55			ppm
Óxidos de nitrógeno (NOx)	124	104	32	51			ppm
Presión de línea	28	33	55	56			PSI
Presión regulada	0.31	0.27	0.38	0.31			bar
Presión al quemador	0.7	2.1	32 / 44	10			In H2O

Cuadro N° 11: Resultados del Caldero N° 6 comparados con rangos técnicos de eficiencia.

CALDERO	N° 5				RANGOS		
	DISTRAL 800 BHP						
	LLAMA	ANTES	DESPUES			BAJA	ALTA
	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA			
Eficiencia de gas	84.7	85.7	85.9	85.3	85		%
Oxígeno (O2)	2.84	395	4.16	4.44	3 - 6		%
Dióxido de carbono (CO2)	10.31	9.85	9.32	9.72	10 - 12		%
Exceso de aire (EA)	11.3	15.3	20	25.3	5-15		%
Temperatura de gases (TS)	167.1	175.7	171.8	216.3	160-190	° C	° C
Temperatura de ambiente	28.1	27.2	26.9	30.4			° C
Monóxido de carbono (CO)	154	62	10	35			ppm
Dióxido de azufre (SO2)	2	0	0	2			ppm
Oxido nítrico (NO)	91	65	28	56			ppm
Óxidos de nitrógeno (NOx)	108	105	36	58			ppm
Presión de línea	48	35	51	52			PSI
Presión regulada	0.36	0.27	0.36	0.31			bar
Presión al quemador	0.7	1.95	36 / 48	11			In H2O

Apéndice 4. Población y límites permisibles de la Norma técnica peruana NTP-350.301-2009

3.1 Esta Norma Técnica Peruana se aplica a las calderas tipos paquete de tubos de humo (pirotubular) y de tubos de agua (acuotubular) sin equipo de recuperación de calor que utilizan combustibles sólidos, gaseosos y líquidos derivados del petróleo, con las características mostradas en la Tabla 1.

TABLA 1 - Características de las calderas a las cuales se aplica este NTP

Potencia	▪ De 98 – 11 772 kW (10 a 1 200 BHP)
Presión manométrica	▪ Hasta 2 069 kPa (300 psig) para las calderas de tubos de humo ▪ Hasta 3 103 kPa (450 psig) para las calderas de tubos de agua
Temperatura	▪ De saturación

C.1 Límites Máximos Permisibles para calderas de vapor de uso industrial⁽⁴⁾

Parámetro	Límite de Emisión (mg/Nm ³) ⁽¹⁾		
	Combustible		
	Gas	Líquido	Sólido
Partículas sólidas ⁽²⁾	----- --	150	150
SO ₂	300	1500	1500 (carbón)
			100 (bagazo)
			500 (Bag/petro)
NO _x	320	600	750
CO	100	350	500
Opacidad (Indice Bacharach) ⁽³⁾	0	4	-----

(1) Concentración referida a condiciones normales 0°C, 1 atmósfera, 3% de O₂ para gas y líquidos y 6% de O₂ para sólidos
(2) Para calderas de potencia mayor o igual a 800BHP (líquido) y 300BHP (sólido)
(3) Para calderas menores a 800 BHP
(4) Estos Límites son aplicables a las calderas de vapor pirotubulares y acuotubulares; Asimismo, se aplican a calderas de calentamiento de agua o aceite térmico que queman Diesel, Residual o Gas o en general que queman combustibles fósiles y que pertenecen a las empresas industriales manufactureras pudiendo ser de aplicación por otros sectores.
NOTA: El monitoreo de las emisiones atmosféricas se realizará conforme al Protocolo de Monitoreo de Emisiones Atmosféricas aprobado por Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM.

Apéndice 5. Certificado de calibración de equipo de medición de gases



Certificado de Calibración

G-0132-21

Cliente: STEAM SERVICE E.I.R.L.
Dirección de Cliente: Av. Revolucion Mza. 33F Lt1 San Francisco - San Juan de Miraflores - Lima
Instrumento: Analizador de gases
Fabricante: Testo
Modelo: testo 340
N° de serie: 02102675
Código Cliente: No indica
Alcance de medición: Ver especificaciones del instrumento (*)
Resolución: Ver especificaciones del instrumento (*)
Exactitud: Ver especificaciones del instrumento (*)
N° de Orden de trabajo: OT-21-0712
Fecha de Calibración: 2021-09-24
Lugar de Calibración: Instruments Lab S.A.C.

Instruments Lab S.A.C. cuenta con un laboratorio de calibración que trabaja bajo el sistema de gestión NTP ISO/IEC 17025. Los patrones usados en las calibraciones son calibrados regularmente y son trazables a estándares nacionales e internacionales. Los documentos que se han generado como resultado del presente certificado de calibración, son estrictamente confidenciales y por ninguna causa serán exhibidos ni divulgados por el personal de Instruments Lab S.A.C., obligándose a guardar la confidencialidad de la información que se genere o desarrolle. El servicio de calibración es trazable al Sistema Internacional de Unidades de medida (SI).

(*) Las especificaciones del instrumento se encuentran detalladas en las hojas de resultados por cada parámetro.

Este certificado de calibración no puede ser reproducido total ni parcialmente, excepto con la autorización del Laboratorio. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Emisión Certificado

Supervisor

Técnico

2021-09-24




Daniel Pizarro

Pedro Fernández

INSTRUMENTS LAB S.A.C.
IL-FCG-001

Pasaje Colonial N° 800
Urb. Los Pinos - Lima 01

+51 1 3803085
+51 1 3803086

www.instrumentalab.com.pe
info@instrumentalab.com.pe

Página

1 de 6

Apéndice 6. Cotización de la empresa prestadora de servicio



R.U.C. 20510160097

MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO, MONITOREO DE GASES, CALIBRACION DE COMBUSTION Y ASESORAMIENTO TECNICO EN PLANTA DE VAPOR

Lima, 16 de abril de 2022

Señores:
AUSTRAL GROUP S.A.A.
Planta Chancay

Atención:
Presente. –

COTIZACION No. 13-SS-22

Estimados Señores:

Nos es grato dirigimos a Uds. para hacerle llegar nuestra cotización sobre Regulación de Sistema dual de combustión de calderas a vapor N° 1, N° 2, N° 3, N° 4 marca Distral de 900 BHP y caldera a vapor N° 5 marca Distral de 800 BHP. Servicios con Solped N° 30025723-30, N° 30025724-30, N° 30025725-30, N° 30025726-30, y N° 30025727-30 respectivamente.

1. REGULACION DE SISTEMA DUAL DE COMBUSTION DE CALDERAS

1.1. VERIFICAR ESTADO DE REFRACTARIOS:

- Verificar estado de refractario (hogar, cono).

COSTO US \$ 300.00 + I.G.V.

1.2. REVISIÓN DE COMPONENTES DE TREN DE GAS (PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD):

- Revisión del correcto funcionamiento y estanqueidad de válvulas.
- Detención de fugas en todos los elementos y uniones mecánicas a lo largo de toda la línea de alimentación, eliminación de fugas en caso los hubiera.

COSTO US \$ 100.00 + I.G.V.

1.3. VERIFICAR LIMPIEZA DE FILTRO DE GAS:

- Limpieza y/o cambio de filtro de gas.

COSTO US \$ 50.00 + I.G.V.

Apéndice 7. Cotización de la empresa prestadora de servicio costo final del servicio



STEAM SERVICE E.I.R.L

R.U.C. 20510160097

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO, MONITOREO DE GASES, CALIBRACION DE
COMBUSTION Y ASESORAMIENTO TECNICO EN PLANTA DE VAPOR**


2. CONDICIONES DE PAGO

COSTO POR CALDERA (SUMA DE 1.1 AL 1.36)	US \$ 1700.00 + I.G.V.
COSTO TOTAL	US \$ 8500.00 + I.G.V. (Por 05 calderas).
FORMA DE PAGO	Contado, contra entrega.
CANTIDAD DE PERSONAL	03 Técnicos calificados.
TIEMPO DE EJECUCIÓN	04 días útiles por caldera.
GARANTIA DEL SERVICIO	Temporada de pesca ante defectos de regulación.

Agradeciendo su atención al presente, quedando para cualquier consulta y/o requerimiento.

Atentamente.

STEAM SERVICE E.I.R.L.


ALBERTO PORTUGUEZ C.
Gerente General

Apéndice 8. Informe final de consumo de combustibles de la empresa proveedora de gas natural

SUDESCO ENERGY		AUSTRAL GROUP S.A.A - Austevoll Seafood Company														
		EMISIONES DIRECTAS														
		CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN CALDEROS														
AÑO	2021															
EMPRESA	AUSTRAL GROUP S.A.A - Austevoll Seafood Company															
LOCACIÓN	Av. Roosevelt 1008. Chancay															
FUENTE	CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN CALDEROS															
TIPO DE FUENTE	ESTACIONARIA															
ALCANCE	EMISIONES DIRECTAS (ALCANCE I)															
AREA RESPONSABLE	PRODUCCIÓN															
ENCARGADO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	HENRY RIOS															
MEDIO DE ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS/ INFORMACIÓN	ELECTRONICO															
NOMBRE DEL ARCHIVO O FUENTE	REPORTE DE PLANTA - CONSUMO DE GAS / PARTE DE PRODUCCION															
UBICACIÓN Y CUSTODIA DE DEL ARCHIVO DE DATOS O INFORMACIÓN	AREA DE PRODUCCION															
QC/QA																

Fuente	Tipo de Combustible	Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Calderos vapor	R - 500	Gln	1,047.0				9,461.0						44,620.0	10,683.0	65,811.0
Calderos vapor	Gas Natural	m3	169,905.0	365.8	4,053.5	50,011.4	568,083.5	221,953.5				12,271.2	702,020.7	1,012,914.1	2,741,578.7
Caldero FLUIDO TERMICO	R - 500	Gln					700.0								700.0
Caldero FLUIDO TERMICO	Gas Natural	m3	18435.11			3624.292	62709.2	22288.64					76454.33	108900.755	292,412.3

R-500	1,047.0	0.0	0.0	0.0	10,161.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44,620.0	10,683.0	66,511.0
GAS NATURAL	188,340.1	365.8	4,053.5	53,635.7	630,792.7	244,242.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12,271.2	778,475.1	1,121,814.8	3,033,991.0

Apéndice 9. Ibrahim & Farrukh, (2019)

En el montaje propuesto se utilizan 734 kg/h de combustible en lugar de 772 kg/h. En lugar de introducir combustible y aire como corrientes separadas, tanto el aire como el combustible se mezclan para formar una mezcla homogénea. Usando ASPEN HYSYS se encontró que usar un 10% de exceso de aire mejora la calidad del gas combustible junto con un aumento del 1% en la eficiencia de la caldera. La composición de los gases de combustión producidos con un 10% de exceso de aire se muestra en la tabla III.

CUADRO III. COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE HUMO

No.	Componente	Fórmula	Masa porcentaje
1	Metano	CH ₄	0.92
2	Nitrógeno	N ₂	75.27
3	Dióxido de carbono	CO ₂	7.77

Apéndice 10. Kim et al.,(2021)


 AJAE Revista asiática de medio ambiente atmosférico, vol. 15, núm. 4, 2021129, 2021

Tabla 4. Concentraciones de NOx y CO para turbinas de gas alimentadas con GNL y pequeñas calderas domésticas.

Contaminantes		Turbina de gas* (n = 60) @O ₂ 15%	Caldera convencional (n = 9) @O ₂ 4%	Caldera de condensación** (n = 9) @O ₂ 4%
Contaminantes gaseosos (ppm)	NOx	11,3 (1,8-28,8)	60,1 (20,9-109,0)	14,3 (6,4-25,9)
	CO	2,2 (~7,7)	198,9 (137,2-285,2)	90,1 (63,9-137,4)

Apéndice 11. Rimar et al. (2019)

Tabla 10. Resultados de la medición de la concentración de NOx para la segunda configuración.

Tiempo de medición [h:min]	14:00-14:30	14:30-15:00	15:00-15:30	15:30-16:00	16:00-16:30	Valor	
						máximo	significar
Contenido [% obj.]							
O ₂	7.34	7.32	7.33	7.22	7.33	7.34	7.31
CO ₂	7.26	7.30	7.27	7.38	7.27	7.38	7.30
Concentración de masa [mg.m ⁻³]							
NO _x	189	181	186	185	189	189	186
CO	2	2	2	2	3	3	2

Apéndice 12. Zaporozhets (2019)

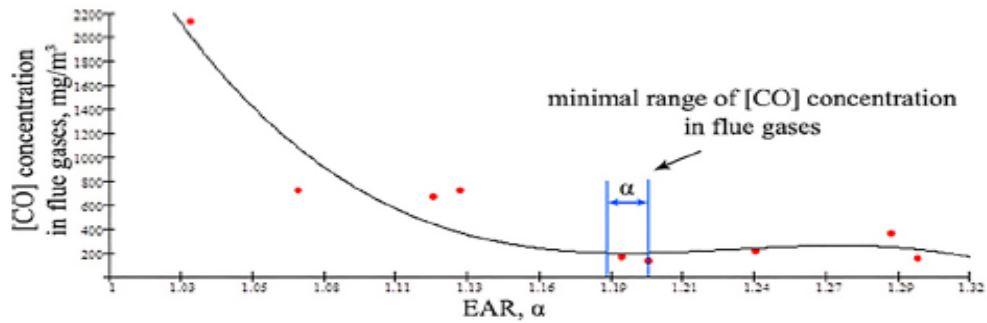


Figura 5 Dependencia de la concentración de CO de EAR en los gases de combustión

3.3 Análisis del funcionamiento de la caldera en base al sistema de control

La Fig. 6 muestra los gráficos experimentales de la dependencia de la potencia de la caldera de la concentración de oxígeno en los gases de combustión.

En el transcurso del experimento se encontró que el sistema de control permite mantener la concentración de oxígeno residual en los gases de combustión al nivel de 3,3-3,5 %, que en los valores EAR es 1,19-1,2. Además, se establece la dependencia del consumo de aire del consumo de combustible en el rango de potencia de la caldera del 10 % al 100 % (Fig. 7).

Apéndice 13. Zhang et al. (2020)

tabla 1

Parámetros de funcionamiento de la caldera.

Parámetros	Valor
Temperatura de los gases de combustión	203,5–209,8 °C
Consumo de gas natural Ratio de exceso de aire	5,14 nm³/ hora 1.2
Carga de caldera	90%

Apéndice 14. Taymarov et al. (2019)

Tabla 4. Datos experimentales en parámetros de trabajo de calderas en varios vapor. cargas en la combustión de aceite combustible M100

Caldera	Cargando D, t/h	exceso de aire coeficiente, -	Dejando gases temperatura t_{yx} , -C	El NO_x contenido en la chimenea gases calculados como $-=1,4 \text{ mg/m}^3$	Eficiencia bruta -, %
TGM-84A	220	1,1	150	339	90,85
	300	1,08	157	351	91,29
	360	1,07	163	360	91,25
	420	1,06	167	365	91,17
TGM-84B	300	1,14	144	520	93,42
	360	1,13	150	545	93,34
	400	1,12	152	555	93,32
	420	1,11	155	565	93,25
TGM-96B	340	1,11	148	333	92,23
	400	1,08	153	331	92,1
PK-47, casa-ing A	186	1,15	154	349	92,6
	255	1,09	155	360	92,8
	313	1,08	159	370	92,7
PK-41, casa-ing A	265	1,12	150	320	92,9
	365	1,09	155	350	92,8
	480	1,08	160	450	92,6
TGME-464 (bajo presión surización con SEGR)	300	1,06	106	240	94,95
	400	1,05	113	300	94,71
	500	1,05	118	370	94,35

Apéndice 15. Gavelan, (2018)

Resultados del muestreo de emisiones gaseosas en el caldero - DESPUES

POLUTO mg/m ³ N	FEC	21/03/2018			PROMEDIO	LMP (2)
	HA					
	HORA	11:49	12:23	12:35		
MP ⁽³⁾		122.04	104.72	131.01	119.26	-
CO		420	380	412	404	500
NO _x		694	820	732	748.6	750
SO ₂		416	456	432	434,7	500
HT ⁽³⁾		17.91	17.90	17.88	17.90	-

(1) Resultados corregidos a condiciones normales de 0°C y 1 atm

además de 3% O₂ de referencia.

Apéndice 16. Tian et al., (2024)

$$E_{CO_2} = \frac{\rho_{CO_2}(1 - \chi_{H_2})}{\eta_{th,HHV}((1 - \chi_{H_2})HHV_{NG} + \chi_{H_2}HHV_{H_2})} \quad (9)$$

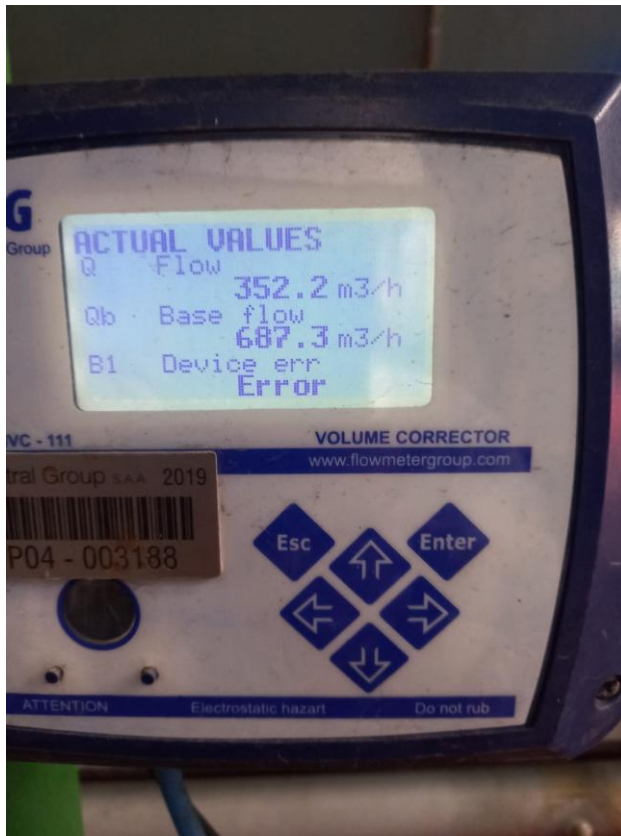
dónde ρ_{CO_2} denota la densidad del CO_2 , kg/m³.

Como se muestra en [Figura 10](#), E_{CO_2} disminuye de 54,5 g/MJ a 0 g/MJ a medida que χ_{H_2} aumenta de 0 a 1. Sin embargo, el CO_2 las emisiones disminuyen aproximadamente un 7% a medida que χ_{H_2} aumenta de 0 a 0,2. Un mejor desempeño en materia de descarbonización aparecería con una mayor χ_{H_2} . La emisión de NO_x de la caldera después de la adición de hidrógeno también se muestra en [Figura 10](#). Cabe mencionar que la emisión de NO_x se convierte a la base de una concentración de oxígeno del 3,5%. La emisión de NO_x aumenta ligeramente desde 28,77 mg/m³ a 34,11 mg/m³ como χ_{H_2} aumenta de 0 a 0,4, luego baja a 11,97 mg/m³ cuando $\chi_{H_2} = 1$. Específicamente, como se muestra en [Figura 8\(c\)](#) y [Figura 10](#), como χ_{H_2} aumenta de 0 a 1, aumenta la temperatura de combustión en el horno y también la producción térmica de NO_x . Sin embargo, como la proporción de exceso de aire es 1,3 y la tasa de recirculación de gases de combustión es alta en todos los casos, la llama

Apéndice 17. Fotos de los trabajos realizados en la regulación de las calderas.



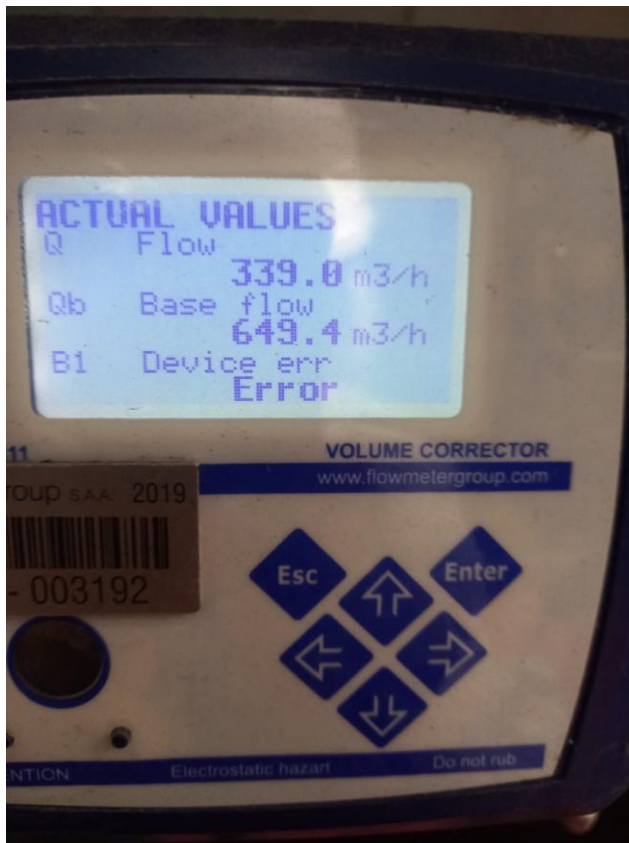
Apéndice 18 consumo antes de regulación llama baja



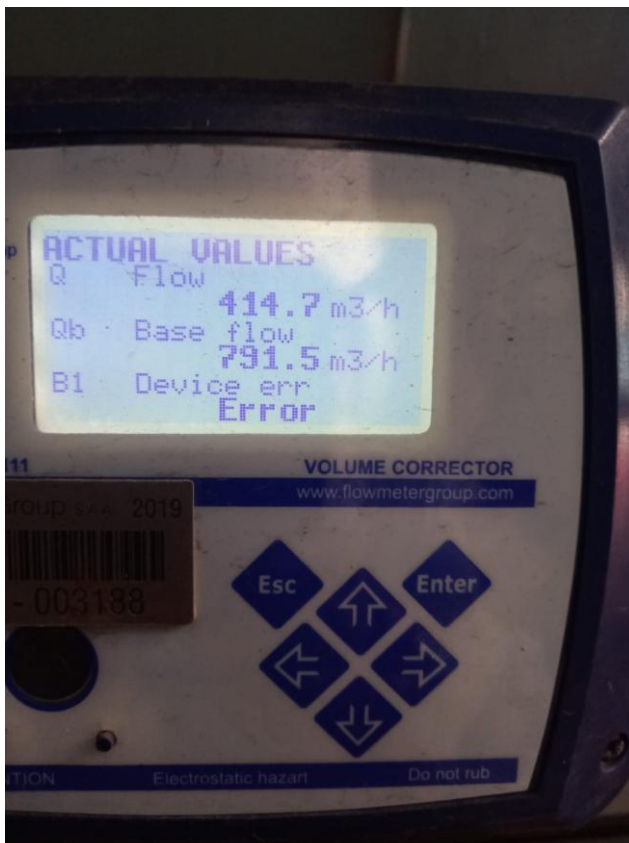
Apéndice 19. Consumo llama alta antes de regulación



Apéndice 20 Consumo llama baja después de regulación



Apéndice 21 Consumo llama alta después de regulación



Apéndice 22 Factura del costo de gas natural del mes de agosto 2021

EGP S.A.C. ESPECIALISTAS EN GAS DEL PERU S.A.C. AV. UNIVERSITARIA SUR 415 Z.1. INDUSTRIAL CRUCE AV MATERIALES LIMA - LIMA - LIMA		FACTURA ELECTRONICA RUC: 20508462027 E001-601																								
Fecha de Emisión	: 31/08/2022	Forma de pago: Crédito																								
Señor(es)	: AUSTRAL GROUP S.A.A																									
RUC	: 20338054115																									
Dirección del Receptor de la factura	: AV. VICTOR A. BELAUNDE 147 CC.EMPRESARIAL REAL VIA PRINCIPAL 123, EDIF. REAL 1 PISO 3 LIMA LIMA SAN ISIDRO																									
Dirección del Cliente	: AV. VICTOR A. BELAUNDE 147 --- - CC.EMPRESARIAL REAL VIA PRINCIPAL 123, EDIF. REAL 1 PISO 3 LIMA-LIMA-SAN ISIDRO																									
Tipo de Moneda	: DOLAR AMERICANO																									
Observación	:																									
Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Valor Unitario	ICBPER																						
1.00	UNIDAD	72.54 MMBTU GAS NATURAL COMPRIMIDO - GNC(1,917.95M3)2DA QUINC DE AGOSTO 2022	1089.09	0.00																						
Valor de Venta de Operaciones Gratuitas : \$ 0.00		<table border="1"> <tr> <td>Sub Total Ventas :</td> <td style="text-align: right;">\$ 1,089.09</td> </tr> <tr> <td>Anticipos :</td> <td style="text-align: right;">\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>Descuentos :</td> <td style="text-align: right;">\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>Valor Venta :</td> <td style="text-align: right;">\$ 1,089.09</td> </tr> <tr> <td>ISC :</td> <td style="text-align: right;">\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>IGV :</td> <td style="text-align: right;">\$ 196.04</td> </tr> <tr> <td>ICBPER :</td> <td style="text-align: right;">\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>Otros Cargos :</td> <td style="text-align: right;">\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>Otros Tributos :</td> <td style="text-align: right;">\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>Monto de redondeo :</td> <td style="text-align: right;">\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>Importe Total :</td> <td style="text-align: right;">\$ 1,285.13</td> </tr> </table>			Sub Total Ventas :	\$ 1,089.09	Anticipos :	\$ 0.00	Descuentos :	\$ 0.00	Valor Venta :	\$ 1,089.09	ISC :	\$ 0.00	IGV :	\$ 196.04	ICBPER :	\$ 0.00	Otros Cargos :	\$ 0.00	Otros Tributos :	\$ 0.00	Monto de redondeo :	\$ 0.00	Importe Total :	\$ 1,285.13
Sub Total Ventas :	\$ 1,089.09																									
Anticipos :	\$ 0.00																									
Descuentos :	\$ 0.00																									
Valor Venta :	\$ 1,089.09																									
ISC :	\$ 0.00																									
IGV :	\$ 196.04																									
ICBPER :	\$ 0.00																									
Otros Cargos :	\$ 0.00																									
Otros Tributos :	\$ 0.00																									
Monto de redondeo :	\$ 0.00																									
Importe Total :	\$ 1,285.13																									
SON: UN MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y CINCO Y 13/100 DOLAR AMERICANO																										
Información del crédito																										
Monto neto pendiente de pago	:	\$ 1,285.13																								
Total de Cuotas	:	1																								
Nº Cuota	Fec. Venc.	Monto	Nº Cuota	Fec. Venc.	Monto	Nº Cuota	Fec. Venc.	Monto																		
1	15/09/2022	1,285.13																								
Esta es una representación impresa de la factura electrónica, generada en el Sistema de SUNAT. Puede verificarla utilizando su clave SOL.																										

Apéndice 23. Instrumento de recolección de datos.

ESCUELA DE POST GRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS UPN

La mezcla de aire y gas natural en la emisión de gases contaminantes en calderas de vapor

Autor:

Bachiller. Soto Primo Miguel Oscar

Instrumento Recolección de Datos

Ficha de recolección de datos de análisis documental pre-estudio

Calderas	Mezcla aire y gas natural		Gases contaminantes	
	Exceso de aire		CO	NOx
Caldera 1				
Caldera 2				
Caldera 3				
Caldera 4				
Caldera 5				
Caldera 6				
Promedio				

Ficha de recolección de datos de análisis documental post-estudio

% exceso de aire	Monóxido de carbono (Co)			Óxido de nitrógeno (NOx)		
	15%	20%	25%	15%	20%	25%
Caldera N° 1						
Caldera N° 2						
Caldera N° 3						
Caldera N° 4						
Caldera N° 5						
Caldera N° 6						
Promedio						

Apéndice 24. Valores críticos de la prueba de la U de mann-whitney

n1 \ n2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2							0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2
3				0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8
4			0	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14
5		0	1	2	3	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	17	18	19	20
6		1	2	3	5	6	7	10	11	13	14	16	17	19	21	22	24	25	27
7		1	3	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
8	0	2	4	6	7	10	13	15	17	19	22	24	26	29	31	34	36	38	41
9	0	2	4	7	10	12	15	17	20	23	26	28	31	34	37	39	42	45	48
10	0	3	5	8	11	14	17	20	23	26	29	33	36	39	42	45	48	52	55
11	0	3	6	9	13	16	19	23	26	30	33	37	40	44	47	51	55	58	62
12	1	4	7	11	14	18	22	26	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69
13	1	4	8	12	16	20	24	28	33	37	41	45	50	54	59	63	67	72	76
14	1	5	9	13	17	22	26	31	36	40	45	50	55	59	64	67	74	78	83
15	1	5	10	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	70	75	80	85	90
16	1	6	11	15	21	26	31	37	42	47	53	59	64	70	75	81	86	92	98
17	2	6	11	17	22	28	34	39	45	51	57	63	67	75	81	87	93	99	105
18	2	7	12	18	24	30	36	42	48	55	61	67	74	80	86	93	99	106	112
19	2	7	13	19	25	32	38	45	52	58	65	72	78	85	92	99	106	113	119
20	2	8	13	20	27	34	41	48	55	62	69	76	83	90	98	105	112	119	127