



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

“Diseño de un lavador de gases para determinar la disminución del material
particulado de la caldera acuotubular n°06 en Agroindustrial Pomalca”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Eléctricista

AUTOR:

Br. Odar Pacherez David (ORCID: 0000-0002-3121-0399)

ASESOR:

Mg. Dávila Hurtado Fredy (ORCID: 0000-0002-8604-8811)

LINEA DE INVESTIGACION:

Diseño Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios, mi Padre Celestial, por estar en todo tiempo conmigo, en la adversidad y en la dicha. ¡Dios es bueno en todo tiempo, en todo tiempo Dios es bueno!

A mis padres, don Floro y doña Maruja, por su apoyo constante a lo largo de todo el proceso de formación.

AGRADECIMIENTO

A mi Dios en primer lugar, el dador de la vida, por sé que tiene buenos planes a futuro para mí y sé que está conmigo a donde quiera que vaya.

A mi familia, mis padres por sus buenos consejos que inspiran a ser un buen profesional, a mis hermanos y a mi bella compañera por su ayuda y apoyo en ocasiones complicadas.

A mi familia cristiana Jesús Luz del Mundo, por instruirme por buen camino, por inculcarme buenos valores y por sus constantes oraciones.

A mis compañeros, amigos y jefes de trabajo por su apoyo a lo largo de la carrera y por sus aportes en esta investigación.

A esta casa de estudios, a los docentes por su apoyo a lo largo de todo el desarrollo de mi formación académica y en especial a los que hicieron posible la culminación de esta investigación, con su asesoría.

PÁGINA DEL JURADO



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ACTA DE SUSTENTACION

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 16:00 horas del día 04 de julio del 2019, de acuerdo a los dispuesto por la resolución de dirección académica N° 1197-2019/UCV-CH, de fecha 03 de julio de 2019, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis titulada: "DISEÑO DE UN LAVADOR DE GASES PARA DETERMINAR LA DISMINUCION DEL MATERIAL PARTICULADO DE LA CALDERA ACUOTUBULAR N°06 EN AGROINDUSTRIAL POMALCA", presentado por el(la) (los) bachiller: **ODAR PACHERREZ, DAVID**, con la finalidad de obtener el título de ingeniero mecánico electricista, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

Presidente : Ing. Fredy Dávila Hurtado
Secretario : Ing. James Skinner Celada Padilla
Vocal : Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

APROBADO POR MAYORIA

Siendo las 16:40 del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 04 de julio de 2019

Ing. Fredy Dávila Hurtado

Presidente

Ing. James Skinner Celada Padilla

Secretario

Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio

Vocal

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Odar Pacherez David**, con D.N.I N° 46318050, bachiller de la Facultad de Ingeniería, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la "Universidad César Vallejo".

Declaro la autenticidad de mi estudio de investigación denominado "DISEÑO DE UN LAVADOR DE GASES PARA DETERMINAR LA DISMINUCION DEL MATERIAL PARTICULADO DE LA CALDERA ACUOTUBULAR N°06 EN AGROINDUSTRIAL POMALCA"; para lo cual, me someto a las normas sobre elaboración de estudios de investigación al respecto.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 15 de Agosto del 2019



Odar Pacherez David

D.N.I : 46318050

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
PÁGINA DEL JURADO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENCIDAD.....	v
ÍNDICE.....	vi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.1.1 A nivel internacional	1
1.1.2 A nivel nacional	2
1.1.3 A nivel Local.....	4
1.2. Trabajos Previos.	5
1.3. Teorías relacionadas al Tema.	6
1.4. Formulación del Problema.....	30
1.5. Justificación del Estudio.....	30
1.5.1 Justificación técnica.....	30
1.5.2 Justificación Social	30
1.5.3 Justificación Económica	30
1.5.4 Justificación Ambiental	31
1.6. Hipótesis.	31
1.7. Objetivos.....	31
II. METODO.	32
2.1. Diseño de Investigación.....	32
2.2. Variables, operacionalización.....	32
2.2.1. Definición Conceptual.	32

2.1.2 Definición Operacional	34
2.3. Población y muestra.....	36
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos, validez y confiabilidad	36
2.4.1 Técnicas	36
2.4.2 Instrumentos.....	36
2.5. Métodos de Análisis de datos	37
2.6. Aspectos éticos	37
III. RESULTADOS	38
3.1 Caracterizar el material particulado en los gases de combustión de la Caldera N°06.	38
3.1.1 Generalidades	38
3.1.2 Calculo del flujo másico de combustible (Bagazo).....	41
3.1.3 Composición de los gases en la chimenea.....	43
3.1.4 Contenido de CO ₂ en los gases de salida.....	46
3.3.5 Composición de los gases y material particulado	46
3.3.6 Flujo másico de los gases de combustión	52
3.2 Calcular los parámetros de funcionamiento del sistema para seleccionar los equipos electromecánico que conforman el lavador de gases.	55
3.2.1 Parámetros para el diseño del lavador de gases	55
3.2.2 Flujo másico de agua para la condensación	58
3.2.3 Etapas del proceso de condensación en el lavador.....	60
3.2.4 Estructura del lavador de gases	63
3.2.5 Tubería de distribución de agua para la condensación.....	72
3.2.6 Ducto de gases.....	73
3.2.7 Bomba de agua de condensación.....	78
3.2.8 Selección de motor para accionar la bomba.....	79

3.3 Determinar la emisión de gases de combustión de la Caldera N° 06, con el empleo del lavador de gases.....	81
3.3.1 Emisión de gases	81
3.3.2 Eficiencia del lavador de gases	83
3.3.3 Determinación de la disminución de material particulado en los gases de combustión de la caldera N° 06.....	90
3.4 Realizar evaluación económica del lavador de gases.	91
IV. DISCUSION.....	98
V. CONCLUSIONES	99
VI. RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS.	101
ANEXOS	103
ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	119
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV	120
AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de ingenios azucareros de caña / país.....	1
Tabla 2. Ingenios azucareros en Perú y contaminante.....	3
Tabla 3. Análisis típico del bagazo.	7
Tabla 4. Propiedades y características de la ceniza.	13
Tabla 5. Sistemas de depuración de gases.	18
Tabla 6. Características de una torre de limpieza.	21
Tabla 7. Datos de operación de la Caldera Acuotubular N 06.	40
Tabla 8. Estado actual de la Caldera - Equipos.	41
Tabla 9. Valores medios, composición química del Bagazo.	42

Tabla 10. Análisis de temperatura y CO ₂ en los gases de salida.....	44
Tabla 11. Relación entre el cont. de CO ₂ en los gases y el exceso de aire.	46
Tabla 12. Diferentes tamaños de partículas.	48
Tabla 13. Características y propiedades e las cenizas.	49
Tabla 14. Caracterización de los gases de combustión.....	53
Tabla 15. Datos de opeacion de la Caldera N 06.	55
Tabla 16. Peso y volumen de gases de combustión, aire y agua.	81
Tabla 17. Composición de los gases de combustión.	82
Tabla 18. Cantidad de emisiones en un segundo, hora y año.	83
Tabla 19. Cantidad de sólidos no quemados por segundo, hora y año.	83
Tabla 20. Distribución del tamaño de partícula.....	84
Tabla 21. Diametro promedio de gotas.....	85
Tabla 22. Distribución del particulado y eficiencia global del lavador.	90
Tabla 23. Cantidad de gases que no se emitirán al medio ambiente.	90
Tabla 24. Cantidad de solidos no quemados que no se emitirán al medio ambiente.....	91
Tabla 25. Costo de equipos y herramientas para la fabricación.	92
Tabla 26. Costo de materiales de todo el sistema.	93
Tabla 27. Costo de equios y accesorios.	94
Tabla 28. Costo de montaje.	95
Tabla 29. Costo de mano de obra.	95
Tabla 30. Costo de EPP.	96
Tabla 31. Costo total del lavador de gases.....	96

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Equipos afectados por la emisión de material particulado y ceniza.....	4
Figura N° 2. Partícula y fibra de bagazo.	7
Figura N° 3. Esquema del hogar de una caldera bagacera.....	9
Figura N° 4. Sólidos de bagazo no quemados.....	12
Figura N° 5. Muestra de bagazo y cenizas.....	14
Figura N° 6. Tamaño típico de las partículas.....	15
Figura N° 7. Ilustración, comparación de las partículas.	15
Figura N° 8. Ceniza (x 100).....	16
Figura N° 9. Proceso de absorción y adsorción.	17
Figura N° 10. Multiciclones de colección de partículas.	19
Figura N° 11. Torre de limpieza, Scrubbers.	20
Figura N° 12. Remoción de los gases con particulado.....	22
Figura N° 13. Esquema del lavador de gases.....	25
Figura N° 14. Diferentes boquillas de aspersion.....	26
Figura N° 15. Diferentes aspectos de la ceniza de bagazo de caña.....	49
Figura N° 16. Morfología de solido no quemado (x 2000).....	50
Figura N° 17. Muestra de material particulado inquemado.....	51
Figura N° 18. Emisiones de la Caldera N 06.	51
Figura N° 19. Balance de energía en el lavador de gases.	60
Figura N° 20. Diagrama de condensación del lavador.....	61
Figura N° 21. Desarrollo lineal del condensador.	64
Figura N° 22. Valor de k para obtener la longitud efectiva.	70
Figura N° 23. Módulo de elasticidad de algunos materiales.....	71
Figura N° 24. Desarrollo lineal del ducto de gases.....	77
Figura N° 25. Esquema de instalación, motor - bomba.	80

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Flujo másico del combustible (Bagazo).....	19
Ecuación 2. Poder calorífico inferior del Bagazo (PCI).	19
Ecuación 3. Peso total de los gases de combustión.	90
Ecuación 4. Peso de gas Nitrogeno.....	121
Ecuación 5. Peso de gas Oxigeno.	21
Ecuación 6. Peso de gas Agua.	21
Ecuación 7. Peso de gas Acido Carbónico.	21
Ecuación 8. Coeficiente de exeso de aire	21
Ecuación 9. Relación aire - combustible.	17
Ecuación 10. Relación gas - combustible.	22
Ecuación 11. Volumen de los gases secos.....	22
Ecuación 12. Volumen de CO ₂	22
Ecuación 13. Volumen de CO ₂	23
Ecuación 14. Sólidos no quemados.	23
Ecuación 15. Flujo másico de los gases de combustión.	27
Ecuación 16. Flujo volumétrico de los gases de combustión	27
Ecuación 17. Eficiencia del lavador de gases.	32
Ecuación 18. Parametro de impacto.	33
Ecuación 19. Flujo másico de agua para la condensación.....	60
Ecuación 20. Velocidad de los gases.	61
Ecuación 21. Diametro del condensador y ducto de gases.	36
Ecuación 22. Cantidad de soldadura a utilizar.....	36
Ecuación 23. Seccion necesaria para una columna.....	37
Ecuación 24. Longitud efectiva de una columna.....	37
Ecuación 25. Relación de esbeltez para una columna.	37

Ecuación 26. Análisis de columnas.	38
Ecuación 27. Análisis para columnas cortas.....	38
Ecuación 28. Potencia de la bomba de agua	39

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Temperatura de rocío de los gases de combustión.	23
Gráfica 2. Horas de trabajo de la Caldera N 06 - 2017	82

RESUMEN

En la investigación presente, se desarrolla el diseño de un lavador de gases para la Caldera N° 06 en agroindustrial Pomalca, con el fin de determinar la disminución del material particulado, contenido en los gases de combustión. Estos gases son producidos por la ignición del bagazo en los hornos de la caldera y que son expulsados al exterior. Teniendo en cuenta la normativa ambiental vigente, es necesario agregar un equipo para contrarrestar las emisiones que generan impacto ambiental y a la salud de las personas.

Se presenta la propuesta y para diseñar el lavador de gases, se calculó la cantidad de bagazo como combustible que ingresa a la caldera (10,433 tn/h de bagazo de caña); para poder hallar la cantidad de los gases combustión – flujo másico (58,942 tn/h); para luego caracterizar (tamaño, apariencia) y cuantificar el material particulado. Se recurrió a datos propios del laboratorio del ingenio, CO₂ y la temperatura de salida de los gases de la Caldera No 06.

A partir de la cantidad de gases emitidos por la caldera, se dimensiona la torre de limpieza, teniendo un diámetro de 2,5 m y una altura de 7 m. Se calculó el flujo volumétrico de agua (0,0356 m³/s) para la condensación de los gases cargados de particulado, distribuido por una serie de tuberías e inyectado a presión, a través de 6 boquillas aspersoras, distribuidas de manera que cubran toda el área del lavador.

Luego se detalla la eficiencia de recolección del lavador (90%) de gases, haciendo una comparación entre las emisiones iniciales que genera la caldera sin el lavador de gases, y las emisiones con el lavador de gases; reduciendo significativamente.

Para terminar, se presenta el análisis de costos, teniendo en cuenta que en este proyecto no se determinara la viabilidad económica, ya que por fines económicos no se garantiza el retorno de la inversión; por tal motivo se recomienda a la empresa optar por la afiliación al mercado de bonos de carbono, ya que estos brindan un incentivo económico por cada tonelada de CO₂ no emitida.

Palabras claves: Lavador de gases, gases de combustión, material particulado, eficiencia de colección, bonos de carbono.

ABSTRACT

In the present investigation, the design of a gas scrubber for Caldera N ° 06 in agroindustrial Pomalca is developed, in order to determine the reduction of the particulate material, contained in the combustion gases. These gases are produced by the ignition of the bagasse in the furnaces of the boiler and that are expelled to the outside. Taking into account the current environmental regulations, it is necessary to add a team to counteract the emissions that generate environmental impact and the health of people.

The proposal is presented and to design the gas scrubber, the amount of bagasse was calculated as fuel entering the boiler (10,433 tn / h of cane bagasse); to be able to find the quantity of combustion gases - mass flow (58,942 tn / h); to then characterize (size, appearance) and quantify the particulate material. We used data from the laboratory of the mill, CO₂ and the exit temperature of the boiler gases No 06.

From the quantity of gases emitted by the boiler, the cleaning tower is dimensioned, having a diameter of 2.5 m and a height of 7 m. The volumetric flow of water (0.0356 m³ / s) was calculated for the condensation of the particulate charged gases, distributed by a series of pipes and injected under pressure, through 6 spray nozzles, distributed in such a way that they cover all the Washer area.

Then the collection efficiency of the scrubber (90%) of gases is detailed, making a comparison between the initial emissions generated by the boiler without the scrubber, and the emissions with the scrubber; significantly reducing

To finish, the cost analysis is presented, taking into account that in this project the economic viability will not be determined, since for economic purposes the return of the investment is not guaranteed; For this reason, the company is recommended to opt for the carbon credits market affiliation, since these provide an economic incentive for each ton of CO₂ not emitted.

Keywords: Gas scrubber, combustion gases, particulate material, collection efficiency, carbon bonds.

I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Realidad Problemática

1.1.1 A nivel internacional

Uno de los productos principales e indispensables en la alimentación mundial es el azúcar, y para su obtención el 70% proviene de la caña de azúcar (FAO 2004). Actualmente hay 121 países productores de azúcar; siendo Brasil, Australia, Cuba, Tailandia, México y Sudáfrica los mayores productores y por consiguiente exportadores, con una contribución de 120 millones de toneladas anuales de azúcar para el consumo humano; es por ello la importancia mundial de la industria azucarera.

Tabla 1. Cantidad de ingenios azucareros de caña / país.

CANTIDAD DE INGENIOS AZUCAREROS DE CAÑA / PAÍS						
N° Países	País	Cantidad	Observaciones	N° Países	País	Cantidad
1	India *	571	*Aproximado	15	Mauricio	12
2	Brasil	417		16	Ecuador	8
3	Pakistán	76		17	Perú	12
4	México	57		18	Honduras	7
5	Tailandia	43		19	Bolivia	7
6	Cuba*	47	*Instalados 156	20	Rep. Dominicana	7
7	Australia	30		21	Paraguay	6
8	USA	25		22	Nicaragua	4
9	Argentina	23		23	Panamá	4
10	Costa Rica	19		24	Haití	4
11	Sudáfrica	14		25	Barbados	3
12	Venezuela*	15	*Instalados 19	26	Trinidad Tobago	2
13	Colombia	13		27	Uruguay	1
14	Guatemala	12				

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO)

En toda industria y en actividades humanas se desarrollan procesos que inapelablemente generan fuentes de contaminación y que impactan de manera directa al medio ambiente, como ejemplo amplio y considerable tenemos a los ingenios azucareros, donde para su proceso de elaboración cuentan con calderas acuotubulares industriales para generar energía en el proceso de elaboración del azúcar enviando sus emisiones de gases a la atmosfera. Dichos gases son generados por la combustión del combustible (bagazo), estos son se originan en los hogares de las calderas como producto del proceso de cogeneración de un ingenio azucarero.

Cuando se quema biomasa hay presencia de óxidos de nitrógeno (ONx) y óxidos de azufre (OZx), producto de la incineración a alta temperatura. La ceniza del bagazo produce altos contenidos de ceniza volante. También contiene CO₂ contribuyendo de manera directa al efecto invernadero, de este modo al calentamiento global. Además la polución de bagazo particulado afecta a la salud humana, ocasionando un padecimiento llamado neumonitis. Pero no hay no mal uso de generación por biomasa sino mal controlado, es por ello que siguiendo normativas y tratados, como el “Tratado de Paris contra el cambio climático”, a favor del medio ambiente se opta por la alternativa de sistemas de control para la emisión de gases y material particulado producidos por los ingenios azucareros a nivel mundial.

1.1.2 A nivel nacional

El eslabón primario en el Perú, lo constituyen los productores de azúcar, siendo la región de La Libertad la mayor productora de azúcar, contando con tres ingenios: Casa Grande, Cartavio y Laredo; seguido por las regiones de Lambayeque, con cuatro ingenios: Pomalca, Tumán, Pucala y Agro Olmos; Lima, tres dos ingenios: Andahuasi, Paramonga, El Ingenio; Ancachs con un ingenio: San Jacinto; Arequipa, con un ingenio: Chucarapi y recientemente Piura, con dos ingenios: Agro Aurora y Caña Brava. En las últimas décadas las industrias azucareras mejoraron su posición, algunas mejoraron su infraestructura y equipos incrementando su producción.

Es conjeturable que esto ha sido posible mediante la presión de los ingenios azucareros sobre los recursos, seguido de la contaminación ambiental que estos ocasionan en la producción del azúcar. Para las industrias azucareras en el Perú, los impactos al medio ambiente varían, dependiendo de los equipos de control para contrarrestar la contaminación que estas tienen.

Tabla 2. Ingenios azucareros en Perú y contaminante.

FACTOR AMBIENTAL CONTAMINADO - AIRE		
REGIÓN	EMPRESA	CONTAMINANTE
Lambayeque	Púcala	Ceniza / Humo
Lambayeque	Tumán	Ceniza / Humo / Particulado
Lambayeque	Pomalca	Ceniza / Humo / Particulado
Lambayeque	Agro Olmos	Particulado
La Libertad	Casa Grande	Particulado
La Libertad	Cartavio	Particulado
La Libertad	Laredo	Humo
Ancash	San Jacinto	Ceniza / Humo
Lima	Paramonga	Humo
Lima	Andahuasi	Ceniza / Humo
Piura	Caña Brava	Particulado
Piura	Agro Aurora	Ceniza / Humo

Fuente: Dueñas [et al]. 2017

El 41,66 % de la contaminación atmosférica emitida por los ingenios es con cenizas y humo, 25 % con humo y 8,3 % para solo humo o solo ceniza. Siguiendo con las normativa legal impuesta por el Ministerio de Ambiente, en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, Aceptan Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire. Esta normativa es obligatorio y se aplica para variables que determinan las emisiones de las actividades extractivas, de servicio y productivas. Es así que se obliga a las industrias a repeler las emisiones de gases y particulado proveniente de la combustión del bagazo en los hornos de sus calderas.

1.1.3 A nivel Local

El ingenio azucarero de Pomalca, está situado en el distrito de Pomalca a 20 minutos de Chiclayo, cuenta con un ritmo de molienda de 3.500 Tn / día de caña de azúcar. En promedio produce 7300 saquetas de azúcar de 50kg c/u. Cuenta con cuatro calderas acuotubulares de fabricación BABCOCK & WILCOX, modelo STERLING 1959, con una capacidad de 28 Tn/ Hr de vapor, combustible bagazo. Una de estas calderas llamada “Caldera N° 06” no cuenta con un sistema de lavado de gases. Estos gases son producidos por la combustión del bagazo en sus hogares expulsados por la chimenea. Los gases con material particulado y ceniza volante son emitidos a la atmosfera de acuerdo a la dirección del aire, afectando al ambiente y directamente a los lugareños de la zona y también a los mismos trabajadores del área de calderas. Además de este problema a la salud humana, afecta directamente a los equipos de la misma caldera por emanación de particulado, humo y ceniza volante al área de calderas; en especial al ventilador Tiro Inducido de la caldera acortándole su vida útil producto de la abrasión de estos.

Según la normativa vigente es un problema grave de este ingenio, afectando directamente al medio ambiente y sobre todo a la salud de los trabajadores y personas de alrededor; por lo que es necesario instalar un sistema de lavado de gases para esta caldera.



Figura N° 1. Equipos afectados por la emisión de material particulado y ceniza.

1.2. Trabajos Previos.

Al respecto existen varias investigaciones que se han concretado y que argumentan y sustentan este proyecto de investigación.

Prado (2016) en su tesis “Rediseño del sistema de depuración de gases de combustión del incinerador del centro de desarrollo tecnológico sustentable (CDTS)” menciona: la finalidad del rediseño es proponer un dimensionamiento apropiado para que el equipo de remoción de particulado y gases sea eficiente. Se examina diferentes alternativas de recolección de particulado; teniendo en cuenta criterios técnicos de fabricación y económicos. Todo esto considerara las regulaciones ambientales vigentes.

Según Martínez (2010). Sostiene que: Con el objetivo de coleccionar, atrapar, remover los contaminantes emitidos por las industrias en sus procesos; deberá de contar de un equipo adicional, el control agregado es equipo que se implementa al proceso. La elección del tipo de equipo para mitigar la contaminación depende de varios agentes o factores, entre los más importantes es saber si el contaminante a capturar es partícula o gas. (p. 11).

Por otro lado Lucas et al. (2012). Menciona que “debido a que muchas industrias en sus procesos trabajan con combustión incompleta cual fuese el tipo de combustible a utilizar; ha sido cuestionada duramente, en el enfoque medio ambiental, por los constantes daños que ocasiona las emisiones, perjudicando severamente el entorno natural. Ha sido un tema de debate en los diferentes tratados, es por ello que nace la necesidad de crear, diseñar equipos de remoción y colección de material particulado (lavadores de gases), implementados en las industrias, instalándolos en la salida de hornos, cumpliendo con la normativa ambiental vigente”. (p. 1)

También tenemos a Valiente (2012). En su tesis “Diseño de un colector tipo ciclón de hollín para las chimeneas de las calderas y plan de contingencia para la empresa productos alimenticios centroamericanos, s. a.”, donde menciona que su proyecto trata de minimizar la emisión de hollín de las chimeneas de las calderas, diseñando

un ciclón que pueda funcionar con dos calderas simultáneamente, de esta manera contribuir con la conservación del medio ambiente. (p. 42)

Así mismo Jiménez (2012), en su tesis: “evaluación de la eficiencia de remoción de material particulado y dióxido de azufre (so₂) en un lavador tipo Venturi para una caldera que emplea carbón como combustible”, las torres de limpieza permiten atrapar partículas de pequeños tamaños, gracias a la eficiencia alta que caracteriza a estos sistemas de depuración húmeda. Estos equipos son de bajo consumo de energía y se puede colectar particulado de hasta 5 µm.(p.14)

La Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (Monitoreo de emisiones de material particulado de chimeneas de generadores de vapor de la industria azucarera en Tucumán, R. Argentina 2012. Por lo general en la operación de las calderas bagaceras, los ingenios tienen que mitigar la contaminación, utilizando dispositivos separadores de partículas ya sea por ciclones o lavadores; pero lamentablemente su instalación es limitada. (p.2)

1.3. Teorías relacionadas al Tema.

Bagazo

Es el sobrante de la caña de azúcar, al pasar por un procedimiento de extracción, está compuesto principalmente por estos elementos:

- Sólidos diluídos: 1.5 – 6%
- Contenido de fibra: 39-53%
- Contenido de agua: 48-53%

“En el bagazo se diferencian dos tipos de fibras, la verdadera y la medula (ubicada en la parte media de los tallos. Al procedimiento de extracción o molienda ingresa la caña de azúcar y se extrae del mismo, bagazo y jugo mixto”. (Alderetes, 2016, p. 28). Bagazo, material fibroso que sale de la planta de extracción, es muy adecuado para su uso como combustible. Eso tiene un tamaño, se transporta y almacena fácilmente, tiene poder calorífico, es bajo en cenizas y contiene pequeñas cantidades de

contaminantes ambientales como nitrógeno y azufre. La ceniza total en el bagazo generalmente promedia 1.5 a 3.0%, pero a veces es mucho más alto. (Howard et al. 1991, p. 62).



Figura N° 2. De izquierda a derecha: partícula y fibra de bagazo.

“El bagazo como combustible es relativamente adecuado para fines de combustión, debido a que los metales alcali, son filtrados en el proceso extractivo de molienda, dejando u ceniza rica en sílice.”

(Rein et al. 2012, p. 710).

Tabla 3. Análisis típico del bagazo.

	SECO, LIBRE DE CENIZAS EN %	HÚMEDO, COMO SE QUEMA EN %
ANÁLISIS PRÓXIMO		
Humedad		52.00
Carbono fijo	12.94	5.95
Volátiles	87.06	40.05
Cenizas		2.00
	100.00	100.00
ANÁLISIS ÚLTIMO		
Humedad		52.00
Carbono	47.89	22.04
Hidrógeno	5.92	2.72
Nitrógeno	0.33	0.15
Azufre total	0.05	0.02
Oxígeno	45.81	21.07
Cenizas		2.00
	100.00	100.00

Fuente: Rein [et al]. 2012

Flujo másico de combustible (Bagazo)

Es la cantidad de bagazo que es el combustible quemado en kg/h.

(Hugot, 1963, p. 642).

$$m_c = \frac{m_v * (h_{vs} - h_a)}{PCI * \eta} \quad \text{Ecu 1}$$

Donde:

m_c = Flujo másico de combustible

m_v = Flujo másico de vapor

h_{vs} = Entalpía de vapor sobrecalentado

h_a = Entalpía de agua de alimentación

PCI = Poder Calorífico Inferior

η = Rendimiento de la Caldera.

Poder calorífico inferior (PCI)

“Señala la cantidad de calor que puede proporcionar el combustible (bagazo), cuando en la combustión se forma agua; así en el bagazo hay agua y está presente en estado de vapor”. (Hugot, 1963, p. 621).

$$PCI = 17793,9 - (50,20 * s) - (203 * w) \text{ kJ/ kg} \quad \text{Ecu 2}$$

S = Sacarosa 3,39

w = Humedad 0,5 g

Combustión del bagazo

La combustión, puede ser abordada desde dos puntos de vistas como fenómeno fisicoquímico:

- **Estático:** que comprende a los balances estequiométricos de masas y de energía, describiendo los estados iniciales y finales del proceso y las cantidades puestas en juego.
- **Dinámico:** que abarca fenómenos térmocinéticos y aerodinámicos de la combustión, en donde intervienen la velocidad, el espacio y el tiempo así como variables esenciales.

Para los cálculos de combustión se emplean tres leyes fundamentales de la Termodinámica, a saber:

Principio de Conservación de la Masa: nos permitirá calcular la cantidad de aire necesaria para lograr su combustión completa, como así también, la composición y cuantificar los gases de combustión y cenizas producidas.

Primer Principio de la Termodinámica: es el principio de conservación de la energía que permitirá conocer las cantidades de energía introducidas, absorbidas y pérdidas durante el proceso de combustión y las temperaturas desarrolladas en el mismo. Es esencial para los calcular el rendimiento de la caldera y la transferencia de calor del equipo.

Segundo Principio de la Termodinámica: permitirá conocer la eficiencia termodinámica que conlleva al proceso de transformar la energía química en calor, y su transferencia, desde los hornos donde combustiona el bagazo hasta las todas las superficies de calefacción. (Alderetes, 2016, p. 28).

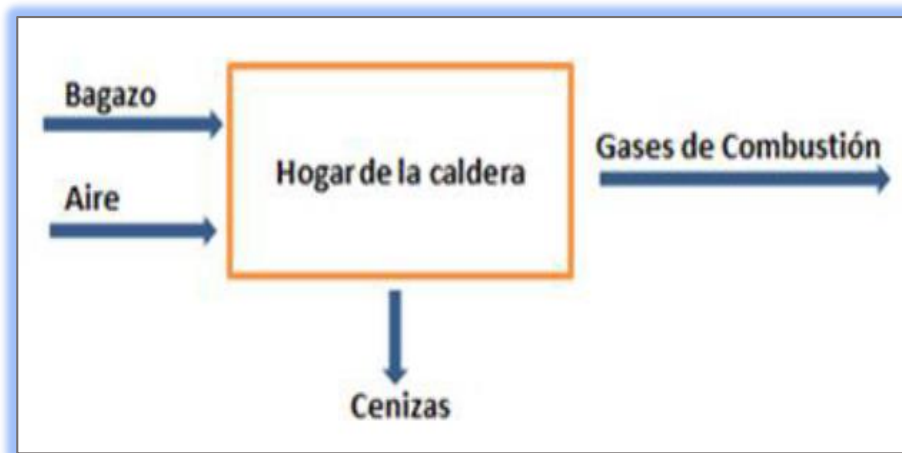


Figura N° 3. Esquema del hogar de una caldera bagacera.

Composición de los gases

Total del peso de los gases emitidos por la caldera en la combustión de 1 kg de bagazo . (Hugot, 1963, p. 626).

$$P_a = 5.75(1 - w)m - 1$$

Ecu 3

Donde:

P_a = Peso total de los gases

w = Humedad de bagazo

m = Relación del peso de aire empleado entre peso de aire necesario

El peso individual de los gases:

a) Nitrógeno, N_2 :

$$N_2 = 4.42(1 - w)m \quad \text{Ecu 4}$$

b) Oxígeno, O_2 :

$$O_2 = 1.33(1 - w)(m - 1) \quad \text{Ecu 5}$$

c) Agua, H_2O :

$$H_2O = .585(w - 1) + w \quad \text{Ecu 6}$$

d) Acido carbónico, CO_2 :

$$CO_2 = 1.72(1 - w) \quad \text{Ecu 7}$$

Coefficiente de exceso de aire

“Es necesario suministrar cierto exceso de aire para no dejar bagazo inquemado, obteniendo así una combustión completa, permitiendo así que todo el carbono se convierta en CO_2 . En la realidad es imposible quemar bagazo suministrando solamente la cantidad de aire necesario, de esta forma sería combustión incompleta y pobre”. (Hugot, 1963, p. 625).

$$m = \frac{21}{21 - O_2} \quad \text{Ecu 8}$$

Donde:

m = Coeficiente de exceso de aire

O_2 = Porcentaje de oxígeno

Relación aire – combustible

Es la cantidad en masa de aire aspirado por el motor tiro forzado para una cantidad unitaria de combustible (bagazo) para la caldera.

$$R_{a-cb} = 5,75 (1 - w) m \quad \text{Ecu 9}$$

Donde:

R_{a-cb} = Relación aire – combustible

w = Humedad del bagazo

m = Coeficiente de exceso de aire

Relación gas – combustible

Es la cantidad en masa de gases de combustión generada por una cantidad unitaria de combustible (bagazo). (Hugot, 1963, p. 634).

$$R_{gc-cb} = 5,75 (1 - w) m + 1 \quad \text{Ecu 10}$$

Donde:

R_{gc-cb} = Relación gases de combustión – combustible

w = Humedad del bagazo % 0,50

m = Coeficiente de exeso de aire 1,69

Contenido de CO₂ en los gases de salida

Como se mencionó anteriormente para poder obtener una combustión sin una notable formación de CO, se necesita suministrar un diminuto exceso de aire.

“Según varios autores como Reinz, Gregory, Hedley, el contenido teórico máximo de CO₂ en los gases de salida, es de 19,6%”. (Hugot, 1963, p. 627).

Volumen total de los gases secos (V_{gs})

$$V_{gs} = 4,47 (1 - w) m - 0056 (1 - w) \quad \text{Ecu 11}$$

Donde:

w : Humedad de bagazo en relación a la unidad.

m : Exceso de aire.

Volumen de CO₂

$$\begin{aligned} Vol CO_2 \text{ en los gases} &= 1,72 (1 - w) * 0,509 \\ &= 0,875 (1 - w) \end{aligned} \quad \text{Ecu 12}$$

Contenido de CO₂ en volumen en los gases:

$$\gamma = \frac{0,875 (1 - w)}{V_{gs}} \quad \text{Ecu 13}$$

Se han efectuado pruebas recientes, en hogares modernas y arrojan un 16% de CO₂. “Es posible no producir solidos no quemados o gases, manteniendo una proporción del 15% de CO₂”. (Eigenhuis, 1937, p.477)

Gases de combustión

El peso total de los gases dado por la combustión de un kg de bagazo está conformado por:

Sólidos no quemados

Las calderas bagaceras producen ligeras cantidades de hidrocarburos inquemados en forma de compuestos orgánicos volátiles. (Hugot, 1963, p. 633).

$$\alpha = \frac{\rho * 4600 * (1 - w)}{(4250 - 4850 * w - q) * \beta * \eta} \quad \text{Ecu 15}$$

Donde:

α = Coeficiente de solidos no quemados

ρ = Eficiencia de la caldera

w = Humedad del bagazo

q = Calor sensible de los gases

β = coeficiente de radiación ($\beta = 0,92$)

η = coeficiente de mala combustión ($\eta = 0,92$)



Figura N° 4. Sólidos de bagazo no quemados.

Residuos de la combustión

Uno de los productos que se determina en el balance de masas como resultantes de la combustión, son las llamadas cenizas. En general se distinguen dos tipos de cenizas:

- 1) cenizas secas de fondo
- 2) cenizas secas volantes

Las primeras corresponden a las acumuladas y recogidas en el hogar y las segundas a las más livianas arrastradas por los gases y recolectadas en los diferentes sistemas de captación de partículas. (Alderetes, 2016, p. 74).

Tabla 4. *Propiedades y características de la ceniza.*

PROPIEDADES CARACTERISITICAS DE LA CENIZA				
Densidad relativa cenizas secas kg/m	Densidad relativa cenizas secas kg/m	pH	Calor específico kcal/kg °C	Color
570 - 650	730 - 850	11.5 - 12	0.2 - 0.3	Blanco a grisáceo oscuro

Fuente: Alderetes 2016

Ceniza volante

“Según la norma española UNE – EN – 450, define a la ceniza volante (C.V) como un polvo fino, conteniendo partículas amorfas, cristalinas, producto de la combustión del carbón.”(AENOR, 2013, *UNE-EN 450-1*).

Las cenizas volantes que entran en el sistema de absorción, pueden formar espumas, que producen erosión y corrosión en las columnas. En los procesos de combustión, las cenizas se eliminan en colectores antes de entrar en el proceso de desulfuración. (Romero, Díez y Lisbona, 2010, p. 60).



Figura N° 5. Muestra de bagazo y cenizas.

Emisiones y manejo de residuos

“La concentración de emisiones en chimeneas se define de tres formas, sea en términos de volumen o de masa por unidad de volumen de gases de combustión, o como masa por unidad de energía alimentada a la caldera.” (Rein, 2012, p. 745).

Según la ASTM (sociedad americana para pruebas y materiales), el rango de material particulado producto de la combustión que puede emitir una caldera bagacera, van desde cifras elevadas como 24000 mg/m^3 , como también cifras de 4000 hasta 12000 apropiadamente.

- Contenido de humedad y cenizas en el combustible.
- Tamaño de partícula del combustible.
- Capacidad y tipo de parrilla.
- Diseño y tipo del hogar de combustión.
- Capacidad de la caldera.

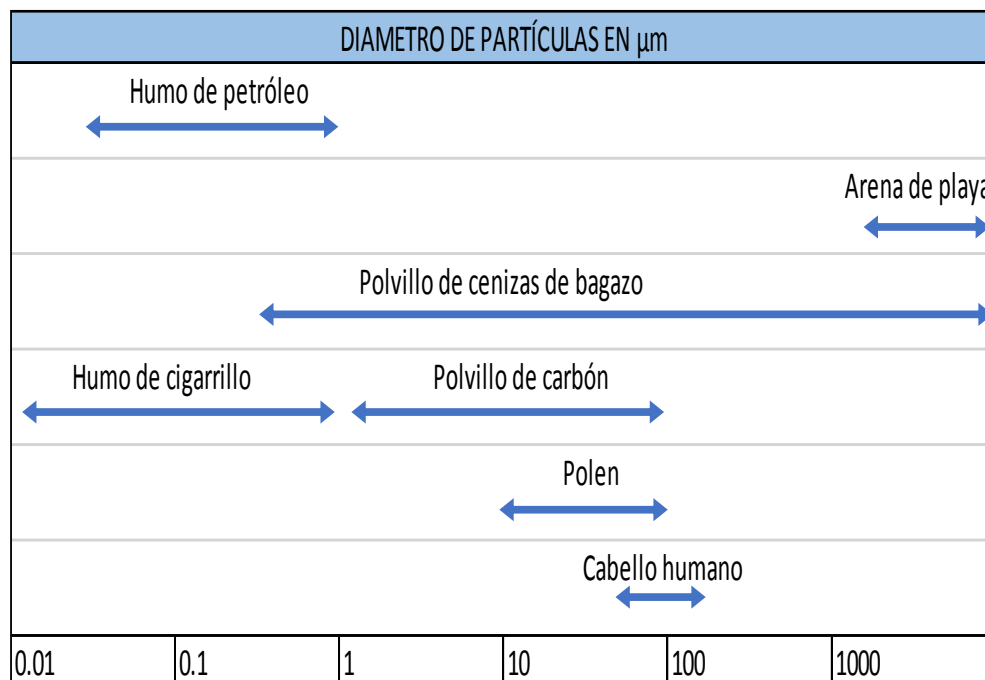


Figura N° 6. Tamaño típico de las partículas.

Alrededor del 15 al 25 % de los residuos a desechar se presentan como cenizas de tamaño de partícula grande, es decir, en la tolva de cenizas.



Figura N° 7. Ilustración, comparación de las partículas.

Material particulado

Se considera material particulado a cualquier materia presente en los gases en estado líquido o sólido, siendo estos los derivados de la combustión. Los análisis mediante microscopía electrónica del material particulado emitido por la chimeneas de las diferentes industrias, demuestra la existencia de partículas de morfología esférica y naturaleza en vítrea en algunos casos.

(Castells, 2005, p. 269).

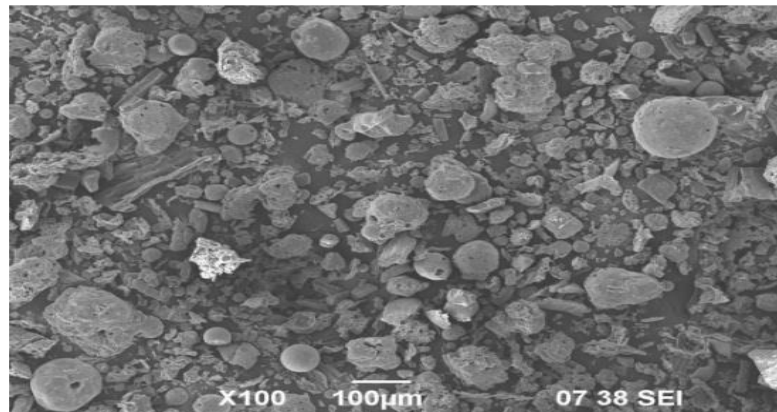


Figura N° 8. Ceniza (x 100)

Causas de la emisión de material particulado

Son muchas las industrias que emiten material particulado, resulta interesante citar que las tres principales causas de emisión de partículas son: evaporación de agua, crepitación y los gases. Otras causas de emisión de particulado, se debe a la emisión de gases, que en su flujo arrastran determinadas partículas.

(Castells, 2005, p. 268).

Flujo másico de los gases de combustión

$$m_{gc} = m_c * (1 + R_{ac}) \quad \text{Ecu 16}$$

Donde:

m_c = Flujo másico de combustible

R_{ac} = Relación aire – combustible

Flujo volumétrico de los gases de combustión

$$V_{gc} = \frac{m_{gc}}{\delta_{gc}} (m^3/s) \quad \text{Ecu 17}$$

Donde:

V_{gc} = Flujo volumétrico de gases de combustión

δ_{gc} = Densidad de los gases de combustión (según tabla)

m_{gc} = Flujo másico de gases de combustión

Sistema de eliminación de gases

Existen gases contaminantes que juntos con los gases de combustión necesitan ser eliminados antes de salir a la atmosfera, se menciona dos procesos de eliminación de gases:

➤ **Procesos de absorción**

Consiste en poner en contacto la corriente de gas que se va a depurar con un líquido en el que se disuelven los gases que se desean eliminar; es decir de fase gaseosa a fase líquida. Los equipos para esta operación son llamados lavadores de gases o scrubbers.

➤ **Proceso de adsorción**

Es la concentración de determinados contaminantes presentes en la corriente gaseosa sobre la superficie de un sólido de nombre adsorbente, mientras que la sustancia retenida se denomina adsorbato. Se puede realizar inyectando una mezcla de carbón activo al paso de los gases.

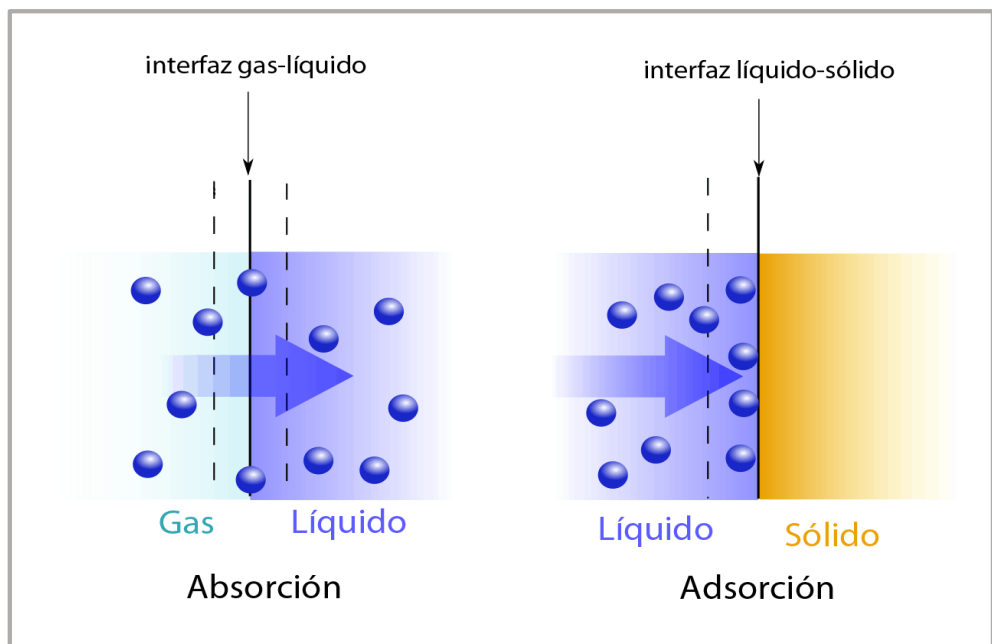


Figura N° 9. Proceso de absorción y adsorción.

➤ **Procesos de reducción**

Es la transformación del contaminante en un compuesto no tóxico por reacción. Por ejemplo de los óxidos de nitrógeno, se puede transformar en nitrógeno.

➤ **Sistemas combinados**

Método seco: Se lleva a cabo la adición de absorbentes en estado sólido a la corriente gaseosa. Se puede realizar con filtro de mangas o precipitador electrostático.

Método semiseco: Similar al seco, pero el absorbente utilizado se presenta diluido en agua y se aplica inyectándose mediante pulverizadores.

Método húmedo: Utilizando lavadores para captar las partículas, si el agua contiene neutralizante, puede utilizarse para llevar a cabo la limpieza de gases ácidos.

Combinación de métodos: Son los más eficientes y permiten la mayor cantidad de captación de material particulado y limpieza de gases.

(Colomer y Gallardo, 2013, p. 244).

Tabla 5. *Sistemas de depuración de gases.*

SISTEMAS DE CAPTACION DE PARTICULAS: CENIZAS VOLANTES	SISTEMAS DE DEPURACION DE GASES
Colectores de inercia y centrífugos	Procesos de absorción
Filtros de tejido	Procesos de adsorción
Precipitadores electrostáticos	Procesos de reducción
Lavadores y absorbedores húmedos	Sistemas combinados

Fuente: Hontoria [et al]. 2000

Limpieza de gases

Vista la necesidad de restringir la concentración de los contaminantes a los valores establecidos por las leyes, se tendrá que elegir un equipo de control y separación de las emisiones. (Alderetes, 2016, p. 494).

Existen varias maneras de hacerlo:

- Ciclones secos
- Multiciclones
- Filtros de manga
- Scrubbers (lavadores de gases)
- Precipitador electrostático

Equipos separadores de partículas

El más difundido colector de partículas, es el ciclón, que puede ser usado exitosamente donde:

- El polvo debe recogerse en forma seca
- Existan temperaturas altas
- Concentraciones de partículas elevadas
- Gases bajo alta presión
- Partículas o gases que pueden ser corrosivos en medio húmedo.

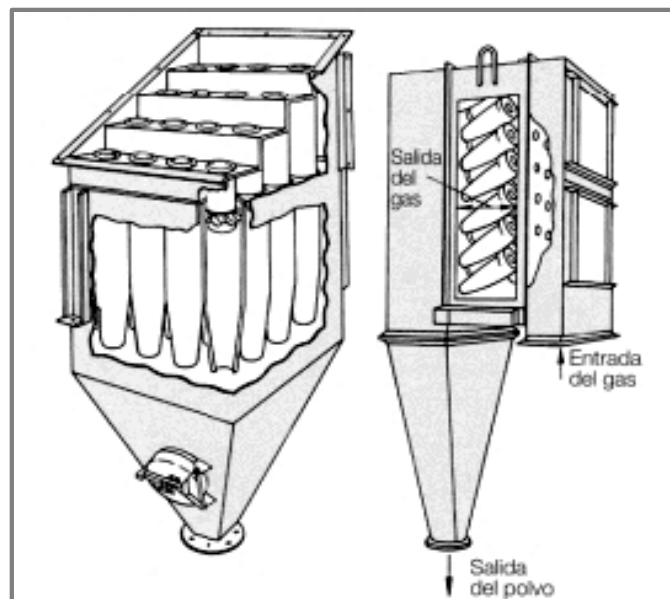


Figura N° 10. Multiciclones de colección de partículas.

Otro de los equipos muy difundidos en la industria son los lavadores de gases húmedos (wet scrubbers) que pueden actuar como separador complementario del multiciclón o bien usarse como equipo único.

Existen varios diseños de scrubbers pero los tipos más difundidos son:

- Torres spray
- Placas tamizadas irrigadas
- Venturi Scrubbers

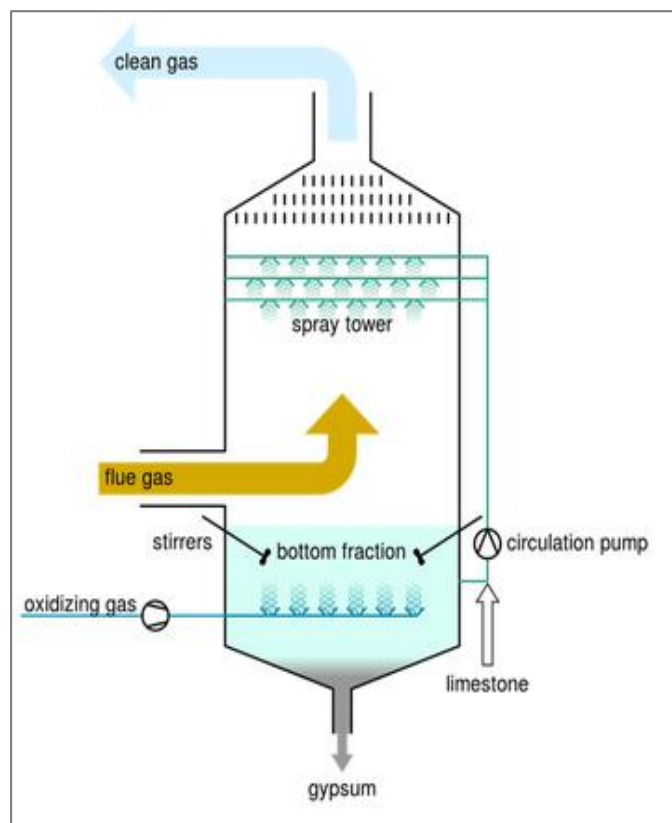


Figura N° 11. Torre de limpieza, Scrubbers.

“Para tener en cuenta la eficiencia de remoción del material particulado concentrado en los gases, se tiene que tener en cuenta el rango de la dimensión de la partícula en los gases de combustión. La eficiencia también puede variar de acuerdo al tipo de torre de condensación, desde 99% por Venturi hasta 40-60% en torres de limpieza sencillas”. (Mussatti, 2002, p. 2-7).

“Los depuradores húmedos o torres de limpieza por aspersión, son la alternativa más eficiente para la colección de material particulado, cuyo fruncimiento radica en la inyección de un líquido removedor de partículas, este actúa en contracorriente con el flujo de gases cargados de material particulado, impactando para luego caer por gravedad al fondo del condensador.” (Kenneth y Warner, 1990, p. 256).

Tabla 6. Características de una torre de limpieza.

CARACTERISTICAS DE LA TORRE DE LIMPIEZA	
Capacidad máxima	2800 m ³ /min
Velocidad de los gases	30 - 60 m/min
Concentración de partículas	mayores de 1 gramo/pie ³
Tamaño de partículas captadas	Diametro mayor a 10 micras
Caída de presión	0.7 - 2.5 pulgadas de agua
Consumo de agua	65 - 260 l 1000 m ³ /gas
Eficiencia aproximada	$\eta = 90\%$

Fuente: Hontoria [et al]. 2000

“La presión hidráulica aplicada al líquido actúa como energía almacenada. Cuando el líquido presurizado destella de la boquilla de pulverización, la energía almacenada se gasta en produciendo un spray. La alta velocidad relativa entre el líquido y los alrededores. El gas causa una acción de cizallamiento que rompe el líquido en pequeñas gotas. El efecto neto es que el área de la superficie del líquido aumenta de manera que el gas o gases contaminantes pueden absorber fácilmente”. (Schiffne, 2013, p. 128)

Lavadores de gases

Es un sistema que captura las partículas presentes en los humos al poner en contacto la corriente de gas sucio con gotas de líquido. La mayor parte de las partículas finas se adhieren a una gota de líquido, si entran en contacto con ella.

(Colomer y Gallardo, 2013, p. 247).

Eficiencia del lavador de gases

“La eficiencia de remoción de una torre de limpieza, vendría hacer la cantidad de material particulado en los gases, atrapado por el lavador o condensador de gases”. (Mussatti, 2002, p. 2-28).

Según H.E, Air Pollution Control. EE.UU 1979 y W.T, Air Pollution its origin and control. 1998, detalla los rangos de 0,625 a 100 μm de diámetros de partículas, como el porcentaje en masa de cada rango. Donde la eficiencia global de remoción de material particulado está determinado por:

$$\eta_0 = \sum n_j * m_j \quad \text{Ecu 18}$$

Donde:

n_j = eficiencia de colección para el j-ésimo rango

m_j = masa en porcentaje del j-ésimo rango

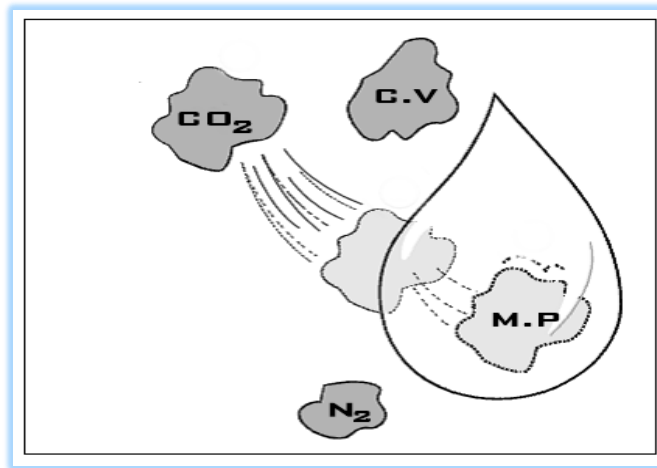


Figura N° 12. Remoción de los gases con particulado.

Relación Líquido – Gas (L/G)

“Es el volumen de líquido suministrado por volumen de gas residual tratado”. (Mussatti, 2002, p. 2-32).

Parámetro de impacto

$$K_p = \frac{da^2 * V_p}{9 * \mu_g * d_a} \quad \text{Ecu 19}$$

Donde:

V_p = velocidad de partícula

d_d = diámetro de las gotas

μ_g = viscosidad del gas, Poise

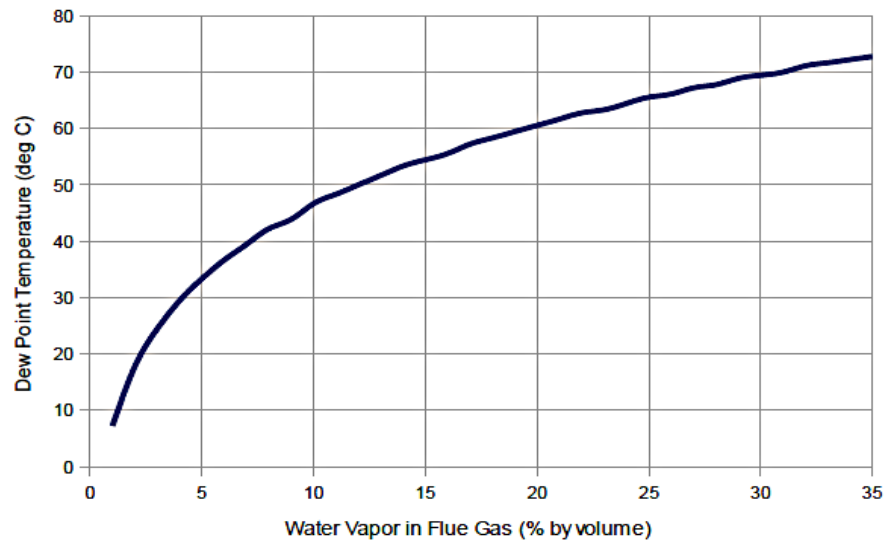
d_a = diámetro aerodinámico de partícula

Punto de rocío de los gases

“El punto de rocío de una sustancia en estado gaseoso es la temperatura a la cual la presión parcial del vapor de una sustancia se hace igual a la presión de saturación de esa sustancia en un gas inerte. Por debajo de esta temperatura comienza el proceso de condensación de dicha sustancia.

(Cherkaouil, 1997, p. 774).

Gráfica 1. Temperatura de rocío de los gases de combustión.



Fuente: Engineering ToolBox, (2003)

Flujo másico de agua para la condensación

“Es la volumen de agua necesaria inyectada para la condensación de los gases cargador con material particulado”. (Hugot, 1963, p. 569).

$$m_{gc} * (h_{gc} - h_{gr}) + m_{agua-gc} * I_v = \dot{m}_{ac} * C_{pa} * (t_r - t_{ag}) \quad Ecu 20$$

Donde:

\dot{m}_{ac} = Flujo másico de agua necesaria para la condensación kg/s

\dot{m}_{gc} = Flujo másico de los gases de combustión kg/s

h_{gc} = Entalpía de los gases de combustión

h_{gr} = Entalpía del gas de combustión a temperatura punto de rocío

$\dot{m}_{agua-gc}$ = Flujo másico de agua en los gases combustión kg/s

I_v = Calor latente de condensación

C_{pa} = Calor específico medio del agua de condensación

t_r = Temperatura de rocío

t_{ag} = Temperatura del agua ingresada al lavador

Etapas del proceso de condensación en el lavador

La presión, la temperatura y el número de etapas, como también la velocidad de flujo y la composición de la alimentación han de estar bien establecidas antes de intentar un diseño mecánico. Por lo tanto es necesario construir un equipo, que sea fácil de operar, seguro y confiable; con el número de etapas necesario para la condensación de gases contaminantes y sobre todo que sea económico.

(Henley y Seader, 1968, p. 52).

El número de etapas ayudará considerablemente en el diseño, y hará que sea eficiente en la recolección del particulado y condensación de los gases.

Se puede agregar a la torre de limpieza, platos deflectores; para poder disminuir la velocidad de ingreso de los gases contaminantes, para después en lo alto colocar toberas aspersores de líquido para condensación de los gases, entonces se podría decir que este lavador tiene dos etapas.

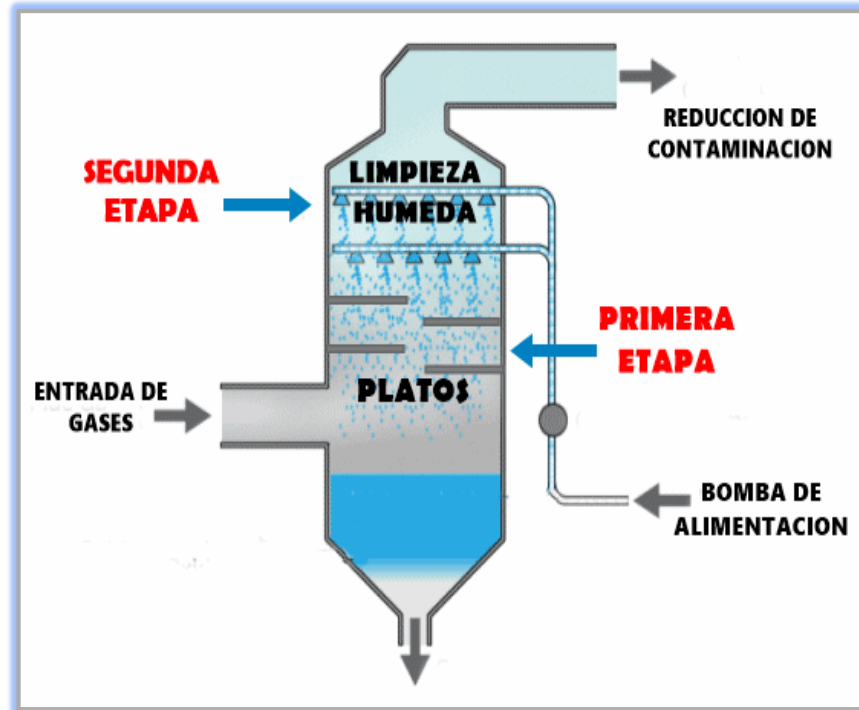


Figura N° 13. Esquema del lavador de gases

Velocidad de los gases

Con ayuda de la ecuación del caudal, despejamos la velocidad y reemplazamos la sección transversal en función del diámetro, para determinar la velocidad del gas en esta etapa.

$$V_{gas} = \frac{\dot{m}_{gc} * 4}{\pi * D^2 * \rho} \text{ m/s} \quad \text{Ecu 21}$$

Donde:

V_{gas} = Velocidad de los gases

\dot{m}_{gc} = Flujo de gases en la segunda etapa

D = Diámetro del lavador de gases

ρ = Densidad de los gases

Boquillas aspersores de agua

“En la parte superior del condensador se instala una serie de tuberías con un solo diámetro, donde se instalan toberas o boquillas aspersoras de líquido a presión, distribuidas en tres bolillo.” (Hugot, 1963, p. 594).



Figura N° 14. Diferentes boquillas de aspersión.

Diámetro del lavador

“El diámetro de la columna (lavador de gases), puede calcularse del área de la sección transversal.” (Wiley Barbour [et al.], 1995, p. 19).

$$\phi_L = \sqrt{(4 * A_{ent}) / \pi} \quad \text{Ecu 22}$$

Cantidad de soldadura a utilizar

$$m_{sold} = \frac{L_T * h * b * \rho_{sold}}{\eta_p * f_p} \quad \text{Ecu 23}$$

Donde:

m_{sold} = Masa de la soldadura (kg)

L_T = Longitud de cordones de soldadura (m)

h = Garganta de la soldadura

b = Ancho del cordón de soldadura

ρ_{sold} = Densidad de la soldadura

η_p = Eficiencia del proceso

f_p = Factor de penetración

Columnas

“Se considera columna a un segmento parcialmente largo; que está sometido a cargas a compresión, y hacen que por pandeo e inestabilidad elástica, es mas probable que fallen” (Mottt, 1996, p. 513).

La sección necesaria que la columna necesita para soportar la carga del lavador está en función al esfuerzo admisible del material.

$$S_{nec} = \frac{F * FS}{\sigma} \quad \text{Ecu 24}$$

Donde:

S_{nec} = La sección necesaria de la columna (cm²)

F = Fuerza a la que está sometida la columna (dN)

FS = Factor de seguridad

σ = Esfuerzo admisible del material

Longitud efectiva

Con el producto del factor de fijación de extremos y la longitud real de la columna se obtendrá la longitud efectiva.

$$L_E = k * L \quad \text{Ecu 25}$$

Relación de esbeltez

Es la división entre la longitud efectiva y el radio mínimo de giro; también se le llama razón de transición.

$$\text{Relación de Esbeltez} = \frac{L_E}{r_{min}} \quad \text{Ecu 26}$$

Análisis de columnas

Métodos para analizar columnas:

- **Para columnas esbeltas y largas:** Cuando la relación de esbeltez real es mayor que la constante de columna. (Formula de Euler)

- **Para columnas cortas:** Cuando la relación de esbeltez real es menor que la constante de columna. (Formula de J.B Johnson)

“Para elegir el método apropiado, se debe tener en cuenta el valor de relación de esbeltez real de la columna que se desea analizar, comparándolo con la constante de columna.” (Mottt, 1996, p. 518).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{S_y}} \quad \text{Ecu 27}$$

Donde:

C_c = Relación de esbeltez de transición.

E = Modulo de elasticidad del material de la columna (GPa)

S_y = Resistencia a la fluencia del material (MPa)

Formula de J.B. Johnson para columnas cortas

El objetivo de análisis y diseño para columnas es asegurar que la carga que se desea aplicar a una columna sea fiable y por ende que sea menor a la carga critica de pandeo.

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y * (SR)^2}{4\pi^2 * E} \right] \quad \text{Ecu 28}$$

Donde:

P_{cr} = Carga critica de la columna

A = Area de la seccion transversal

S_y = Resistencia a la fluencia del material

SR = Relación de esbeltez

E = Modulo de elasticidad

Bomba de agua

“la función principal de las bombas centrífugas es ganar carga estática de un determinado fluido, procedente de una energía mecánica de su eje, acoplada a un motor.” (Polo, 1976, p. 39).

La potencia absorbida por una bomba centrífuga es obtenida mediante la siguiente formula:

$$P_B = \frac{Q * H * g}{1000 * \eta} \quad (kW) \quad \text{Ecu 29}$$

Donde:

P_B = Potencia (kW)

δ = Densidad del agua (m³/kg)

Q = Caudal de agua de enfriamiento (m³/s)

H = Altura del sistema (m)

g = Gravedad (m²/s)

η = Eficiencia de la bomba

Selección del motor eléctrico

Para elección del motor, se consideran estos factores:

- Tipo de motor
- Frecuencia y voltaje de operación
- Velocidades nominales y potencia
- Número de polos.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \varphi \quad (kW) \quad \text{Ecu 30}$$

Donde:

P = Potencia en kw

V = Voltaje o tensión en voltios (V)

I = Corriente en amperios (A)

$\text{Cos } \varphi$ = Factor de potencia

1.4. Formulación del Problema

¿En qué medida se reducirá el nivel de concentración y contaminación de material particulado y ceniza volante emitidas por la combustión de los hogares, diseñando un lavador de gases para la Caldera N° 06 en Agroindustrial Pomalca?

1.5. Justificación del Estudio.

1.5.1 Justificación técnica

Mediante el diseño de lavado de gases para la caldera N° 06, se podrá concentrar un alto porcentaje de material particulado y residuos de ceniza volante del bagazo abrasado, desarrollando ingeniería de acorde a la necesidad de la caldera, para poder aprovechar sus propiedades químicas y darle uso como abono natural a los campos entre otros con tecnología propia.

1.5.2 Justificación Social

El diseño del lavador de gases de la caldera N° 06 permitirá reducir la concentración inicial de material particulado y ceniza, logrando aliviar los reclamos de la población de Pomalca, afectados por el tizne que llegan a sus viviendas dependiendo de la dirección y velocidad del aire.

También cabe señalar que gracias a este sistema de colección de partículas, el trabajador mejorará el nivel de confort y mejores condiciones en su ambiente de trabajo realizando sus operaciones en el proceso de manera óptima; ya que actualmente hay malestar por parte de los operarios siendo afectados por el bagacillo, humo y ceniza volante provenientes de la chimenea de la caldera N° 06 como producto de la combustión del bagazo.

1.5.3 Justificación Económica

A pesar de ser Pomalca uno de los ingenios más importantes en la producción de azúcar en el norte del país no cuenta con sistema de control para las emisiones atmosféricas de particulado, aun cuando otros ingenios producen menos y ya cuentan con ello.

Gracias a este diseño se evitará la imposición de multas que van desde hasta tres Unidades Impositivas Tributarias (UIT), según el Ministerio de Ambiente Decreto

Supremo N° 003-2017-MINAM, lo cual reflejará un beneficio de ahorro económico a esta agroindustria.

Por otro lado gracias a este sistema de lavado de gases se controlará las estas emisiones que son fuente de enfermedades, una de ellas llamada y conocida como bagazosis, causando en la persona un mal llamado neumonitis por hipersensibilidad; afectando directamente a las vías respiratorias. En consecuencia la empresa ahorraría por atención médica a trabajadores afectados.

Además de salvaguardar la salud de los trabajadores, también se conservaran los equipos ya que están expuestos a la ceniza, como también alargar la vida útil del ventilador tiro inducido de la caldera afectado por la abrasión de particulado.

1.5.4 Justificación Ambiental

Mediante el diseño del lavador de gases se reducirá el nivel inicial de las emisiones y se evitará la contaminación ambiental producto del material particulado y ceniza volante que afecta a la misma planta y zonas de población aledañas.

Por otro lado Agroindustrial Pomalca se está adecuando al PAMA (Programa de Adecuación y Manejo Ambiental); lo cual conlleva a la empresa a priorizar acciones necesarias e incorporar a todas las operaciones que se realizan en todo el proceso, alternativas de solución para mitigar y disminuir estas emisiones contaminantes.

1.6. Hipótesis.

El diseño de un lavador de gases reducirá las concentraciones de material particulado y ceniza volante al exterior, provenientes de la combustión en los hogares de la caldera.

1.7. Objetivos.

Al concluir esta investigación se deben lograr estos objetivos:

1.7.1 General

Diseñar un lavador de gases para determinar la disminución del material particulado de la caldera acuotubular N°06 en agroindustrial Pomalca 2018

1.7.2 Específicos

- 1.** Caracterizar el material particulado (tamaño y cantidad) en los gases de combustión de la Caldera N°06.
- 2.** Calcular los parámetros de funcionamiento del sistema para seleccionar los equipos electromecánicos que conforman el lavador de gases.
- 3.** Determinar la reducción de las emisiones de gases.
- 4.** Realizar evaluación económica del lavador de gases.

II. METODO.

2.1. Diseño de Investigación.

No experimental.

Considerando que el propósito de esta investigación son los gases de combustión de la Caldera Acuotubular N° 06 de 28 tn / hr de vapor; a la cual se diseñara un sistema de lavado de gases para la colección de material particulado y ceniza volante; se considera del tipo aplicativa y descriptiva.

2.2. Variables, operacionalización.

2.2.1. Definición Conceptual.

La investigación es no experimental ya que se evaluará y se diseñara un sistema de lavado de gases para reducir la emisión de material particulado y ceniza volante en los gases de combustión de la Caldera Acuotubular N° 06 en el área de Fábrica; con la recolección de datos (mediciones) y acontecimientos suscitados en la combustión de la caldera, permitiendo evaluar las variables mediante el cual se realizará el diseño del sistema de lavado de gases.

Esta investigación es aplicativa ya que se utilizarán los conocimientos previos adquiridos en la formación académica para diseñar un sistema de lavado de gases para la Caldera Acuotubular N° 06 en el área de Fabrica; y descriptiva ya que se medirá la cantidad de los gases de combustión del bagazo y los gases de emisión de la caldera permitiendo evaluar las variables mediante el cual se realizara el diseño del equipo de limpieza.

- **Variable independiente:** Diseño de un lavador de gases para la Caldera Acuotubular N° 06.

- **Variable dependiente:** Material particulado.

2.1.2 Definición Operacional

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTOS
<p>Variable Independiente: Diseño de un lavador de gases para la Caldera Acuotubular N° 06</p>	<p>El sistema de lavado de gases permite atrapar material particulado y ceniza volante. Su funcionamiento consiste en rociar agua dentro del dispositivo por donde pasa el gas, atrapando la partícula por choque o proximidad. Según la normativa actual impuesta por el MINAM cada caldera deberá estar implementada con un sistema de lavado de gases. (Elaboración propia)</p>	<p>El particulado que está contenido en los gases de combustión son atrapados mediante el proceso de absorción, donde el contaminante es atrapado mediante gotas de agua pequeñas. Los equipos de aspersión o torres de condensación tienen una eficiencia desde el 60% hasta 99%.</p>	<p>Aspectos mecánicos</p> <p>Aspectos térmicos</p>	<p>Caudal de gases de combustión.</p> <p>Cantidad de material particulado y CV extraída.</p> <p>El flujo de líquido de limpieza (H₂O).</p>	<p>Cuantitativa</p> <p>- Cantidad de gases producto de la combustión</p> <p>-Cantidad de particulado colectado Kg</p> <p>-Volumen de líquido inyectado (gal/ft³)</p>	<p>Guía de Observación</p>

<p>Variable Dependiente: Los gases de combustión de la caldera Material particulado</p>	<p>Mediante el proceso de cogeneración los ingenios azucareros generan contaminación a la atmosfera como producto de la quema del bagazo, estos gases de combustión emitidos son, ceniza volante, hollín como partículas de carbono que se presencian en el humo, también las partículas de bagazo no quemado, arena y arcilla, como material orgánico, entre otros. (Elaboración propia)</p>	<p>Para generar vapor se necesita de energía, que proviene de la energía química del bagazo la cual se libera en el proceso de combustión. Los gases de combustión se generan en los hornos de las calderas en donde intervienen elementos como el bagazo y el aire de combustión.</p>	<p>Características de los gases de combustión Características físicas del material particulado</p>	<p>-Flujo másico de la combustión. -Cantidad de material particulado (ppm)</p>	<p>Cuantitativa -Caudal de gases de combustión (m3/hora) -Cantidad de sólidos en suspensión (ppm) -Flujo másico de cenizas Kg/hora</p>	<p>Guía de Observación.</p>
--	---	--	---	---	---	-----------------------------

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Población y muestra.

2.3.1. Objeto de análisis (OA).-.

El objeto de análisis, para presente investigación es la emisión de material particulado y ceniza volante en los gases de combustión de la Caldera Acuotubular N°06.

2.3.2. Población (N).-.

Se tomará como población a la caldera bagacera acuotubular N°06 de marca Babcock & Wilcox, con una capacidad de 25 tn/hr de vapor.

2.3.3. Muestra (n).-.

Se considerará como muestra a la caldera bagacera acuotubular N°06 de 25 tn/hr de vapor.

2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas

Se utilizarán las siguientes técnicas realizadas en campo:

a.) Observación

- Tomar datos de planta de fuerza, temperatura, presión de vapor, presión de agua de alimentación, temperatura de gases de salida.
- Observar la operación de la caldera y en qué estado se encuentra.

b.) Análisis Documentario

- Históricos de mantenimiento y operación de la Caldera.
- Datos técnicos de la caldera.

2.4.2 Instrumentos

Es muy importante la toma de datos, en diferentes tiempos para analizar la caldera, para esta investigación se utilizarán los siguientes instrumentos, para hacer más sencillo el acopio de datos:

a.) Guía de observación:

1. Salida de gases de combustión de la Caldera

La presente guía de observación está conformada en tres partes.

- I.** Se describe las características de la caldera y datos generales.
- II.** Se aprecia el nombre del tesista.
- III.** Se reporta la cantidad de material particulado contenido en los gases de combustión, que expulsa la caldera.

2. Estado actual de la Caldera

La presente guía de observación nos da a conocer los diferentes equipos que conforman la Caldera N°06 y su situación actual en operación.

3. Histórico laboral y mantenimiento recibido de la Caldera

En esta ficha nos dará a conocer el mantenimiento que ha recibido la Caldera N°06 en los últimos meses.

2.5. Métodos de Análisis de datos

Para el análisis de datos se emplearán los cálculos para el desarrollo metodológico del presente proyecto de investigación.

2.6. Aspectos éticos

En esta investigación el autor muestra resultados certeros y confiables, por lo que considera el respeto a la propiedad intelectual.

III. RESULTADOS

3.1 Caracterizar el material particulado en los gases de combustión de la Caldera N°06.

3.1.1 Generalidades

Breve descripción general de la Empresa

El desarrollo de la investigación se realiza en el Ingenio Agroindustrial de Pomalca, ubicado en el distrito de Pomalca, km 7 carretera Chiclayo - Chongoyape.

La Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A., es una entidad privada dedicada principalmente a la actividad del cultivo de la Caña de Azúcar, a la transformación y comercialización externa e interna de Azúcar Rubia, con una participación de 8,2% de producción de azúcar en el mercado de la industria nacional peruana.

Actualmente, esta agroindustria tiene un ritmo de molienda de 3400 toneladas de caña por día y una producción en promedio de 6800 bolsas de azúcar de 50kg.

Cuenta con 2500 trabajadores actualmente en diferentes áreas: campo, administración, servicentro y fábrica.

Descripción del Área de Fábrica

Ubicada en el km 7 carretera a Chongoyape, con un ritmo de molienda de 3400 toneladas por día, con 26 días de trabajo y 4 días para reparación mensual y una parada programada anual de 30 días.

Cuenta con 350 trabajadores en tres turnos rotativos; dividida en 6 secciones: Trapiche, Planta de Fuerza, Calderas, Elaboración, Laboratorio, Maestranza y Almacén.

El ingenio cuenta con una batería de 7 molinos de 3 masas accionados con motores de corriente continua de velocidad variable. La planta de fuerza cuenta con 4 turbogeneradores con una capacidad total de 16 600 kW; y 2 grupos electrógenos auxiliares con una capacidad de 750 kW. Actualmente están en operación 2 turbogeneradores contando con una capacidad de 11 100 kW para el proceso de elaboración, también cuenta con cuatro calderas con una capacidad de 85 tn/h de vapor para generar energía eléctrica y también para el proceso de azúcar rubia doméstica.

Descripción de la sección Calderas

Encargada de la generación de vapor para planta de fuerza y todo el proceso del azúcar, con una capacidad de generación actual de 75 tn/h. Cuenta con cuatro calderos acuotubulares, utilizando como combustible el bagazo propio de molienda extraído por los 7 molinos de trapiche.

Caldero N°01, 02, 04 de fabricación Babcock & Wilcox, modelo Sterling, año de fabricación 1948, con una capacidad de 24, 4 tn/h y una presión de 40 Kg/cm², de tres domos superiores y uno inferior con tubería de agua de 3 ¼” y Caldero N°06 también de fabricación Babcock & Wilcox, modelo Sterling, año de fabricación 1959, con una capacidad de 29.5 - 31.75 tn/h y una presión de 40 Kg/cm², de tres domos superiores y uno inferior con tubería de agua de 3 ¼”.

También cuenta con una sala de bombeo, con cuatro motor - bomba y una turbo – bomba, trabajando motor – bomba N° 04 de 500 GPM y motor de 450 Hp, abasteciendo agua para los cuatro calderos en línea.

Situación actual Caldera Acuotubular N° 06

La Caldera N°06 de la E.A.I Pomalca, es el objeto de estudio donde se desarrolla la investigación con una capacidad de diseño de 70 000 lbs/hr, actualmente es de 25 tn/h, con una presión de trabajo de 40 kg/cm² y una temperatura de 382°C, utiliza el bagazo, producto de la extracción en trapiche, como combustible.

Esta caldera es de tipo acuotubular, cuenta con 640 tubos de agua SHD 40 de Ø 3 ¼”, tiene un calentador de aire, que consta de 824 tubos de 2 ½” SHD 40 y un economizador, que tiene 24 serpentines de tubos de 2” SHD 80. Su banco de generación consta de 58 serpentines de tubos de 2” SHD 80. Cuenta con tres motores que accionan al Tiro Inducido, motor de 200 hp – 1170 rpm; Tiro Forzado, motor 125 hp – 900 rpm y Aire Secundario, motor 40 hp – 1170 rpm.

Cuenta con tres con tres hornos Cook o también llamados de herradura, donde el bagazo (combustible), cae directamente del alimentador al hogar en forma de pila, donde se produce la combustión necesaria para el proceso de cogeneración.

Tabla 7. *Caldera Acuotubular N 06 – Datos de operación..*

DATOS DE OPERACIÓN DE LA CALDERA N ° 06		
ITEM	PARAMETRO	CANT. UNID
1	Presión de trabajo	40 kg f / cm ²
2	Vapor producido	25 tn / h
3	Temperatura vapor	370 ° C
4	Combustible	Bagazo
5	Temperatura del bagazo	35 ° C
6	Temperatura de flama	900 ° C
7	Temperatura aire caliente	140 - 160 ° C
8	Temperatura de agua de alimentación	105 ° C

Fuente: Sección Calderas, generación de vapor Pomalca.

Esta caldera de fabricación Babcock & Wilcox, modelo Sterling, año de fabricación 1959; cuenta con tres domos superiores (tambores de vapor) y un domo inferior (tambor de lodos) colgante, de 2 ½” espesor de la placa de domo, contando con 16 filas de 39 tubos de 3 ¼” 8 SWG cada una. También tiene calentador de aire con 828 tubos de 2 ½” 7 SWG.

Cuenta con tres ventiladores centrífugos necesarios para la combustión del bagazo en los hogares; ventilador tiro forzado accionado por un motor de 150 Hp, ventilador tiro inducido accionado por un motor de 200 Hp y ventilador de aire secundario accionado por un motor de 40 Hp.

A continuación, se presenta todos equipos que conforman la Caldera N° 06 y su situación operacional actual, con 600 horas de trabajo continuo.

Tabla 8. Estado actual de la Caldera - Equipos.

	ESTADO ACTUAL – CALDERA N° 06
---	--------------------------------------

EQUIPOS	OPERATIVO	INOPERATIVO
Tiro Inducido	X	
Tiro Forzado	X	
Aire Secundario	X	
Alimentadores de Bagazo	X	
Hogar	X	
Parrillas	X	
Soplador de Hollín		X
Válvula de seguridad	X	
Válvula de partida	X	
Economizador		X
Calentadores de Aire	X	
Sobrecalentador	X	
Tubería alimentación de agua	X	
Domos	X	
Colector de vapor	X	
Cenicero	X	
Mampostería	X	
Chimenea	X	
Purgas	X	
Válvulas de alivio		X

Fuente: Área de mantenimiento de E.A.I Pomalca - Calderas.

3.1.2 Calculo del flujo másico de combustible (Bagazo)

El bagazo es el producto de la extracción del jugo de la caña de azúcar, este es molido en trapiche y es transportador por conductores en forma de fibra hacía los

tres hornos de herradura donde se realiza la combustión para la generación de vapor.

Hugot (1972, p.620). Para la composición química del bagazo, existe una diferencia no muy considerable según los diferentes autores. Para los cálculos se ha tomado los valores medios según el Manual de Ingenieros de Hugot.

Tabla 9. *Valores medios, composición química del bagazo.*

C	Carbón	47%
H₂	Hidrogeno	6.5%
O₂	Oxigeno	44%
ε	Cenizas	2.5%
		100%

Fuente: Hugot, 1963

Para obtener el valor de la humedad, se recurrió a datos históricos de los últimos cinco meses (fuente laboratorio de E.A.I Pomalca). Este dato se registra a cada hora y depende del estado en que trabajan los molinos, para la buena extracción. Entonces el valor promedio del bagazo es 50%.

Se puede decir que el bagazo que ingresa como combustibles a los hornos de la caldera tiene un alto porcentaje de humedad.

➤ **Rendimiento de la Caldera**

Según el área de mantenimiento las calderas N° 06, tienen una eficiencia máxima de 35.2%.

➤ **Poder calorífico inferior (PCI)**

$$PCI = 17793,9 - (50,20 * s) - (203 * w) \text{ KJ/ kg}$$

S = Sacarosa 3,39

w = Humedad 0,5

*Datos obtenidos del laboratorio de Fábrica E.A.I Pomalca

$$PCI = 17522,186 \text{ kJ/kg}$$

(Hugot, 1964, p. 623)

➤ **Entalpía del agua de alimentación**

$$h_a = 590,874(\text{KJ} / \text{Kg})$$

Entonces:

$$m_c = \frac{m_v * (h_{vs} - h_a)}{PCI * \eta}$$

Donde:

m_c = Flujo másico de combustible

m_v = Flujo másico de vapor 25 tn/h ➡ 6,95 kg/s

h_{vs} = Entalpía de vapor sobrecalentado ➡ 3162,77 kJ/kg

h_a = Entalpía de agua de alimentación

PCI = Poder Calorífico Inferior

η = Rendimiento de la Caldera. ➡ 35,2 %

Reemplazando:

$$m_c = 2,898 \text{ kg/seg} \quad \longrightarrow \quad m_c = 10,433 \text{ tn/h}$$

3.1.3 Composición de los gases en la chimenea


Para los cálculos siguientes, es necesario saber el porcentaje de cada gas que se emite la combustión y también la temperatura en la que los gases de combustión están saliendo de la caldera, por ello se recurrió a la sección Calderas para que nos faciliten datos de temperatura y análisis de CO₂ de los gases, los cuales se presentan en la tabla N°11.

Como se muestra en la tabla, el contenido de gases y temperatura varían, de manera que se admitirán valores promedios para los cálculos.

Para encontrar la cantidad de los gases de combustión es necesario saber el porcentaje de CO₂ de los gases de la caldera N° 06.

Tabla 10. Análisis de temperatura y CO₂ en los gases de salida.

GASES DE COMBUSTIÓN A LA SALIDA DE LA CALDERA N° 06

	CARACTERISTICAS DE LA CALDERA	
	TIPO:	Acuotubular
	CPACIDAD:	65,000 - 70,000 lbs/hr
	COMBUSTIBLE:	Bagazo
	CONSUMO DE COMBUSTIBLE :	15018 tn / h

PARAMETROS	FECHA DE MUESTREO					
	16/09/18	17/09/18	18/09/18	19/09/18	20/09/18	21/09/18
TEMPERATURA CHIMENEA	155 ° C	159 ° C	161 ° C	158 ° C	156 ° C	160 ° C
% CO ₂	13.5	10.5	11	12..5	10	12
% O ₂	11	7	7.5	9	11	7

Fuente: Laboratorio, Pomalca – Sección Calderas.

- **Promedio de temperatura de la chimenea (TCh) =**
158 ° C
- **Promedio de % de CO₂ de la Caldera N° 06 = 12%**
- **Promedio de % de O₂ de la Caldera N° 06 = 8,6 %**

❖ **Determinación del exceso de aire**

Empleando la siguiente ecuación se determina para la combustión, el exceso de aire:

$$m = \frac{21}{21 - O_2}$$

Donde:

m= Exceso de aire

O₂= % de oxigeno = 8,6

Entonces el exceso de aire es:

$$m = 1,69$$

❖ **Relación aire – combustible**

Es la cantidad en masa de aire aspirado por el motor tiro forzado para una cantidad unitaria de combustible (bagazo) para la caldera.

$$R_{a-cb} = 5,75 (1 - w) m$$

Donde:

R_{a-cb} = Relación aire – combustible

w = Humedad del bagazo (0.5)

m = Exceso de aire 1,69

Entonces

$$R_{a-cb} = 4,85 \frac{kg \text{ aire}}{Kg \text{ combustible}}$$

❖ **Relación gas – combustible**

Es la cantidad en masa de gases de combustión generada por una cantidad unitaria de combustible (bagazo).

$$R_{gc-cb} = 5,75 (1 - w) m + 1$$

Donde:

R_{gc-cb} = Relación gases de combustión – combustible

w = Humedad del bagazo (0.5)

m = Exeso de aire 1,69

Entonces:

$$R_{gc-cb} = 5,85 \frac{Kg \text{ gases combustión}}{kg \text{ combustible}}$$

3.1.4 Contenido de CO₂ en los gases de salida

- **Volumen total de los gases secos (V_{gs})**

$$V_{gs} = 4,47 (1 - w) m - 0,056 (1 - w)$$

Donde:

w : Humedad de bagazo

m : Exceso de aire.

- **Volumen de CO₂**

$$Vol\ CO_2\ en\ los\ gases = 1,72 (1 - w) * 0,509 = 0,875 (1 - w)$$

- **Contenido de CO₂ en volumen en los gases:**

$$\gamma = \frac{0,875 (1 - w)}{V_{gs}}$$

$$\gamma = 0,12$$

$$m = \frac{\text{peso de aire empleado}}{\text{peso de aire estrictamente necesario}}$$

γ = contenido de CO₂ de los gases secos con relación a la unidad

Tabla 11. Relación CO₂ de los gases / exceso de aire.

Y	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17
m	3.27	2.8	2.45	2.18	1.96	1.78	1.63	1.51	1.4	1.3	1.22	1.15

Fuente: Hugot, 1963

3.3.5 Composición de los gases y material particulado

El peso total de los gases:

- $P_g = 5,75 (1 - w) * m + 1$

Peso individual de los gases:

- **Agua H₂O**

$$\text{Agua formada} = 0,585 * (1 - w)$$

Agua contenida = w

$$\text{H}_2\text{O} = 0,585 * (1 - w) + w$$

➤ **Ácido Carbónico CO₂**

$$\text{CO}_2 = 0,47 * 3,67 * (1 - w)$$

$$\text{CO}_2 = 1,72 * (1 - w)$$

➤ **Oxígeno O₂**

$$\text{O}_2 \text{ derivado del aire} = 1,330 * (1 - w) * w$$

$$\text{Mas O}_2 \text{ derivado del bagazo} = 0,440 * (1 - w)$$

$$\text{Menos O}_2 \text{ para formar agua} = 0,520 * (1 - w)$$

Menos O₂ para formar CO₂

Entonces:

$$\text{O}_2 = 1,330 * (1 - w) * (m - 1)$$

➤ **Nitrógeno N₂**

$$\text{N}_2 = 1,330 * (76,85 / 23,15) * (1 - w) * m$$

$$\text{N}_2 = 4,42 * (1 - w) * m$$

Reemplazando m (exceso de aire) y w (humedad del bagazo), que para nuestro calculo:

➤ $m = 1,69$ y $w = 0,5$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,585 * 0,5 + 0,5 = 0,793 \quad 13,560 \%$$

$$\text{CO}_2 = 1,72 * 0,5 = 0,860 \quad 14,713 \%$$

$$\text{O}_2 = 1,330 * (0,5) * (0,69) = 0,458 \quad 07,835 \%$$

$$\text{N}_2 = 4,42 * 0,5 * 1,69 = 3,734 \quad 63,886 \%$$

5,845	100 %
-------	-------

➤ **Material particulado**

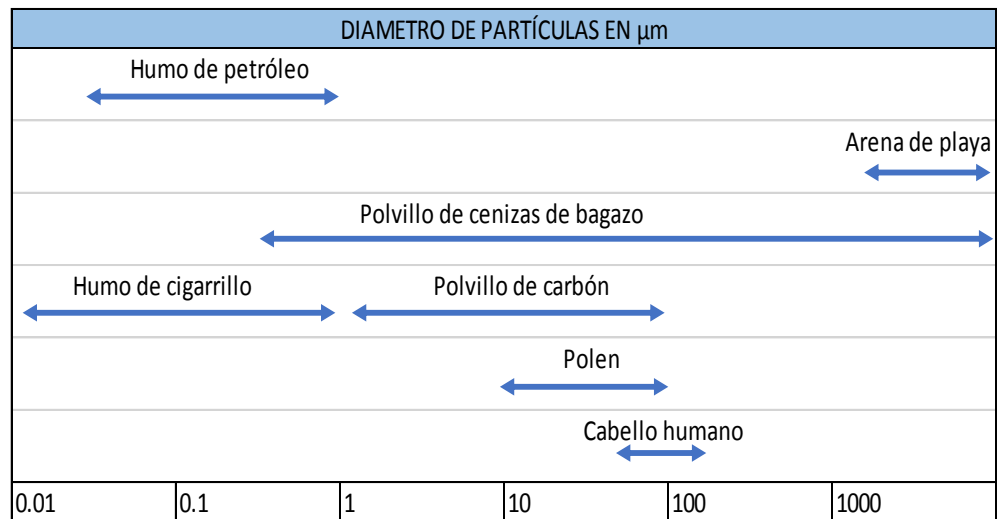
Según la ASTM (sociedad americana para pruebas y materiales), el rango de material particulado producto de la combustión que puede emitir una caldera bagacera, van desde cifras elevadas como 24000 mg/m³, como también cifras de 4000 hasta 12000 apropiadamente.

La tasa de emisiones es función de:

- Carga de la caldera
- Tipo de hogar de combustión
- Tipo y capacidad de la parrilla
- Tamaño de la partícula del combustible
- Contenido de humedad del combustible
- Contenido de ceniza del combustible

Según la gráfica N° 05 compara el tamaño de partícula de varios polvos comúnmente encontrados con el del bagazo. Se describe los diferentes tamaños de partículas muy diminutas como el grosor del cabello humano, hasta partes de bagazo no quemado o carbonizado de 1.5 de diámetro y 3 a 6 mm de longitud.

Tabla 12. *Diferentes tamaños de partículas.*



Fuente: Rein [et al]. 2012

➤ **Cenizas secas volantes (fly ash)**

Uno de los productos que se determina en el balance de masas como resultantes de la combustión, son las llamadas cenizas. Ellas contienen todos los componentes inorgánicos que acompañan al combustible, mezcladas con cierta proporción de partículas de bagazo no quemado y escorias, que representan los residuos que deja la combustión del bagazo.

Las cenizas se van acumulando en el hogar a medida que se desarrolla la combustión y están sometidas a elevadas temperaturas que originan complejos procesos de transformación de los minerales.

En la tabla N°13 se describen las propiedades de las cenizas y en la figura N°15 se observan sus distintos aspectos.

Tabla 13. *Características y propiedades e las cenizas.*

PROPIEDADES CARACTERISITICAS DE LA CENIZA				
Densidad relativa cenizas secas kg/m ³	Densidad relativa húmedas kg/m ³	pH	Calor específico kcal/kg °C	Color
570 - 650	730 - 850	11.5 - 12	0.2 - 0.3	Blanco a grisáceo oscuro

Fuente: Alderetes 2016



Figura N° 15. Diferentes aspectos de la ceniza de bagazo de caña.

➤ **Inquemados**

Los inquemados son partículas de bagazo que no llegaron quemarse completamente, estos se emiten por la chimenea en forma de humo. Están constituidos por el hollín (fase gaseosa) y cenósferas (fase líquida), que son productos del craqueo del combustible.

Las cenósferas alcanzan decenas de micrones 10 – 100 µm. Siendo estas últimas el 95% de la masa de partículas emitidas por la chimenea. Las

partículas de hollín tienen un diámetro muy pequeño, inferior a los 500 A (Angstrom) = $5 \cdot 10^{-5}$ mm.

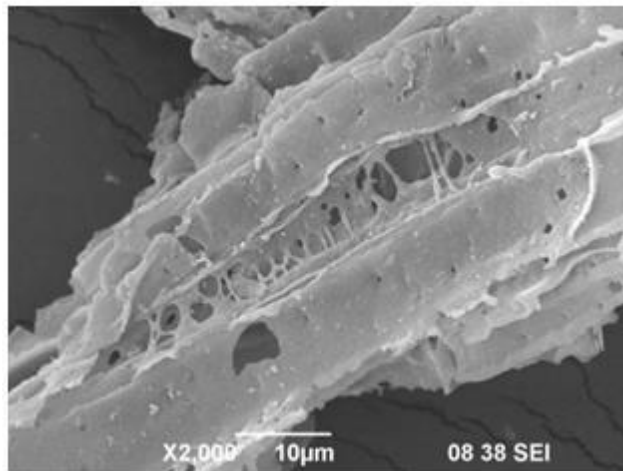


Figura N° 16. Morfología de sólido no quemado (x 2000)

➤ **Calculo de los sólidos no quemados**

$$\alpha = \frac{\rho * 4600 * (1 - w)}{(4250 - 4850 * w - q) * \beta * \eta}$$

Donde:

α = Coeficiente de sólidos no quemados

ρ = Rendimiento de la caldera ($\rho = 35,2\%$)

w = Humedad del bagazo ($w = 0,5$)

q = Calor sensible de los gases ($q = 1028,264 \text{ kJ/kg} - 245,760 \text{ kcal/kg}$)

β = coeficiente de radiación ($\beta = 0,92$)

η = coeficiente de mala combustión ($\eta = 0,92$)

Reemplazando: $\alpha = 1,037$

La cantidad de partículas no quemados es:

$$m_{\alpha} = m_c (\alpha - 1)$$

$$m_{\alpha} = 10433(1,037 - 1) = 386,021 \text{ kg/h}$$

$$m_{\alpha} = 0,107 \text{ kg/s}$$

Como se describe en la **Fig. 9**, la emisión de hollín se puede visualizar como humo negro, cuando exceden las 500 ppm.



Figura N° 17. Muestra de material particulado quemado.



Figura N° 18. Emisiones de la Caldera N 06.

3.3.6 Flujo másico de los gases de combustión

Se determinó la cantidad de los gases de combustión con los valores del flujo de combustible y la relación de aire – combustible.

➤ **Flujo másico de gases de combustión**

$$m_{gc} = m_c * (1 + R_{a_c})$$

m_c = Flujo de combustible

R_{a_c} = Relación aire – combustible

Entonces:

$$m_{gc} = 16,373 \text{ kg/s} \quad \longrightarrow \quad 58,942 \text{ tn/h}$$

➤ **Flujo volumétrico de los gases de combustión**

Se halló la densidad del gas con ayuda de la temperatura, según tabla.

$$V_{gc} = \frac{m_{gc}}{\delta_{gc}} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

V_{gc} = Flujo volumétrico de los gases de combustión

δ_{gc} = Densidad de los gases de combustión (según tabla) 0,663 kg / m³ a temperatura 158° C.

$$V_{gc} = 24,69 \text{ m}^3\text{/s}$$

➤ **Cuadro resumen sobre la caracterización de los gases de combustión y material particulado de la Caldera N° 06**

Tabla 14. *Caracterización de los gases de combustión.*

CARACTRIZACION DE LOS GASES DE COMBUSTION			
EMISION	COMPONENTE	CANT / MEDIDA	UNIDAD
GASES (1 kg Bagazo)	H ₂ O	0,793	kg
	CO ₂	0,860	kg
	O ₂	0,458	kg
	N ₂	3,734	kg
MATERIAL PARTICULADO	Bagazo carbonizado	Ø 1,5 L 3,5 - 6	mm
	Partículas de polvo	Ø 15 - 170	µm
CENIZAS VOLANTES	Cenizas secas	570 - 650	kg/m ³
	Cenizas húmedas	730 - 850	kg/m ³
INQUEMADOS	Cenósferas	10 - 1000	µm
	Hollín	< 500	Â

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Análisis de los gases de combustión de la Caldera N° 06**

MONITOREO DE CALIDAD DE GASES DE COMBUSTION - CALDERA N° 06

FUENTE : Reporte de Mantenimiento de la Sección Calderas

FECHA DE MUESTREO

12 de Setiembre 2018

RESULTADOS DE LAS EMISIONES EFECTUADAS AL CALDERO N° 06

Tipo de combustible : Bagazo

Medición	Fecha de muestreo	T	O ₂	CO ₂	CO		NO		NO _x		SO ₂		Partículas
		°C	%	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	mg/m ³	
1	12/09/2018	173	9	15.5	8479	10598.8	67	89.8	71	145.6	52	148.7	86.3
2		151	10	8	6524	8155	13	17.4	14	28.7	81	231.7	
3		152	7.5	12.4	3222	4027.5	69	92.5	72	147.6	65	185.9	

Promedio de las 3 mediciones del Contenido de CO ₂ en los Gases	12	%
Promedio de las 3 mediciones de Temperatura en los Gases	158	° C

3.2 Calcular los parámetros de funcionamiento del sistema para seleccionar los equipos electromecánicos que conforman el lavador de gases.

3.2.1 Parámetros para el diseño del lavador de gases

Para el diseño del lavador de gases se tendrá en cuenta los siguientes parámetros y criterios:

CALDERA N° 06 – Criterios de fabricación

- **Fabricación:** Babcock & Wilcox
- **Modelo:** Sterling
- **Año de fabricación:** 1959
- **Capacidad:** 65,000 - 70,000 lbs/hr ➔ (29.5 - 31.75 tons/h)
- **Presión:** 40 Kg/cm²
- **Combustible:** Bagazo

Humedad de bagazo (w): En condiciones normales de molienda = 50 % de humedad.

Condición actual de la Caldera – Parámetros

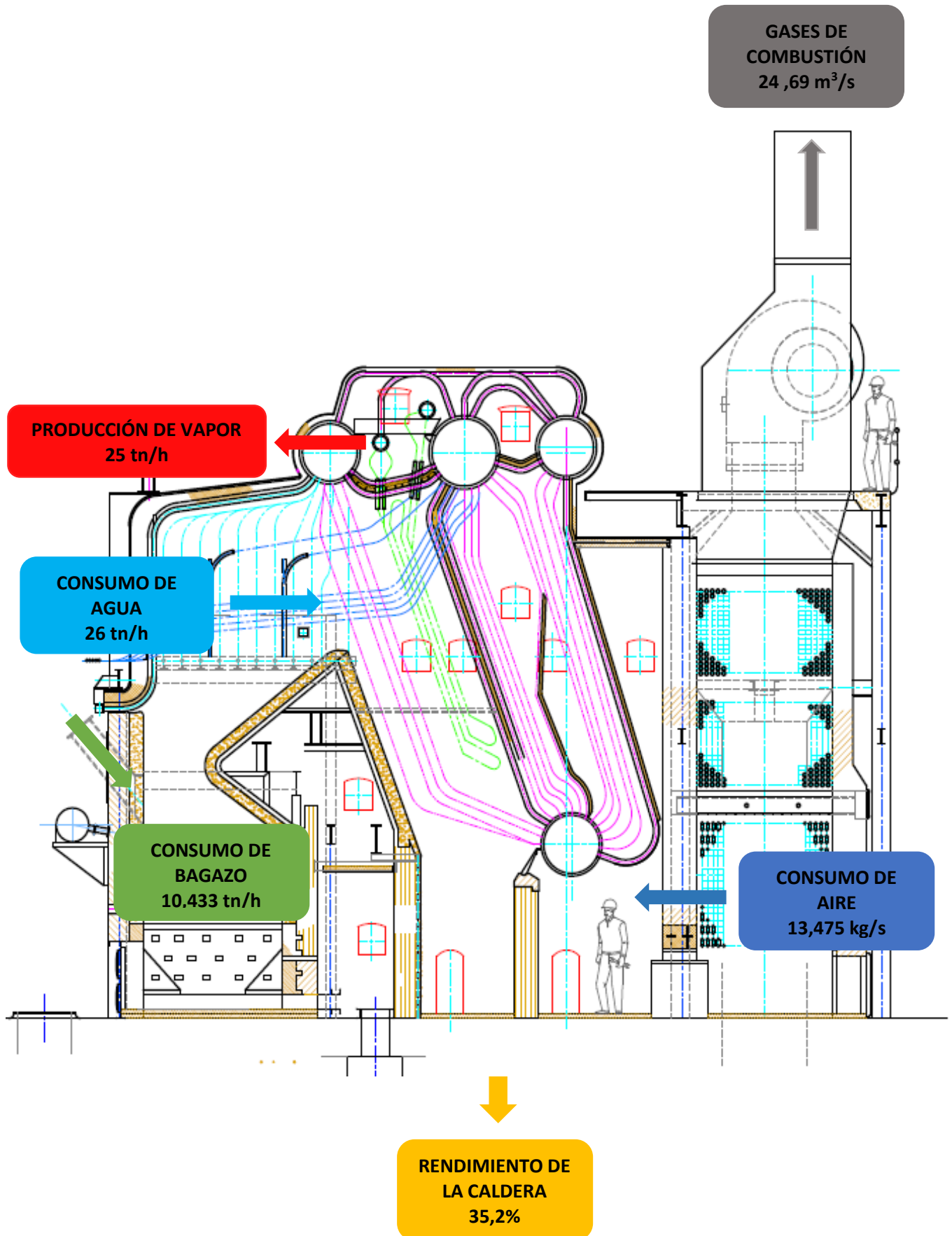
Tabla 15. Datos de operación de la Caldera N 06.

Consumo de combustible Kg bagazo / hr	Vapor Tn/h	Ta (°C)	Pvs (bar)	Ts (°C)
10433	25	105	30	370

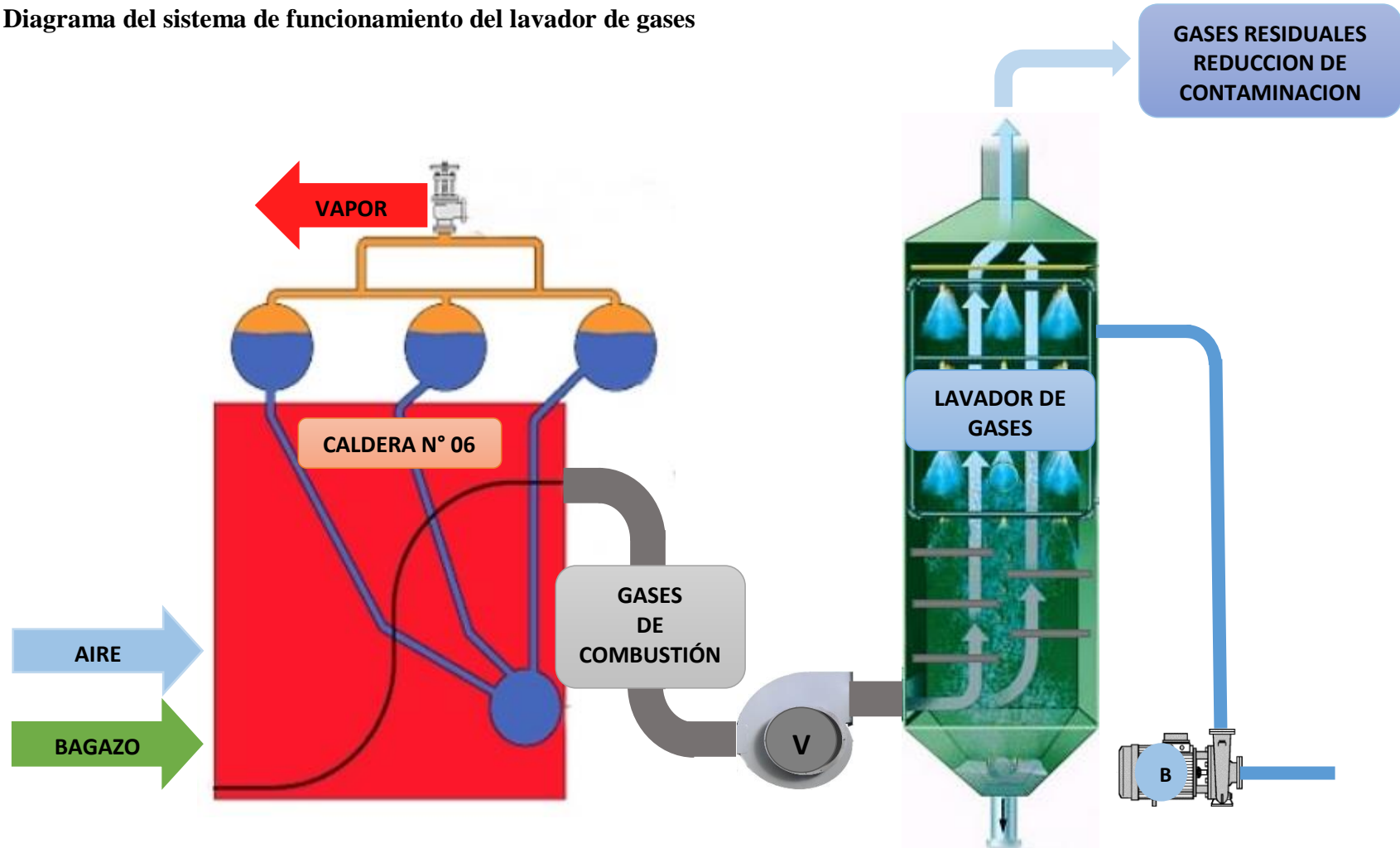
Fuente: Sección Calderas – Pomalca

- **Ta:** Temperatura de agua.
- **Pvs:** Presión de vapor sobrecalentado
- **Ts:** Temperatura de sobrecalentamiento.
- **Tch:** Temperatura de gases de salida 158 °C
- **CEM:** Calor específico medio de los gases $CEM = 0,27 + 0,0006 T$
- **% CO₂:** 12%
- **Calor específico H₂O:** 1 atm , 300 °K (27°C) = 4,179 kJ/kg°C

➤ Análisis energético Caldera N° 06



➤ Diagrama del sistema de funcionamiento del lavador de gases



3.2.2 Flujo másico de agua para la condensación

Para la condensación de los gases de combustión y partículas, es necesario saber el volumen del líquido (agua), necesaria para la condensación.

Para este cálculo se necesita saber el punto de rocío de los gases.

➤ **Punto de rocío de los gases**

Sabiendo que:

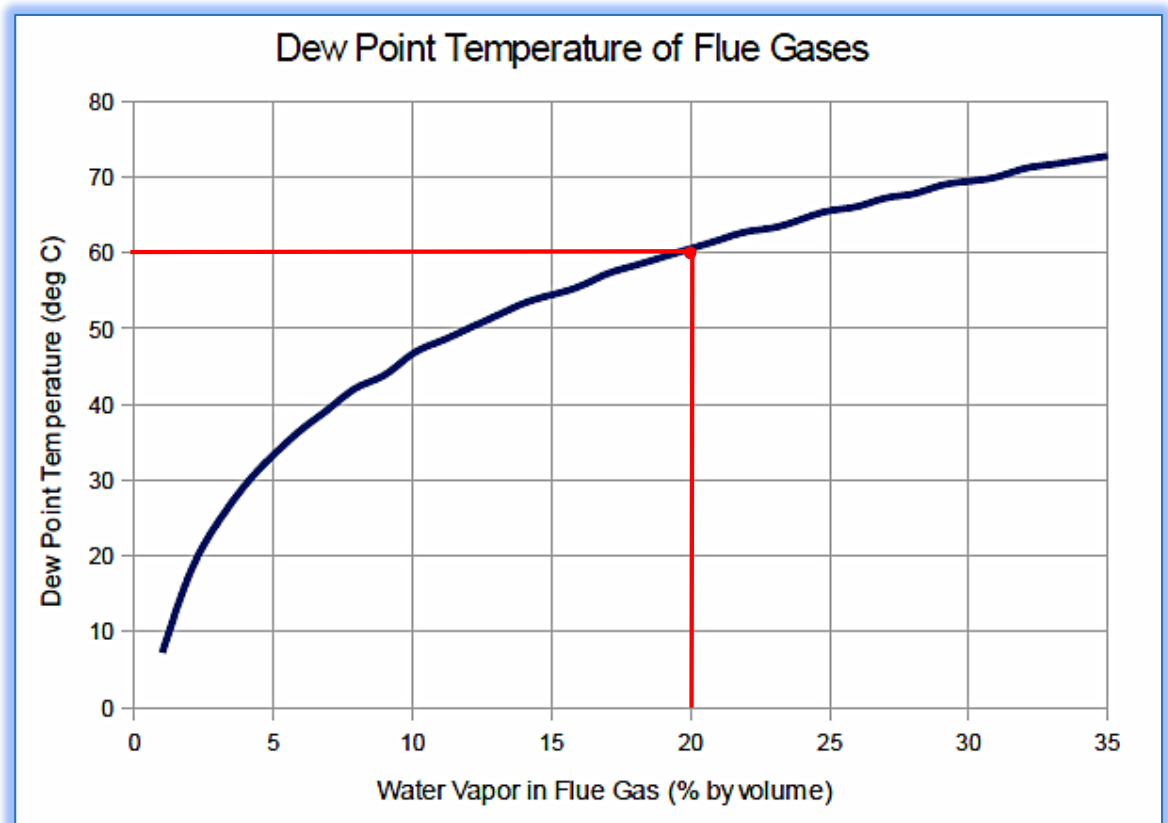
m = Relación exceso de aire 1,69

$V_g = 4,93 \text{ m}^3$ Volumen de los gases de combustión.

$V_{gs} = 3,95 \text{ m}^3$ Volumen de los gases supuestos secos.

Por lo tanto de la diferencia de volúmenes entre el volumen del gas y el volumen del gas seco se determina el volumen del agua que viene ser de $0,98 \text{ m}^3$ y que en porcentaje es:

$$\% \text{ humedad gases de combustión} = 19,87\%$$



Gráfica Temperatura del punto de rocío de los gases de combustión.

De la gráfica se determinó el punto de rocío, que viene a ser = **60° C**.

$$m_{gc} * (h_{gc} - h_{gr}) + m_{agua-gc} * I_v = \dot{m}_{ac} * C_{pa} * (t_r - t_{ag})$$

Donde:

\dot{m}_{ac} = Flujo másico de agua necesaria para la condensación kg/s

m_{gc} = Flujo másico de los gases de combustión kg/s

h_{gc} = Entalpía de los gases de combustión (t = 158° C)

h_{gr} = Entalpía del gas de combustión a temperatura punto de rocío (t = 60° C)

$m_{agua-gc}$ = Flujo másico de agua en los gases combustión kg/s

I_v = Calor latente de condensación 2510 kJ/kg

C_{pa} = Calor específico medio del agua de condensación 4,18 kg/s

t_r = Temperatura de rocío 60° C

t_{ag} = Temperatura del agua ingresada al lavador 30° C

➤ **Entalpía de los gases de combustión y punto de rocío**

Se necesita calcular las entalpias de los gases de combustión a la temperatura de entrada al lavador h_{gc} de 158° C y a la temperatura de punto de rocío de los gases h_{gr} que es de 60° C; se hará uso de la composición de los gases en peso.

$$h_{gc} = 0,2681 * 158 = 42,335 \text{ kcal/kg} = 117,1924 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{gr} = 0,2649 * 60 = 15,894 \text{ kcal/kg} = 66,50 \text{ kJ/kg}$$

Reemplazando en la fórmula obtenemos la cantidad de agua necesaria para la condensación.

$$\dot{m}_{ac} = 59,23 \text{ kg/s}$$

Teniendo en cuenta una eficiencia de recolección de particulado del lavador de 60%.

$$\dot{m}_{ac} = 59,23 * 0,6 = 35,538 \text{ kg/s}$$

➤ **Flujo volumétrico de agua de condensación**

V_{ag} = Flujo volumétrico de agua

\dot{m}_{ac} = Flujo de agua de condensación 35,538 kg/s

ρ_{ag} = Densidad del agua 998,2 kg/m³

$$V_{ag} = \dot{m}_{ac} * \rho_{ag} = 0,0356 \text{ m}^3 / \text{s} = 128,167 \text{ m}^3 / \text{h}$$

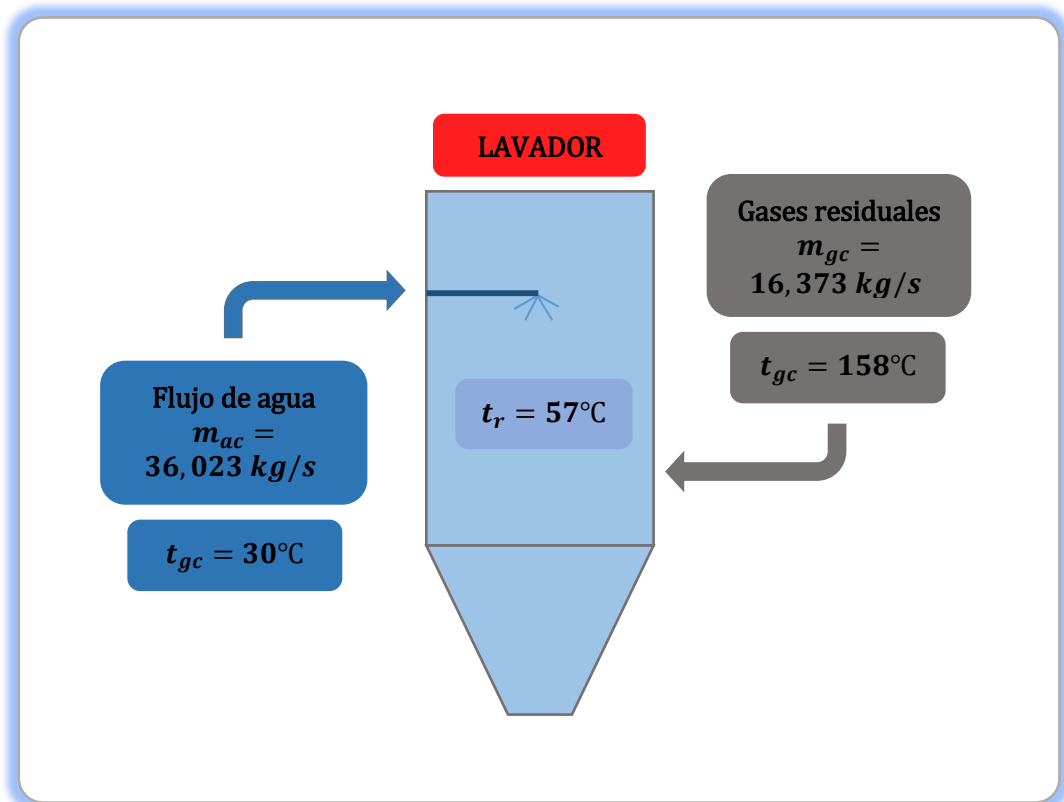


Figura N° 19. Balance de energía en el lavador de gases.

3.2.3 Etapas del proceso de condensación en el lavador

El lavador de gases tendrá una combinación de platos o mamparas y espray (baffles y boquillas aspersoras de agua). Este lavador está compuesto por dos etapas la primera está compuesta por las mamparas y la segunda por toberas rociadoras de agua a presión, como se muestra en la Fig. N°17. Sabiendo la eficiencia de recolección de 60%, en cada etapa se condensarán 30% del flujo de los gases de combustión.

$$m_{gc} = 16,373 * 0.3 = 4,911 \text{ kg gas/s}$$

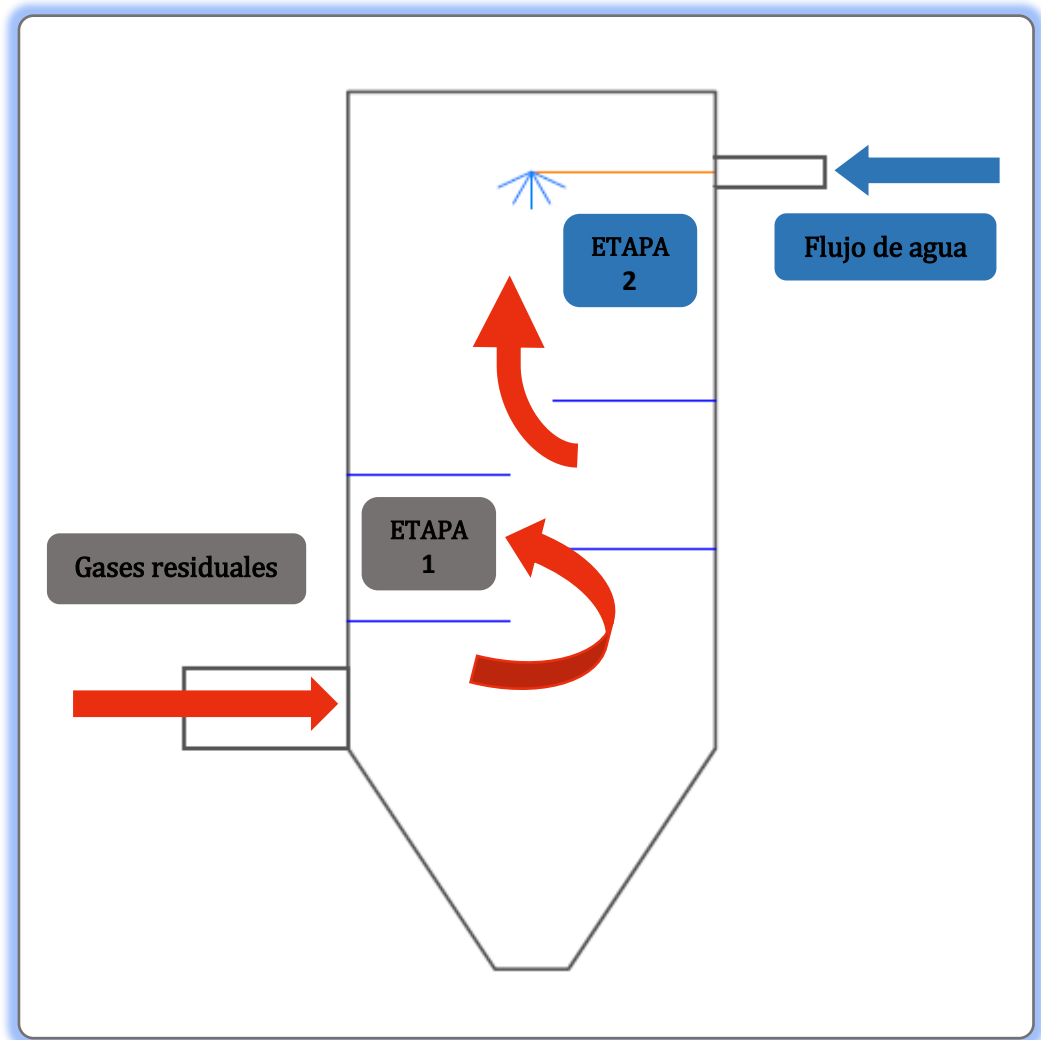


Figura N° 20. Diagrama de condensación del lavador.

➤ **Etapas para la condensación de los gases**

$m_{gc} = 16,373 \text{ kg gas/s}$ Ingresa al lavador.

$m_{gc} = 16,373 - 4,911 = 11,462 \text{ kg/s}$ Pasa por la 2da etapa.

$m_{gc} = 11,462 - 4,911 = 6,551 \text{ kg/s}$ Gases residuales + gas flash.

➤ **Altura del lavador de gases**

➤ **Primera Etapa**

Con ayuda de la ecuación del caudal, despejamos la velocidad y reemplazar la sección transversal en función del diámetro, para determinar la velocidad del gas en esta etapa.

$$V_{gas} = \frac{\dot{m}_{gc} * 4}{\pi * D^2 * \rho} \text{ m/s}$$

Donde:

V_{gas} = Velocidad de los gases en la 2da etapa.

\dot{m}_{gc} = Flujo de gases en la segunda etapa 11,462 kg/s

D = Diámetro del lavador de gases 2,5 m

ρ = Densidad de los gases 0,95 kg/m³

Reemplazando los valores se puede apreciar que la velocidad disminuye con respecto a la primera etapa.

$$V_{gas} = 2,457 \text{ m/s}$$

Entonces asumiendo un tiempo $t = 1,8$ s; encontraremos la altura de la 1era etapa.

$$H_1 = V_{gas} * t = 4,4 \text{ m}$$

➤ Segunda etapa

Con la formula anterior determinamos la velocidad para la segunda etapa teniendo en cuenta $\dot{m}_{gc} = 6,55$ kg/s y la densidad de los gases = 0,812 kg/m³.

$$V_{gas} = 1,643 \text{ m/s}$$

Asumiendo un tiempo $t = 1,5$ s; encontraremos la altura de la 1era etapa.

$$H_2 = V_{gas} * t = 2,46 \text{ m}$$

➤ Altura total útil

$$H = H_1 + H_2 = 6,86 \text{ m} = 7 \text{ m}$$

➤ Selección de boquillas aspersores de agua

Se tendrá en cuenta el flujo volumétrico de agua necesaria para la condensación y la capacidad de cada boquilla.

$$\dot{V}_{ag} = 128,167 \text{ m}^3/\text{h}$$

q = Capacidad de cada boquilla 20,851 m³/h

➤ **Número de boquillas necesarias para la condensación**

$$N_b = \dot{V}_{ag}/q = 6,14 \longrightarrow 6 \text{ boquillas}$$

La presión óptima en las boquillas es de 2 a 5 Kg/cm² (Hugot. 1963, p. 534). Para este lavador se utilizará boquillas de 20 mca o 3 bares de presión. Según catálogo BETE se seleccionó para este lavador boquillas TF 64 de 1 ½" (inoxidable), de 2 bares de presión. (Ficha técnica del tipo de boquilla en anexo).

3.2.4 Estructura del lavador de gases

➤ **Calculo del diámetro del lavador**

Para determinar del diámetro del lavador se debe considerar que es necesario tener un adecuado tiempo de contacto entre el gas a condensar y el agua, y una velocidad de gas lo más reducida en su paso por el lavador.

Conociendo el flujo volumétrico del gas determinamos la sección transversal del lavador; consideraremos una velocidad de 5 m/s.

$$A_{ent} = \frac{V_{gc}}{v} = \frac{24,69}{5}$$

$$A_{ent} = 4,93 \text{ m}^2$$

Entonces el diámetro del lavador será:

$$\phi_t = \sqrt{(4 * A_{ent}) / \pi}$$

$$\phi_t = 2,50 \text{ m}$$

➤ **Diseño del lavador**

El material (plancha estructural) a emplear para la fabricación del lavador de gases tienen las siguientes propiedades para el diseño:

- Acero = ASTM A-36
- Esfuerzo a la fluencia = 250 MPa
- Esfuerzo último = 400 MPa

El espesor del lavador será de 5,6 mm según ficha técnica de la plancha estructural de 1200 * 2400 mm y una velocidad de corrosión de 0,2 mm/año.

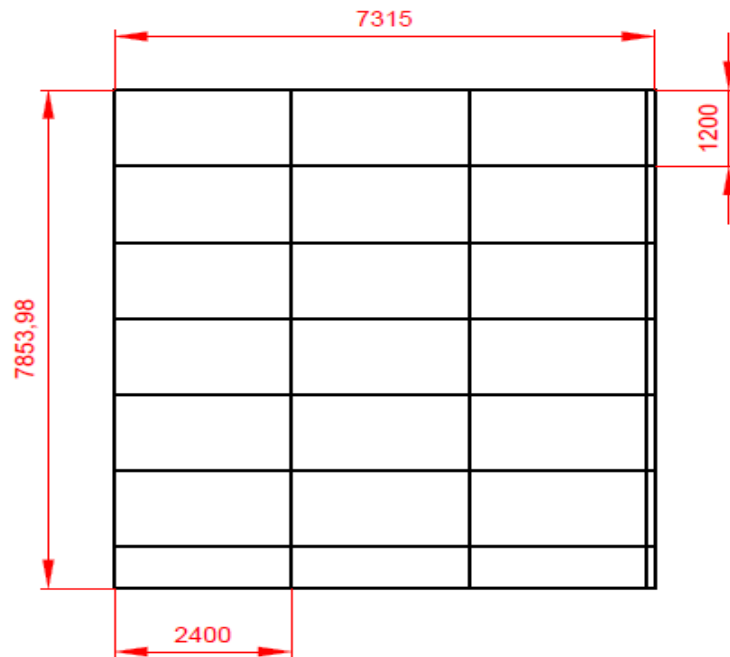


Figura N° 21. Desarrollo lineal del condensador.

➤ **Área del desarrollo del lavador de gases**

$$A_{lav} = D * H * \pi$$

D = Diámetro del lavador 2,5 m

H = Altura del lavador 7,315 m

$$A_{lav} = 2,5 * 7,315 * \pi = 57,451 \text{ m}^2$$

➤ **Área de la plancha estructural ASTM A-36**

$$A_{plancha} = 1,2 * 2,4 = 2,88 \text{ m}^2$$

➤ **Numero de planchas para la fabricación del lavador**

$$n_{planchas} = \frac{A_{lav}}{A_{plan}} = 19,948 = 20 \text{ planchas}$$

➤ **Longitud de soldadura:**

Con ayuda del desarrollo lineal del lavador podemos hallar la longitud de cordones de soldadura para la fabricación del lavador.

$$L_t = 82,62 \text{ m}$$

➤ **Cantidad de soldadura a utilizar**

Se tendrá en cuenta valores para la eficiencia en el proceso de un 65 % y un factor de penetración de 70%, para poder hallar la cantidad de soldadura en kilogramos.

$$m_{sold} = \frac{L_T * h * b * \rho_{sold}}{\eta_p * f_p}$$

Donde:

m_{sold} = Masa de la soldadura (kg)

L_T = Longitud de cordones de soldadura (m)

h = Garganta de la soldadura (4,5 mm)

b = Ancho del cordón de soldadura (9 mm)

ρ_{sold} = Densidad de la soldadura (7850 kg/mmm³)

η_p = Eficiencia del proceso (0,65%)

f_p = Factor de penetración (0,70 %)

Entonces se empleará $m_{sold} = 57,759 \text{ kg}$ de soldadura para el ducto.

➤ **Estructura cono inferior del lavador**

La parte inferior del lavador tendrá forma de cono tronco y tendrá las siguientes dimensiones:

➤ $R = 1,25 \text{ m}$

➤ $r = 0,1 \text{ m}$

➤ $h = 0,3$

➤ $e = 6,5 \text{ mm}$

Área del cono superior:

$$g = \sqrt{h^2 + (R - r)^2} = 1,188 \text{ m}$$

$$A_L = \pi * (R - r) * g = 4,292 \text{ m}$$

Área de la plancha estructural ASTM A-36 = 2,88 m²

Numero de planchas a utilizar en la fabricación

$$N_{planchas} = \frac{A_{CL}}{A_{PL}} = \frac{4,992}{2,88} = 1,490 \text{ plnchas} = 2 \text{ planchas}$$

➤ **Longitud de los cordones de soldadura**

$$L_T = 9,355$$

➤ **Cantidad de soldadura a utilizar**

Se tendrá en cuenta valores para la eficiencia en el proceso de un 65 % y un factor de penetración de 70%, para poder hallar la cantidad de soldadura en kilogramos.

$$m_{sold} = \frac{L_T * h * b * \rho_{sold}}{\eta_p * f_p}$$

Donde:

m_{sold} = Masa de la soldadura (kg)

L_T = Longitud de cordones de soldadura (m)

h = Garganta de la soldadura (4,5 mm)

b = Ancho del cordón de soldadura (9 mm)

ρ_{sold} = Densidad de la soldadura (7850 kg/mm³)

η_p = Eficiencia del proceso (0,65%)

f_p = Factor de penetración (0,70 %)

Entonces se empleará $m_{sold} = 6,536 \text{ kg}$ de soldadura para el ducto.

➤ **Direccionamiento del flujo de gas por medio de baffles**

Para lograr atrapar la mayor cantidad posible de partículas arrastradas por los gases, se deben obligar a que su recorrido sea direccionado por medio de platos a contracorriente (baffles o deflectores). Estos platos de colocaran de forma intercalada, obligando a los a cambiar de dirección y velocidad al momento del contacto con el fluido de limpieza de partículas.

➤ **Área total de los deflectores**

$$A_t = n_{bafles} * \frac{D^2 * \pi}{8}$$

Donde:

D = Diámetro 2,5 m

e = Espesor 5,06

n = Numero de bafles 4

$A_{plancha} = 1,2 * 2,4 = 2,88 \text{ m}^2$

$$A_t = 9,817 \text{ m}^2$$

➤ **Número de planchas**

$$N_{planchas} = \frac{A_{CL}}{A_{PL}} = \frac{9,817}{2,88} = 3,4 \text{ plnchas}$$
$$= 4 \text{ planchas}$$

➤ **Espesor de plancha para los deflectores**

$$Fg = m v$$

m = Flujo de gases 16,373 kg/s

v = 12,04 m/s

$$Fg = 197,13 \text{ N} \quad \longrightarrow \quad 20,1 \text{ kg}$$

$a = 0,833$

$b = 1,25$

σ_f = Valor para el diseño de estructuras 12,5 kg/mm²

$$\sigma_f = \frac{M_c}{I} \quad \sigma_f = \frac{6 a Fg}{bt^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{6 * a * Fg}{12,5 * b}} = 2,53 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta un coeficiente de seguridad = 2, el espesor de los bafles sería de 5,06 mm.

➤ **Estructura metálica que soporta el lavador**

Para los soportes del lavador de gases se utilizará vigas W de acero ASTM A-36, con las siguientes propiedades:

- σ_y = Limite de fluencia 250 MPa (mínimo)
- σ_u = Resistencia a la tracción 400 MPa
- E = Modulo de elasticidad 200 GPa

Se determina el peso de los diferentes componentes que conforman la estructura del lavador.

➤ **Peso del lavador**

Se determinó el peso del lavador mediante el peso de los materiales empleados en su fabricación.

$$P_{lav} = \frac{\pi * D * L * e * \rho_{ac} * g}{1000}$$

Donde:

P_{lav} = Peso del lavador

D = Diámetro del lavador 2.5 m

L = Longitud del lavador 7,315 m

ρ_{ac} = Densidad del acero 7850 kg / m³

g = gravedad 9,81

e = Espesor del lavador 5,6 mm =0,0056 m

$$\begin{aligned} \text{Peso del lavador} &= 24,7759 \text{ kN} = 2477,59 \text{ dN} \\ &= 2526 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ **Peso del cono inferior** = 261,78 dN ➡ 2,617 kN

➤ **Peso de los baffles** = 523,243 dN ➡ 5,232 kN

➤ **Peso del Agua:** Consideramos al lavador totalmente lleno.

$$P_{ag} = \frac{V_{lav} * \rho_{ag} * g}{1000} \text{ (kN)}$$

$$P_{ag} = \frac{\pi * 3^2}{4} * 4,5 * 998,2 * 9,81 \text{ (kN)}$$

$$P_{ag} = 269,181 \text{ (kN)}$$

Por lo tanto, el peso total al que estarán sometidos los soportes del lavador será:

$$P_T = 301,805 \text{ kN}$$

Para los soportes de la estructura del lavador se utilizará 4 columnas las cuales cada una soportaran una carga de:

$$F = 67,295 \text{ kN.}$$

➤ **Sección de la columna**

Se determinó teniendo en cuenta un factor de seguridad de 2. La sección necesaria que la columna necesita para soportar la carga del lavador está en función del esfuerzo admisible del material, para nuestro diseño ASTM A-36 y de la fuerza a la que está sometida la columna:

$$S_{nec} = \frac{F * FS}{\sigma}$$

Donde:

S_{nec} = La sección necesaria de la columna (cm²)

F = Fuerza a la que está sometida la columna (517,25 dN)

FS = Factor de seguridad = 2

σ = Esfuerzo admisible del material ($\sigma_{adm(A-36)} - \gamma_{A-36} * L$)

$$S_{nec} = 16,067 \text{ cm}^2 = 1606,7 \text{ mm}^2$$

Para la fabricación de los soportes del lavador emplearemos vigas de perfil I con las siguientes características según catálogo.

- Tipo de viga = W 8*28
- Área = 5320 mm²
- Altura (h) = 205 mm
- Ancho (b) = 166 mm
- i_x = 87,6 mm
- i_y = 41,1 mm

Se verá afectada la longitud de la columna dependiendo de la forma de soportar ambos extremos; se expresa de la siguiente manera:

$$L_E = k * L$$

Donde:

L_E = Longitud efectiva de la columna.

k = Factor de longitud de pandeo de la columna.

L = Longitud real de la columna.

Se obtiene el factor de longitud de pandeo k para determinar la longitud efectiva.

Tabla C-C.2-1
Valores de K para columnas












	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
La forma de pandeo se indica en línea de puntos						
Valores teóricos de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados de proyecto para condiciones reales	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Condiciones de vínculo	 <ul style="list-style-type: none">  Rotación y Traslación impedida  Rotación libre y Traslación impedida  Rotación impedida y Traslación libre  Rotación libre y Traslación libre 					

Figura N° 22. Valor de k para obtener la longitud efectiva.

Se determina la longitud efectiva de la columna:

$$L_E = 0.65 * 3 = 1,95 \text{ m}$$

Se determina la relación de esbeltez, que la longitud efectiva entre el radio de giro mínimo.

$$\text{Relación de Esbeltez} = \frac{L_E}{r_{min}}$$

$$\text{Relación de Esbeltez} = \frac{1950}{41,1} = 47,44$$

➤ **Análisis de columnas**

Se comparará la relación de esbeltez real con la relación de esbeltez de transición de la columna C_c , para poder determinar el método de análisis de columnas apropiado.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{S_y}}$$

Donde:

C_c = Constante de columna.

E = Modulo de elasticidad 2000(GPa)

S_y = Resistencia a la fluencia 250 (MPa)

Material	GPa	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
Acero	200	2.1 x 10 ⁶	30 x 10 ⁶
Aluminio	70	0.7 x 10 ⁶	10 x 10 ⁶
Cobre	110	1.2 x 10 ⁶	17 x 10 ⁶
Concreto	17-31	0.18 x 10 ⁶ - 0.32 x 10 ⁶	2.5 x 10 ⁶ - 4.5 x 10 ⁶
Madera	11-14	0.11 x 10 ⁶ - 0.14 x 10 ⁶	1.6 x 10 ⁶ - 2.0 x 10 ⁶

Figura N° 23. Módulo de elasticidad de algunos materiales.

Entonces la relación de esbeltez de transición de la columna será:

$$C_c = 125,663$$

Se comparará la relación de esbeltez con la de transición.

$$\text{Relación de Esbeltez} > C_c$$

$$47,44 > 125,663$$

Se puede apreciar que la relación de esbeltez es menor que la de transición por lo que se analizará como columna corta. (Johnson)

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y * (SR)^2}{4\pi^2 * E} \right]$$

Donde:

P_{cr} = Carga crítica de la columna

A = Área de la sección transversal

S_y = Resistencia a la fluencia del material

SR = Relación de esbeltez

E = Módulo de elasticidad

La carga crítica de la columna será, se tendrá en cuenta un factor de seguridad de 2:

$$P_{cr} = 1235,225 \text{ kN}$$

$$P_{cr} = 1235,225 / 2 = 617,61 \text{ kN}$$

3.2.5 Tubería de distribución de agua para la condensación

➤ Diámetro de la tubería

El flujo de agua volumétrico es: $V_{ag} = 0,0356 \text{ m}^3 / \text{s}$, además se asume la velocidad de la tubería de 3,5 m/s; por lo tanto se calcula la sección transversal:

$$A = \frac{V_{ag}}{v} = \frac{0,0356}{3,5} = 0,0101 \text{ m}^2$$

Conociendo el área de la tubería podemos encontrar el diámetro de la tubería:

$$\phi_t = \sqrt{(4 * A_{ent}) / \pi} = 0,113 \text{ m}$$

$$\phi_t = 4''$$

La presión de trabajo la cual estará sometida, será de 3,5 bar que es la presión antes de la entrada a la válvula de regulación de agua, para luego

disminuir hasta 2 bar que es lo que demandan las boquillas de aspersión del lavador de gases .

➤ **Espesor de la tubería**

Para el diseño se utilizará Tubo ASTM A 53 de 4" SCH – 40, cuyas propiedades físicas del material según su ficha técnica de fabricación son:

- Límite de fluencia mínima = 205 MPa
- Resistencia a la tracción 300 MPa

Teniendo en cuenta estos datos y mediante la ficha técnica la tubería de 4" de diámetro tiene un espesor de 6,02 mm.

➤ **Longitud de la tubería**

- L_t = Longitud total = 30 m
 - L_c = Longitud comercial del tubo según ficha técnica = 2,40 m
 - n = Cantidad de tubos
- $$n = L_t / L_c = 29,16 \longrightarrow 13 \text{ tubos}$$

3.2.6 Ducto de gases

➤ **Calculo del diámetro del ducto de entrada al lavador**

Para hallar el diámetro de entrada del ducto, se tiene en cuenta la cantidad de gases de salida.

$$V_{gc} = 24,69 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se asume la velocidad de los gases como 12 m/s. Con ayuda del flujo volumétrico y la velocidad de los gases podemos determinar el área de sección de la tubería que conduce los gases.

$$A_{ent} = \frac{V_{gc}}{v} = \frac{24,69}{12}$$

$$A_{ent} = 2,05 \text{ m}^2$$

Con la siguiente formula se hallará el diámetro del ducto:

$$\phi_t = \sqrt{(4 * A_{ent}) / \pi}$$

$$\phi_t = 1,615 \text{ m}$$

❖ **Espesor de plancha estructural para el ducto del lavador**

Se tendrá en cuenta valores ya encontrados como:

$$V_{gc} = 24,69 \text{ m}^3 / \text{s} \text{ Flujo volumétrico de los gases}$$

v = velocidad en el ducto de 12 m/s

D = Diámetro del ducto de los gases 1,615 m

p = Presión a la cual se desplaza el gas a través del ducto 1965 Pa

Para determinar el espesor de las planchas estructurales que conformarán el lavador de gases, se debe tener en cuenta:

- Presión del gas que pasa a través del lavador.
- Diámetro del lavador.
- Propiedades físicas del material a emplear para la fabricación del lavador.

$$e_p = \frac{p * D}{2 * \sigma}$$

Donde:

e = Espesor de la plancha estructural

σ = Esfuerzo de fluencia 250 MPa (para plancha estructural ASTM 36, según catálogo)

Asumimos un coeficiente de seguridad = 2

Entonces tenemos el espesor de diseño por presión

$$e_p = 0,063 * 2 = 0,126 \text{ mm}$$

También se debe tener en cuenta el espesor debido a la corrosión (c), según tabla se muestra la velocidad de corrosión para los metales, en ese caso tendrá una resistencia limitada de 0,2 mm/año. Este proyecto está orientado para 25 años de operación.

Entonces:

$$e = e_p + c * \text{años de operación} = 5,01 \text{ mm}$$

Según la ficha técnica de planchas estructurales de acero ASTM 36 elegimos la que está por encima de nuestro espesor $5,9 * 1,200 * 2,400$.

➤ **Área de desarrollo del ducto para el lavador de gases**

$$A_c = L * D * \pi$$

Donde:

L = Longitud del ducto de gases 15,3 m

D = Diámetro del ducto de gases 1,615 m

$$A_c = 15,300 * 1,615 * \pi = 77,627 \text{ m}^2$$

Según ficha técnica de las planchas estructurales tienen un área de $5,9 * 1,200 * 2,400$.

$$A_{plancha} = 1,2 * 2,4 = 2,88 \text{ m}^2$$

Entonces el número de planchas utilizar será:

$$n^{\circ} \text{planchas} = \frac{A_c}{A_{plancha}} = 27 \text{ planchas}$$

➤ **Cálculo de soldadura**

Se debe tener en cuenta que el esfuerzo de operación sea menor a la resistencia a la tracción de la soldadura que se va aplicar para la fabricación del lavador de gases.

$$\sigma_{operación} < \sigma_{soldadura}$$

Según la ficha técnica de la soldadura a emplear, tenemos:

➤ Soldadura SUPERCITO – E 7018

Propiedades mecánicas de la soldadura:

➤ Resistencia a la tracción: 520 – 610 Mpa

➤ Límite de fluencia: 400 Mpa

Según la teoría de recipientes de pared delgada, propone que, si la relación entre el espesor y el radio es menor a $1/20$, el esfuerzo radial es diminuto en comparación con el tangencial. (Shigley, 2002, p.108)

$$\frac{e}{r} = \frac{5}{1615} = 0,00309 \quad \longrightarrow \quad 0,00309 < \frac{1}{20}$$

➤ **Esfuerzo Tangencial**

$$\sigma_t = \frac{p(d_i + e)}{2e}$$

Donde:

σ_t = Esfuerzo tangencial

p = Presión interna 1965 Pa

d_i = Diámetro interno del ducto 1602 mm

e = Espesor de la plancha estructural 5 mm

El esfuerzo tangencial será:

$$\sigma_t = 315,7755 \text{ kPa}$$

➤ **Esfuerzo Longitudinal**

$$\sigma_L = \frac{p(d_i + e)}{4e} = 157,8877 \text{ kPa}$$

Comparando con los esfuerzos encontrados con las propiedades de la soldadura a depositar en el lavador de gases, tenemos:

➤ $\sigma_t = 315,7755 \text{ kPa} < \sigma_{\text{soldadura}} = 610 \text{ Mpa}$

➤ $\sigma_L = 157,8877 \text{ kPa} < \sigma_{\text{soldadura}} = 610 \text{ Mpa}$

➤ **Esfuerzos térmicos**

(Shigley, 2002, p.108). La deformación unitaria normal de un cuerpo al dilatarse, con incremento de temperatura es:

$$\Delta L = L\alpha * \Delta T$$

Donde:

α = Dilatación térmica mm/°C

ΔT = Variación de temperatura.

Entonces:

$$\Delta L = 15,3 * (13.58 * 10^{-3}) * (158 - 20)$$

$$\Delta L = 28,672 \text{ mm}$$

“Un ducto presenta esfuerzo de compresión, debido a su restricción axial” (Shigley, 2002, p.111).

Entonces el esfuerzo térmico está dado por:

$$\sigma_{ter} = \alpha * \Delta T * E$$

Donde:

σ_{ter} = Esfuerzo térmico

α = Coeficiente de dilatación térmica $13.58 * 10^{-6}$

ΔT = Variación de la temperatura

E = Modulo de elasticidad $200 * 10^9$

$$\sigma_{ter} = (13.58 * 10^{-6}) * (158 - 20) * (200 * 10^9)$$

$$\sigma_{ter} = 374,808 \text{ MPa}$$

❖ Longitud total de cordones de soldadura

Se realizará el desarrollo del ducto, utilizando planchas de $2400 * 1200$ para determinar la longitud en cordones de soldadura.

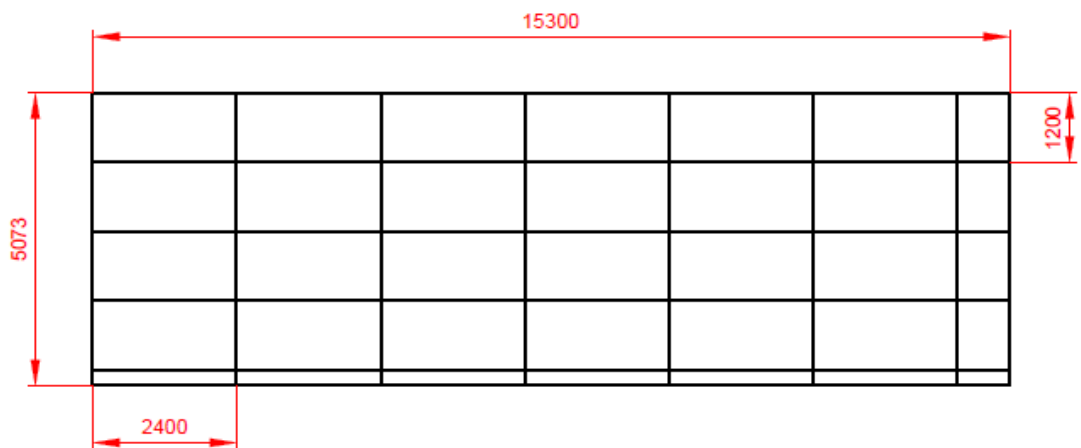


Figura N° 24. Desarrollo lineal del ducto de gases.

L = Longitud en cordones de soldadura 112,011 m

También se determina la longitud de los cordones de soldadura alrededor del ducto en unión a los codos y sumándoles la unión entre el ducto y la caldera; ducto con la entrada del lavador de gases.

$$L = \pi * D * N_{costuras}$$

$$L = \pi * 1,615 * 7 = 35,515 \text{ m}$$

Entonces la longitud total es: $L = 112,011 + 35,515 = 147,526 \text{ m}$

➤ **Cantidad de soldadura a utilizar**

Se tendrá en cuenta valores para la eficiencia en el proceso de un 65 % y un factor de penetración de 70%, para poder hallar la cantidad de soldadura en kilogramos.

$$m_{sold} = \frac{L_T * h * b * \rho_{sold}}{\eta_p * f_p}$$

Donde:

m_{sold} = Masa de la soldadura (kg)

L_T = Longitud de cordones de soldadura (m)

h = Garganta de la soldadura (4,5 mm)

b = Ancho del cordón de soldadura (9 mm)

ρ_{sold} = Densidad de la soldadura (7850 kg/mmm³)

η_p = Eficiencia del proceso (0,65%)

f_p = Factor de penetración (0,70 %)

Entonces se empleará $m_{sold} = 103,08 \text{ kg}$ de soldadura para el ducto.

3.2.7 Bomba de agua de condensación

Para determinar la potencia de la bomba que suministrara el agua hacia los asesores de condensado, utilizaremos la siguiente formula:

$$P_B = \frac{Q * H * g}{1000 * \eta} \quad (kW)$$

Donde:

P_B = Potencia (kW)

δ = Densidad del agua (m³/kg)

Q = Caudal de agua de enfriamiento (m³/s)

H = Altura del sistema (m)

g = Gravedad (m²/s)

η = Eficiencia de la bomba

Sabiendo que el flujo de agua de condensación es de 35,538 kg/s, siendo la gravedad 9,81 m/s y un rendimiento de la bomba de 80%.

❖ **Altura energética de la bomba de agua de enfriamiento**

$$H_{energ} = H_{serv} + H_{geom} + H_p$$

Donde:

H_{serv} = La presión en la entrada de la válvula de regulación es de 3,5 bar expresado en metro de columna de agua es = 3,5 bar = 35 mca

H_{geom} = Altura geométrica de las boquillas = 7,5 m

H_p = Perdida de energía total del sistema por accesorios = 22 m

Reemplazando:

$$H_{energ} = 35 + 7.5 + 22 = 64.5 \text{ m}$$

Entonces la potencia de la bomba para la condensación en el lavador de gases será:

$$P_B = 34,594 \text{ kW} = 46,391 \text{ HP}$$

3.2.8 Selección de motor para accionar la bomba

Es muy importante seleccionar un motor que sea eficiente, haciendo que el consumo de potencia sea el más bajo.

Se determinará la potencia absorbida por el motor eléctrico necesario para el accionamiento de la bomba centrifuga.

$$P_{abs} = \frac{P_s}{\eta_M * \eta_{Mec}}$$

Donde:

P_{abs} = Potencia absorbida del motor eléctrico (kW)

P_B = Potencia de la bomba (kW)

η_M = Eficiencia del motor eléctrico (95%)

η_{Mec} = Eficiencia mecánica entre el motor y la bomba y el motor (98%)

Entonces la potencia del motor eléctrico es:

$$P_{abs} = 37,157 \text{ kW} = 49,82 \text{ HP}$$

Según ficha técnica el motor eléctrico es de potencia nominal igual a 60 HP. El motor trabajara a un porcentaje de carga igual a:

$$\%_{carga} = \frac{P_{abs}}{P_{nom}} * 100 = 83\%$$

Según el catalogo para nuestro motor seleccionado:

- Voltaje: 220 – 440 v
- Rendimiento en operación 95%
- Factor de potencia de operación $\cos \theta$ 0,84
- Velocidad nominal 1776 rpm

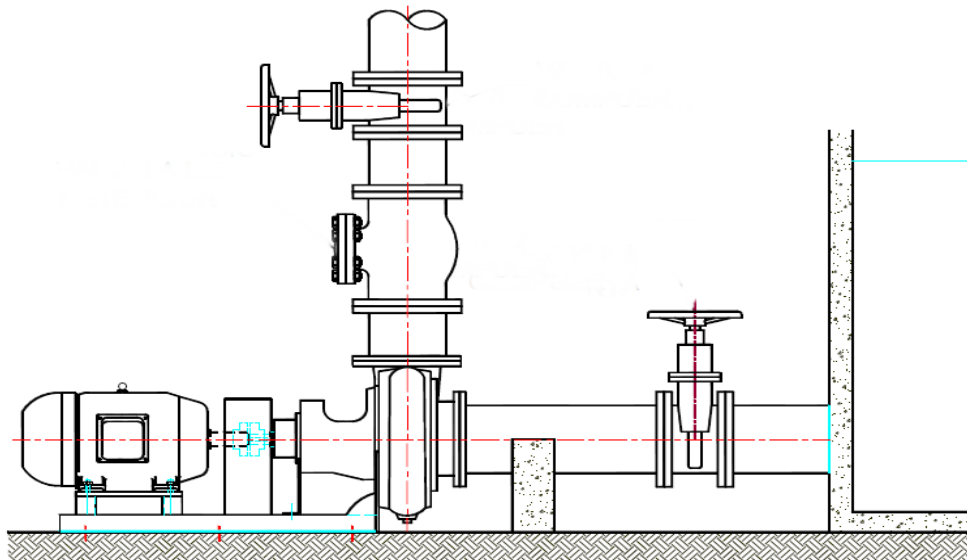


Figura N° 25. Esquema de instalación, motor - bomba.

3.3 Determinar la emisión de gases de combustión de la Caldera N° 06, con el empleo del lavador de gases.

3.3.1 Emisión de gases

Se consideraron dos variables importantes para determinar la composición de gases y material particulado, como son: humedad de bagazo (**w**) y exceso de aire (**m**).

- **w** = Humedad del bagazo 50 %
- **m** = Relación: Peso del aire empleado / peso del aire estrictamente necesario (exceso de aire) 1,69

❖ **Peso (*Pa*) y volumen (*Va*) de aire empleado por kilogramo de bagazo**

$$Pa = 5,75 (1 - w) m$$

$$Pa = 4,85 \text{ kg}$$

$$Va = 4,47 (1 - w) m$$

$$Va = 3,777 \text{ m}^3$$

❖ **Peso (*Pg*) y volumen (*Vg*) de los productos gaseosos de combustión por kilogramo de bagazo empleado**

$$Pg = 5,75 (1 - w) m + 1$$

$$Pg = 5,850 \text{ kg}$$

$$Vg = 4,47 (1 - w) m + 0,572 w + 0,672$$

$$Vg = 4,735 \text{ m}^3$$

❖ **Peso (*Pgs*) y volumen (*Vgs*) de los gases supuestos secos por kilogramo de bagazo empleado**

$$Pgs = (1 - w) (5,75 * m + 0,415)$$

$$Pgs = 5,066 \text{ kg}$$

$$Vgs = 4,47 (1 - w) m - 0,056 (1 - w)$$

$$Vgs = 3,749 \text{ m}^3$$

Tabla 16. *Peso y volumen de gases de combustión, aire y agua.*

	Gases	Gases Secos	Aire	Agua
PESO (kg)	5,850	5,066	4,850	0,793
VOLUMEN (m ³)	4,735	3,749	3,777	0,986

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra el peso ideal y el porcentaje representativo de los gases que conforman los gases emitidos por la combustión de un kg de bagazo.

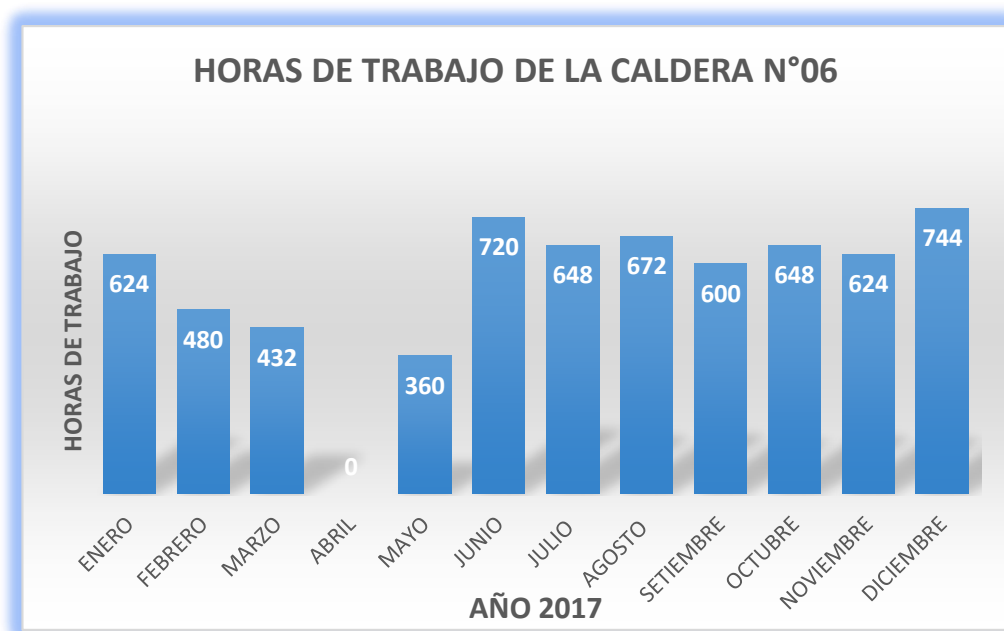
Tabla 17. *Composición de los gases de combustión.*

H₂O	0,793	13 ,560 %
CO₂	0,860	14 ,713 %
O₂	0,458	7 ,835 %
N₂	3,734	63 ,886 %
Total	5,845	100%

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que la Caldera N° 06 quema 2,898 kg/s de bagazo y el histórico de horas de trabajo anual del año 2017 de las Caldera N° 06.

Gráfica 2. *Horas de trabajo de la Caldera N 06 - 2017*



Fuente: Departamento de mantenimiento – Sección Calderas

Se muestra las horas de trabajo al mes de la Caldera N° 06, en el mes de abril se realizó mantenimiento anual programado. Se estimará un aproximado de horas trabajo al año ya que las horas de trabajo anuales varían por diferentes factores,

como: paradas de planta, mantenimiento programado, cosecha, clima entre otros. Se estimó 6 600 horas al año de trabajo.

Entonces se determinó la cantidad de gases que se emite por segundo, hora y al año como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 18. *Cantidad de emisiones en un segundo, hora y año.*

	kg/s	tn/h	tn/año
H ₂ O	2,298	8,273	54601,18
CO ₂	2,492	8,972	59215,20
O ₂	1,327	4,778	31534,80
N ₂	10,821	38,956	257109,60

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la tabla de sólidos no quemados; que es el bagazo que no llega a combustionar completamente constituidos por las cenósferas y el hollín.

Tabla 19. *Cantidad de sólidos no quemados por segundo, hora y año.*

	kg/s	tn/h	tn/año
SOLIDOS NO QUEMADOS	0,107	0,386	2457,6

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Eficiencia del lavador de gases

Es muy difícil hallar el diámetro de las partículas inmersas en los gases combustión porque son amorfas, por esta razón se efectuó la idea de “diámetro aerodinámico”. Entonces por tener diversos diámetros las partículas, se distribuyen por rangos, y a cada uno de estos rangos le corresponderá un porcentaje de masa total.

Como se describe en la tabla 20, se especifican los diámetros de las partículas por rangos, así como también el porcentaje de masa que le corresponde a cada rango.

Tabla 20. *Distribución del tamaño de partícula.*

RANGO (μm)	MASA (%)
0 - 0.625	31.1
0.625 - 1	4.3
1 - 2.5	7.9
2.5 - 5	8.7
05 - 10	13
10 - 100	35

Fuente: (H.E, Air Pollution Control. EE.UU 1998) (Vera, 2005)

Se analizaron los rangos para cada tamaño de partículas, concentrados en los gases de combustión, para poder hallar la eficiencia de colección.

$$\eta_0 = n_j * m_j$$

Donde:

n_j = eficiencia de colección del rango

m_j = masa en porcentaje del rango

Se necesita analizar cada rango del tamaño de la partícula, para encontrar la eficiencia de remoción total.

Según la tabla 20, corresponde un diámetro promedio de 55 μm , para las partículas del rango contenido entre 10 y 100 μm ; además le corresponde un 35% de masa total. Se tendrá en cuenta el factor líquido / gas (**L/G**), el diámetro promedio de la gota (**d_d**), parámetro de impacto (**k_p**), penetración (**P_t**), caída de presión.

❖ **Relación Líquido / Gas**

La relación líquido – gas, es el volumen de fluido inyectado, por el volumen del total de los gases a tratar.

$$L = \text{Flujo de agua} = 0,0356 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$G = \text{Flujo de gases} = 24,69 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L/G = 0,00144 = 1,44 \text{ l/m}^3$$






❖ Diámetro de las Gotas

Existen factores que predominan sobre el diámetro de la gota, como son: el tipo de boquilla, el caudal y la presión. También se toma en cuenta la pulverización (atomización).

A continuación, se muestra el diámetro promedio de la gota, para cada tipo de chorro, con relación al caudal máximo y mínimo a presión constante.

Se eligió boquillas de cono lleno por lo que el diámetro promedio (d_d) en micras de la gota es de 1975 μm .

Tabla 21. Diámetro promedio de gotas.

TIPO DI UGELLO TYPE OF NOZZLE TIPOS DE BOQUILLAS	PORTATA CAPACITY CAUDAL	Ø Microns
 ATOMIZZATORI PNEUMATICI AIR ATOMIZING NOZZLES ATOMIZADORES NEUMÁTICOS	min 0,05 max 10	20 180
 ATOMIZZATORI IDRAULICI HYDRAULIC ATOMIZERS ATOMIZADORES HIDRAULICOS	min 0,1 max 1,6	110 330
 UGELLI CONO VUOTO HOLLOW CONE NOZZLES BOQUILLAS DE CONO HUECO	min 0,39 max 95	300 1900
 UGELLI GETTO PIATTO FLAT SPRAY NOZZLES BOQUILLAS DE CHORRO PLANO	min 0,39 max 31	220 2400
 UGELLI CONO PIENO FULL CONE NOZZLES BOQUILLAS DE CONO LLENO	min 0,74 max 104	850 3100

Fuente: EUSPRAY – Italia

❖ **Parámetro de impacto (k_p)**

El mecanismo principal para la remoción en los equipos de limpieza, se basa en el comportamiento del choque inercial, entonces se puede decir que es predominante el parámetro de impacto en el diseño:

$$K_p = \frac{d_a^2 * V_p}{9 * \mu_g * d_d}$$

Donde:

V_p = velocidad de partícula, 2469cm/s

d_d = diámetro de la gota, 0,1975 cm

μ_g = viscosidad del gas, en Poise $22,1 * 10^{-4}$

d_a = diámetro aerodinámico de partícula

Teniendo en cuenta el promedio de cada rango del diámetro aerodinámico, se encuentra el parámetro de impacto.

Se comenzó por analizar el rango de 10 a 100 μm , teniendo como promedio del diámetro aerodinámico 55 μm , luego de la misma manera para la categoría de 5 a 10 μm , que tiene como diámetro aerodinámico en promedio 7,5 μm , calculando así el respectivo valor de penetración.

Para un rango de 10 a 100 μm $K_p = 1901,273$ y para el rango de 5 a 10 μm $K_p = 35,354$

❖ **Penetración**

Para un diámetro de particular establecido, la penetración se determina por medio de:

$$P_t = EXP \left\{ \frac{Q_L * V_G * \rho_L * d_d}{55 * Q_G * \mu_G} * \left[-0,7 - K_p * 0,5 + 1,4LN \left(\frac{K_p * f' + 0,7}{0,7} \right) + \frac{0,49}{0,7 + k_p * f'} \right] * \frac{1}{K_p} \right\}$$

Donde:

Q_L = Flujo volumétrico del líquido 0,356 m³/s

V_G = Velocidad del gas 2469 cm/s

ρ_L = Densidad del líquido 1 g/cm³

d_d = Diámetro de la gota 0,1975 cm

Q_G = Flujo volumétrico del gas 24,69 m³/s

μ_G = Viscosidad del gas 22,1*10⁻⁴ P

K_p = Parámetro de impacto

f' = Factor empírico 0,5

Reemplazando obtenemos la penetración para un rango de 10 a 100 μm

$P_t = 0,000034426$; y para el rango de 5 a 10 μm $P_t = 0,0020482032$

Para el rango de menores a 5 μm , se considera la caída de presión.

❖ Caída de presión

Con la siguiente relación, se halla la caída de presión:

$$\Delta P = 2 * \rho_L * V_G^2 * \left(\frac{Q_L}{Q_G}\right) * \left(1 - X^2 + \sqrt{X^4 - X^2}\right)$$

Donde:

ρ_L = Densidad del líquido 1 g/cm³

V_G = Velocidad del gas 2469 cm/s

Q_L = Flujo volumétrico del líquido 0,356 m³/s

Q_G = Flujo volumétrico del gas 24,69 m³/s

El valor de “X” será es hallado por medio de la siguiente expresión:

$$X = \frac{3 * l_t * C_D * \rho_G}{16 * d_d * \rho_L} + 1$$

Donde:

l_t = Diámetro del ducto de entrada 250 cm

C_D = coeficiente de arrastre para gotas según su diametro

ρ_L = Densidad del líquido 1 g/cm³

d_d = Diámetro de la gota 0,1975 cm

ρ_G = Densidad del gas 1,8612*10⁻³ g/cm³

El número de Reynolds varía de 10 a 500, para las torres de limpieza Venturi; su relación es de la siguiente manera:

$$Re_D = \frac{\rho_G * V_G * d_d}{\mu_G}$$

Donde:

ρ_G = Densidad del gas 1,8612*10⁻³ g/cm³

V_G = Velocidad del gas 2469 cm/s

d_d = Diámetro de la gota 0,1975 cm

μ_G = Viscosidad del gas 22,1*10⁻⁴ P

Reemplazando $Re_D = 410,666$ En ese rango el valor de C_D puede determinarse así:

$$C_D = \frac{24}{Re_D} + \frac{4}{Re_D^{1/3}}$$

Siendo el valor de $C_D = 3,287$ con esos datos se obtiene el valor de $X = 2,4521$ y la caída de presión $\Delta P = 8,55 \text{ cm } H_2O$

Como se mencionó para los rangos menores de 5 μm , se necesitaba el valor de la caída de presión para aplicarlo a la siguiente expresión:

$$P_t = 3,47 * (\Delta P)^{-1,43}$$

Siendo la penetración para rangos menores a 5 μm , es de $P_t = 0,161159$
Obtenidos los valores de penetración para los diferentes rangos, se obtiene las eficiencias fraccionales para cada rango con la siguiente ecuación:

$$P_t = 1 - \eta$$

- Eficiencia fraccional para el rango de 10 a 100 μm
 $\eta = 1 - 0,000034426 = 0,999965574$
 $\eta_{frac} = 0,999965574 * 35 \% = 34,99879$

- Eficiencia fraccional para el rango de 5 a 10 μm
 $\eta = 1 - 0,002048203 = 0,997951797$
 $\eta_{frac} = 0,997951797 * 13 \% = 12,97337$

- Eficiencia fraccional para un rango < a 5 μm , con una masa de 31.1%
 $\eta = 1 - 0,161159 = 0,838841$
 $\eta_{frac} = 0,838841 * 31,1 \% = 26,08795$

- Eficiencia fraccional para un rango < a 5 μm , con una masa de 4,3%
 $\eta = 1 - 0,161159 = 0,838841$
 $\eta_{frac} = 0,838841 * 4,3 \% = 3,60701$

- Eficiencia fraccional para un rango < a 5 μm con una masa de 7,9 %
 $\eta = 1 - 0,161159 = 0,838841$
 $\eta_{frac} = 0,838841 * 7,9 \% = 6,62684$

- Eficiencia fraccional para un rango < a 5 μm con masa de 8,7 %
 $\eta = 1 - 0,161159 = 0,838841$
 $\eta_{frac} = 0,838841 * 8,7 \% = 7,29791$

A continuación la siguiente tabla la muestra la distribución de partícula y la eficiencia global del lavador de gases $\eta_0 = 91,591 \%$

Tabla 22. Distribución del particulado y eficiencia global del lavador.

EFICIENCIA DE RECOLECCION					
Rango (μm)	d _{pm} (μm)	m (m _j) (%)	Pt	η (η _j)	η _j * m _j
0 - 0,625	0,3125	31.1	0,161159	0,838841	7, 29791
0,625 - 1	0,8125	4.3	0,161159	0,838841	6, 62684
1 - 2,5	1,75	7.9	0,161159	0,838841	3, 60701
2,5 - 5	3,75	8.7	0,161159	0,838841	26, 08795
5 - 10	7,5	13	0,002048203	0,997951797	12, 97337
10 - 100	55	35	0,000034426	0,999965574	34, 99879
η_o					91, 59187

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Determinación de la disminución de material particulado en los gases de combustión de la caldera N° 06

El lavador de gases presentado como propuesta tiene una eficiencia de recolección de 91,591 %. Teniendo en cuenta la relación de la tabla N° 18; a continuación, se muestra el flujo de gases que no se emitirán al medio ambiente mediante este diseño.

Tabla 23. Reducción de la emisión de gases al ambiente.

	kg/s	tn/h	tn/año
H₂O	2,091	7,528	49684,8
CO₂	2,267	8,163	53875,8
O₂	1,207	4,347	28690,2
N₂	9,847	35,449	233963,4

Fuente: Elaboración propia

Tomando como dato la eficiencia de recolección del lavador de gases = 91,591 % podemos estimar la cantidad de solidos no quemados que no se emitirán al medio ambiente.

Tabla 24. Cantidad de solidos no quemados que no se emitirán al medio ambiente.

	kg/s	tn/h	tn/año
SOLIDOS NO QUEMADOS	0,0963	0,3474	2292,84

Fuente: Elaboración propia

3.4 Realizar evaluación económica del lavador de gases.

Análisis de costos

Para llevar a cabo la realización de un proyecto, es primordial identificar los recursos que se utilizaran para llevar a cabo cualquier labor, a esto se le denomina análisis de costo; donde determina la cantidad y calidad de todos los recursos a utilizarse. En pocas palabras analiza el costo total del proyecto en términos de dinero.

Inversión de capital total

Constituido por los costos referidos con la compra de los materiales para la fabricación del lavador de gases y los costos directos e indirectos que tienen que ver con el montaje, construcción del equipo de condensación. La inversión de capital total (TCI) está dada por:

$$TCI = EC + DC + IC$$

Donde:

EC = costos de equipo (lavador de gases)

DC = costos directos de instalación

IC = costos indirectos de instalación

❖ Costos de equipo (lavador de gases)

El costo de equipo (*EC*), es la suma de todos los costos, que conforman el equipo lavador de gases, controles e instrumentos.

Tabla 25. Costo de equipos y herramientas para la fabricación.

COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS PARA LA FABRICACION					
ITEM	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT. (S./)	PRECIO (S./)
1	2	unid.	Nivel 12"	13.00	26.00
2	2	unid.	Llave Stilson 12"	36.00	72.00
3	3	unid.	Tecla de 3 Toneladas	572.00	1,716.00
4	12	balón	Oxigeno industrial 10 m ³	270.00	3,240.00
5	4	balón	Gas acetileno 12 kg	180.00	720.00
6	4	unid.	Llave Francesa 12"	35.00	140.00
7	4	unid.	Comba de 2 kg	56.00	224.00
8	2	unid.	Equipo de oxicorte completo	1,600.00	3,200.00
9	3	unid.	Amoladora de 4,5"	460.00	1,380.00
10	3	unid.	Amoladora de 7"	590.00	1,770.00
11	50	m	Manguera para equipo oxicorte	10.00	500.00
12	60	unid.	Disco de desbaste 4,5 "	5.00	300.00
13	50	unid.	Disco de corte de 4,5"	6.00	300.00
14	50	unid.	Disco de desbaste 7 "	11.00	660.00
15	60	unid.	Disco de corte de 7"	8.80	440.00
16	5	unid.	Extensión electrica de 20 m	90.00	450.00
17	2	unid.	Escuadra metálica de 25"	25.00	70.00
18	3	unid.	Taladro de 1/2"	169.00	507.00
19	10	unid.	Brocas de 1/2"	22.00	220.00
20	4	unid.	Wincha de 5 m	19.00	76.00
21	4	unid.	Wincha de 8	30.00	120.00
22	1	caja	Tizas calderera	15.00	15.00
Total S./					16,146.00

Tabla 26. Costo de materiales de todo el sistema.

COSTO DE MATERIALES PARA LA FABRICACION DEL LAVADOR DE GASES					
ITEM	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT. (S./)	PRECIO (S./)
DUCTO DE GASES					
1	27	Plancha	Plancha de acero ASTM A-36 5,9 x 1,200 x 2,400	395	10,665.00
2	1	Plancha	Plancha de acero ASTM A-36 1/2" x 1,200 x 2,400	920	920.00
3	104	kg	Soldadura SUPERCITO 3/16"	13,70	1424,8
CONDENSADOR DE GASES					
1	20	Plancha	Plancha de acero ASTM A-36 5,9 x 1,200 x 2,400	395	10,665.00
2	58	kg	Soldadura SUPERCITO 3/16"	13,70	794,6
3	4	unid.	Viga I soporte del condensador W8 x 31 Lb/pie ASTM A-36 x 6 m	846	3,384.00
TUBERIA DE AGUA DE CONDENSACION					
1	11,6	unid.	Tubería de distribución de agua ASTM A-53 Ø 4 SHC 40	540	3,780.00
2	6	unid.	Codo de 90° Ø6 SHC 40	80	480.00
CIMENTACION					
1	5	bolsa	Cemento 50 kg	22	110.00
2	47	m ³	Piedra chancada	8	376.00
3	76	unid.	Fixser perno de anclaje 1/2"x 4 1/4"	7,5	570.00
Total S./					30,950.00

Tabla 27. Costo de equipos y accesorios.

COSTO DE EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA EL LAVADOR DE GASES					
ITEM	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT. (S./)	PRECIO (S./)
1	1	unid.	Motor eléctrico Siemens 60 HP	6,890.00	6,890.00
2	1	unid.	Bomba centrífuga moelo 80-315 Hidrostral	10,172.00	6.00
3	6	unid.	Toberas aspersoras TF-64 2 bar angulo 90°	200.00	1,200.00
4	3	unid.	Valvula de compuerta Ø 3" clase 600	2,302.00	6,906.00
5	1	unid.	Valvula CHECK Ø 3" clase 600	1,850.00	1,850.00
6	190	m	Conductor elect. TW-70 mm ²	8.90	1,691.00
Total S./					18,543.00

❖ **Costos directos de instalación**

Está constituido por costos de materiales y mano de obra, directamente comprendidos con la ubicación, construcción de la torre de limpieza (lavador de gases).

Estos costos incluyen:

- La instalación eléctrica
- Tuberías
- Aislantes
- Pinturas
- Construcción de cimientos
- Soportes.

Tabla 28. Costo de montaje.

COSTO MONTAJE PARA EL LAVADOR DE GASES					
ITEM	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT. (S./)	PRECIO (S./)
1	30	hora	Camión plataforma 6 x 4 260 - 300 Hp , 19 tn	100.00	3,000.00
2	2	balón	Gas acetileno x 12 kg	180.00	360.00
3	1	balón	Oxigeno industrial 10 m ³	270.00	540.00
4	24	unid.	Pernos G8 de 3/4" x 5" C/T + anillos de presión	15.00	360.00
5	3	unid.	Junta espirometálica Ø 3" clase 600	46.50	139.50
6	30	unid.	Disco de desbaste 7"	11.00	330.00
7	20	unid.	Disco de corte 7"	8.50	170.00
8	30	unid.	Disco de desbaste 4,5"	6.00	180.00
9	20	unid.	Disco de corte 4,5"	5.00	100.00
10	40	kg	Eléctrodo SUPERCITO AWS 7018 Oerlikon 3/16"	13.70	548.00
Total S./					5,727.50

Tabla 29. Costo de mano de obra.

COSTO MANO DE OBRA					
ITEM	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT. (S./)	PRECIO (S./)
1	30	dia	Soldadores (4)	100.00	12,000.00
2	30	dia	Caldereros (3)	100.00	9,000.00
3	30	dia	Montajistas (6)	100.00	18,000.00
4	10	dia	Mecánico	100.00	1,000.00
5	10	dia	Eléctrecista	100.00	1,000.00
6	30	dia	Ayudantes (6)	70.00	12,600.00
Total S./					53,600.00

❖ **Costos indirectos de instalación**

Constituidos por los costos de EPP, costos de contingencia en el transcurso del proyecto, los pagos por honorarios de contrata, la supervisión e ingeniería, las pruebas y la puesta en marcha del lavador de gases.

Tabla 30. Costo de EPP.

COSTO DE EPP					
ITEM	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT. (S./)	PRECIO (S./)
1	20	pares	Guantes cuero para maniobra	22.00	440.00
2	15	pares	Guantes de soldador	25.00	375.00
3	20	unid.	Lentes anti impacto	5.00	100.00
4	24	unid.	Luna negra N° 12 para careta	4.00	96.00
5	5	unid.	Careta de soldador	30.00	150.00
6	6	unid.	Casaca de soldador	25.00	150.00
7	8	unid.	Mandil de soldador	20.00	160.00
8	6	unid.	Lentes IR para corte	8.00	48.00
9	21	unid.	Cascos anti impacto	35.00	735.00
10	20	unid.	Tapones auditivos	5.00	100.00
Total S./					2,354.00

Tabla 31. Costo total del lavador de gases.

COSTO TOTAL DEL LAVADOR DE GASES		
ITEM	COSTOS	SUB TOTAL S./
1	Costos de equipos y herramientas para la fabricación	16,146.00
2	Costos de materiales para la fabricación	30,950.00
3	Costos de equipos y accesorios para el lavador de gases	18,543.00
4	Costos de montaje para el lavador de gases	5,727.50
5	Costos de equipos de protección personal	2,354.00
6	Costos de mano de obra	53,600.00
TOTAL S./		127,320.50

❖ Costo de emisión de CO₂

En el Perú se emite al día, aproximadamente 380 mil toneladas de CO₂, por los procesos en las diferentes industrias y por malas prácticas de la población que perjudican directamente al medio ambiente.

En las diferentes convenciones internacionales, por diferentes naciones; en su afán por mitigar el impacto ambiental a manos de las miles de industrias en el mundo, cuyas emisiones de CO₂ causan un daño irreversible en el medio ambiente; se proponen medidas con la intención de reducir las emisiones contaminantes, uno de estos mecanismos fue propuesto en el Protocolo de Kyoto, fueron los bonos de carbono.

El costo estimado por una tonelada de CO₂ emitida al medio ambiente, actualmente es de 0,27 € = S./1,03 CER. Los CER (Certificados de Emisión de Reducciones) equivalen a una emisión de una tonelada de CO₂.

Gracias a la propuesta de diseño del lavador de gases, se podrá evitar la emisión de 53 875,8 tn/año, equivalentes a S./55 492,074 por lo que representaría un ahorro económico para la empresa.

IV. DISCUSION

- Prado (2016, p.19) referencia [1].

El investigador en su proyecto; menciona que con hallando la cantidad de los gases de combustión, se determinara las dimensiones que tendrá el lavador; con lo que concuerdo con él, ya que se caracterizó y cuantifico los gases de combustión cargados de material particulado, para saber las dimensiones del equipo de lavado de gases para la caldera; otro dato importante que menciona es que conociendo la temperatura y el de flujo de la corriente gaseosa se definirá el volumen del líquido o fluido de lavado que se utilizara en el proceso de absorción; efectivamente estos datos permitieron obtener el flujo másico necesario de agua para la condensación de los gases.

- Martínez (2010, p.9) referencia [2].

Según la capacidad de la Caldera para generar se puede vincular con el total de ceniza, concuerdo con su conclusión ya tomando como dato la producción de vapor / hora; se encontró el flujo másico de combustible (bagazo) de la caldera, para luego definir la cantidad de flujo másico de gases de combustión de la caldera. También menciona; que la cantidad de las partículas inquemadas, que son bagazo o quemado, depende del rendimiento de la Caldera; concuerdo con su afirmación, obtenido la eficiencia actual de la caldera se calculó la medida de solidos no quemados; que son partículas del bagazo que no llega a combustionar completamente.

- Lucas (2012, p.50) referencia [3].

Se tiene que tener en cuenta que el líquido se suministre a la torre de condensado a través de tuberías, instalando toberas aspersores que distribuyan el líquido por toda el área trasversal de la cámara; es por eso que es importante asegurar el choque entre los gases y el fluido. Estoy de acuerdo con su conclusión, el diseño del lavador se calculó para 6 boquillas aspersores de líquido (agua), a presión en contra corriente para remover los gases que contienen material particulado de la caldera.

- Jiménez (2003, p.27) referencia [4].

De acuerdo con Jiménez, los lavadores de gases atrapan material particulado de tamaño pequeño, con la ayuda de gotas grandes de líquido, cuyos tamaños supera los 50 μm . Para este diseño se optó por boquillas de cono lleno con gotas de diámetro mayores a 1500 μm para mayor remoción.

V. CONCLUSIONES

1. Se caracterizó y cuantificó los gases que contienen particulado, ceniza volante e inquemados de la Caldera N° 06, para conocer sus propiedades químicas (porcentaje de gases) y físicas (tamaño, apariencia); y así presentar la propuesta de diseño del lavador de gases en función al flujo másico del material a condensar 16,373 kg/s. Fue necesario los reportes de análisis de gases a la salida de la Caldera, para obtener datos en promedio de temperatura de los gases (158° C) y porcentaje de CO₂ (12%).
2. Se calcularon los parámetros de funcionamiento del lavador de gases; como la cantidad de gases y particulado, la cantidad de agua necesaria para la condensación de los gases 35,53 l/s, el punto de rocío de los gases (60° C), para poder seleccionar los equipos que lo conforman. El lavador tendrá una altura útil de 7 m y un diámetro de 2,5 m; contando con dos etapas de condensación, la primera compuesta por mamparas para aumentar la superficie de choque o de contacto entre el fluido, la segunda etapa compuesta por toberas pulverizadoras de agua a una presión de 3 bares.
Se seleccionó la bomba centrífuga en bases a la demanda de agua requerida por el condensador y el motor que accionará la bomba de potencia nominal de 60 HP.
3. Se determinó la cantidad de material particulado inmerso en los gases de combustión, teniendo en cuenta las horas de trabajo al año de la Caldera N° 06, se estimó que 59 915,20 toneladas de CO₂ emite al año. Para determinar la eficiencia de remoción del particulado se analizaron los diámetros

aerodinámicos de las partículas en diferentes rangos, teniendo en cuenta factores como la relación L/G (líquido – gas), el diámetro promedio de la gota, el parámetro de impacto y la penetración.

Determinando una eficiencia de del 91,591% de recolección para el lavador de gases, reduciendo significativamente las emisiones. Con el dato obtenido de eficiencia del lavador se redujo la emisión inicial de material particulado de 16,373 kg/s a 1,638 kg/s.

4. El proyecto es viable técnicamente ya que condensara los gases residuales, en cuanto a la viabilidad económica no se garantiza el retorno de la inversión; pero se evitara la emisión de 5 3875,8 toneladas de CO₂ al año lo que representa S./ 55 492,074 de ahorro para la empresa por concepto de bonos de carbono.

VI. RECOMENDACIONES

- Desarrollar y ejecutar el plan de mantenimiento preventivo que permita la correcta operación del lavador de gases, salvaguardando la integridad del operador y la de los equipos.
- Se necesita regular el flujo de gas y líquido automáticamente, ya que las condiciones de operación del lavador son variables. Es por ello que se recomienda la incorporación de control automático al sistema.
- En la parte superior del condensador se puede implementar un eliminador de neblina.
- Con la implementación de este proyecto, la empresa puede afiliarse al mercado de bonos de carbono (CER), ya que generaría un ingreso por cada tonelada no emitida al medio ambiente de CO₂.
- Capacitar al personal sobre la importancia y operatividad del condensador de gases.

REFERENCIAS.

ALDERETES, Carlos. Calderas a Bagazo – Proyecto, operación y mantenimiento. 1era ed. Impreso en Argentina, 2016. 670 pp.

ISBN: 978-987-42-0250-5

REIN, Peter. Ingeniería de la caña de azúcar. Impreso en Alemania, 2012. 879 pp.

ISBN: 9783870401429

HOWARD, Payner. Cogeneration in the cane sugar industry. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V. Amsterdam, 1991. 329 pp.

ISBN: 0444888268

HUGOT, Émile. Manual para ingenieros azucareros. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V. Amsterdam, 1972. 804 pp.

ISBN: 9780444408969.

MUSSATTI, Daniel. Manual de costos de control de contaminación del aire de la EPA. 6ta ed. Agencia de Protección Ambiental de EE. UU, 2002. 473 pp.

Caña y azúcar en el agro costeño, por Alexis Dueñas [et al]. Perú Tarapoto: SEPIA, 20 (4), agosto 2007.

Decreto supremo N° 003-2017-MINAM. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 07 de Junio del 2017.

BUDYNAS y KEITH. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8va ed. Mexico: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2008. 1092 pp.

ISBN – 13 : 9789701064047

MOTT, Robert. Resistencia de materiales aplicada. Mexico: Perarson Educación de Mexico. S.A, 2006. 994 pp.

ISBN: 9702608120

SCIFFTNER, Kenneth. Air Pollution Control Equipment Selection Guide. 6ta ed. EE. UU, New York: Taylor & Francis Group, LLC, 2014. 250 pp.

ISBN – 13: 9781466561823

BAUKAL, Charles. Industrial Combustion Pollution and Control. New York: Mercel Dekker, New York, 2004. 890pp.

ISBN: 0824746945

COLOMER y GALLARDO. Trataiento y gestion de residuos solidos. Valencia: Editorial LIMUSA, S.A de C.V, 2013. 328 pp.

ISBN: 9788681870362

ROMERO [et al.]. . Captura y almacenamiento de CO₂ . 1era ed. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, Editorial, 2010. 227 pp.

ISBN: 9788492521692

CASTELLS, Xavier. Tratamiento y valorizacin energética de reiduos. España: Ediciones Díaz de Santos, 2005. 355 pp.

ISBN: 8479786949

ANEXOS


ANEXO 01

➤ Instrumentos de recolección de datos

Guía de observación N° 01

Ficha de recolección datos de emisión de CO₂ de la Caldera N° 06

SALIDA DE GASES DE COMBUSTIÓN - CALDERA N° 06

	CARACTERISTICAS DE LA CALDERA
	TIPO:
	CPACIDAD:
	COMBUSTIBLE:
CONSUMO DE COMBUSTIBLE :	

PARAMETROS	FECHA DE MUESTREO					
TEMPERATURA CHIMENEA						
% CO ₂						
% O ₂						

Fuente: Elaboración propia

Guía de observación N° 02



ESTADO ACTUAL DE LA CALDERA
N° 06

EQUIPOS	OPERATIVO	INOPERATIVO
Tiro Inducido		
Tiro Forzado		
Aire Secundario		
Alimentadores de Bagazo		
Hogar		
Parrillas		
Soplador de Hollín		
Válvula de seguridad		
Válvula de partida		
Economizador		
Calentadores de Aire		
Sobrecalentador		
Tubería alimentación de agua		
Domos		
Colector de vapor		
Cenicero		
Mampostería		
Chimenea		
Purgas		
Niveles		
Válvulas de alivio		

Fuente: Elaboración propia

➤ **Validación de las guías de observación**

**FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y Nombres:

MELENDEZ FERNANDEZ RENE

Profesión:

INGENIERO

Grado Académico:

INGENIERO EN ENERGIA

Actividad laboral actual:

JEFE DE SECCION CALDERAS

EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A.A.

INDICACIONES AL EXPERTO

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema del proyecto de investigación evaluado.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 Muy Alto
--------------	-----------	--------------	-----------	-------------------------------------

Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio, o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	B (MEDIO)	C (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados (AT)	X		
b) Experiencia como profesional (EP)	X		
c) Trabajos estudiados de autotres nacionales (AN)	X		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros (AE)		X	
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación (CP)	X		


 René Meléndez Fernández
 INGENIERO EN ENERGÍA
 CIP N° 90381

Firma del entrevistado

Estimado experto:

El instrumento de recolección de datos a validar es una guía de observación, cuyo objetivo es recolectar información relacionada con respecto al "Diseño de un lavador de gases para determinar la disminución del material particulado de la caldera acuotubular N°06 en agroindustrial Pomalca 2018"

De tal manera que, con la finalidad de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera importante la aplicación de esta guía de observación para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente X Poco pertinente _____ o es Pertinente _____

Por favor, indique las razones:

LA GUIA PERMITIRA TOMAR DATOS EN TIEMPO REAL PARA CONOCER EL ESTADO ACTUAL DE LA CALDERA.

2. ¿Considera que la guía de observación formula los datos suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes X Insuficientes _____

Por favor, indique las razones:

SI, SON SUFICIENTES, POR QUE CON LOS DATOS OBTENIDOS SE PODRA DISEÑAR EL LAVADOR DE GASES PARA LA CALDERA.

3. ¿Considera que la guía de observación esta adecuadamente formulada de manera tal que no haya dudas en la toma y recolección de datos?

Son adecuadas X Poco adecuadas _____ Inadecuadas _____

Por favor indique las razones:

SI ESTA BIEN FORMULADA, POR QUE LOS DATOS A OBTENER SON MUY ESPECIFICOS PARA ESTE FIN.

4. ¿Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos?

ÍTEM	PRECISIÓN			RELEVANCIA			SUGERENCIAS
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco relevante	Irrelevante	
1	X			X			
2	X			X			
3	X			X			

5. ¿Qué sugerencias haría Ud. para mejorar el instrumento de recolección de datos?

CONTAR CON UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DEBIDAMENTE CALIBRADO PARA EL LOGRO DE OBJETIVOS.

Le agradecemos por su colaboración en este proyecto de investigación.

Fecha de evaluación 04 - JUL - 18

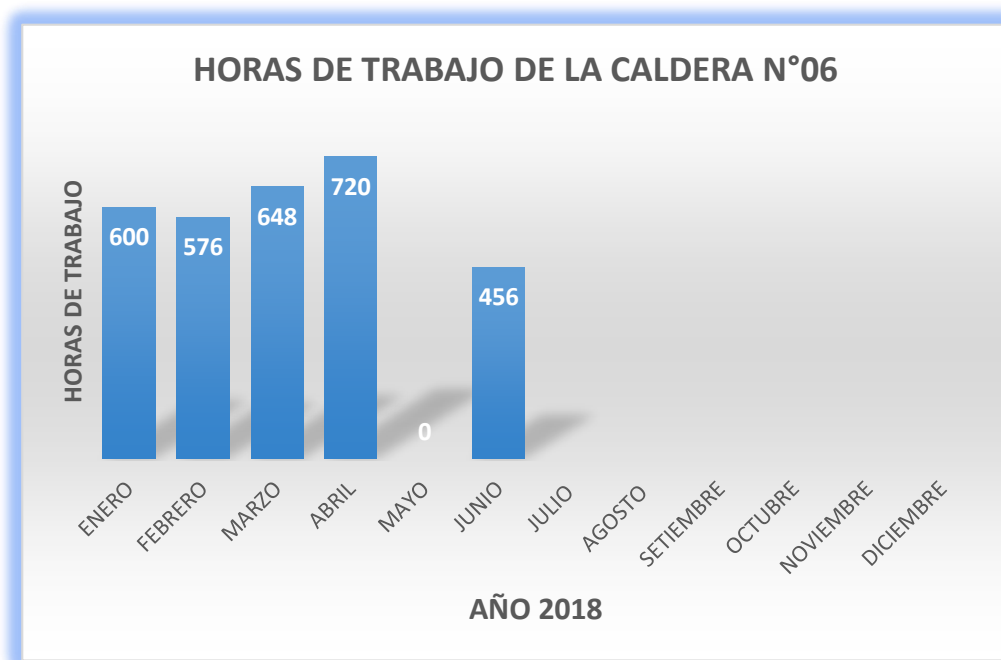

 Renée Meléndez Fernández
 INGENIERO EN ENERGÍA
 CIP N° 90981

Firma del experto

➤ **Horas de trabajo de la Caldera año 2017 – 2018 / Situación actual de la Caldera N° 06 (Fotografías)**



Gráfica 1. Horas de trabajo de la Caldera – Año 2017.



Gráfica 2. Horas de trabajo de la Caldera – Año 2018.



Foto. N°1. Parte superior Caldera 06, domos superiores y chimenea.



Foto. N°2. Motor Tiro Inducido, afectado por la ceniza.



Foto. N°3. Parte superior de Caldera 06, equipos Tiro Inducido y Forzado



Foto. N°4. Población afectada por el material particulado, ceniza y humo

ANEXO 03

➤ Tablas termodinámicas

Propiedades térmicas del agua

AGUA								
Temperatur °C	Densidad ρ (Kg/m ³)	Calor específico c_p J/Kg°C	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /seg)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ N.seg/m ²	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)	Nº de Prandtl Pr	$\frac{g \beta}{\nu^2} \cdot 10^{-9}$
0	999,9	4226	0,558	0,131	1794	1,789	13,7	
20	998,2	4182	0,597	0,143	1004	1,006	7,02	2,035
40	992,3	4178	0,633	0,151	653,0	0,658	4,34	8,833
60	983,2	4181	0,658	0,155	470,0	0,478	3,02	22,75
80	971,8	4194	0,673	0,165	353,7	0,364	2,22	46,68
100	958,4	4211	0,682	0,169	281,0	0,294	1,75	85,09
120	943,1	4245	0,685	0,171	233,0	0,247	1,45	
140	926,1	4279	0,687	0,172	198,2	0,214	1,24	
160	907,6	4338	0,682	0,173	171,5	0,189	1,10	
180	887,0	4413	0,678	0,172	153,5	0,173	1,00	
200	864,8	4501	0,665	0,170	129,0	0,160	0,94	517,2
220	840,5	4606	0,656	0,168	126,0	0,150	0,89	
240	812,2	4752	0,639	0,164	116,0	0,143	0,87	
260	784,0	4944	0,614	0,157	107,5	0,137	0,87	
280	750,8	5204	0,583	0,150	101,4	0,135	0,92	
300	712,5	6594	0,543	0,132	94,1	0,132	1,02	1766

Propiedades térmicas del vapor de agua húmedo

VAPOR DE AGUA HUMEDO										
Temperatura °C	Densidad Kg/m ³		Calor específico kJ/Kg.°C		Conductividad térmica W/m.°C		Viscosidad dinámica $\eta \cdot 10^3$ (Kg/m.seg)		Número de Prandtl Pr	
	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor
0	1000	0,0049	4,21	1,86	0,569	0,0163	1,75	0,0085	13,00	0,97
5	1000	0,0068	4,20	1,86	0,578	0,0167	1,50	0,0087	10,90	0,96
10	1000	0,0094	4,19	1,86	0,587	0,0171	1,30	0,0088	9,29	0,96
15	999	0,0128	4,19	1,87	0,595	0,0175	1,14	0,0090	7,99	0,96
20	998	0,0173	4,18	1,87	0,603	0,0179	1,00	0,0092	6,95	0,96
25	997	0,0230	4,18	1,88	0,611	0,0183	0,89	0,0094	6,09	0,96
30	996	0,0304	4,18	1,88	0,618	0,0187	0,80	0,0095	5,39	0,96
40	992	0,0512	4,18	1,89	0,632	0,0195	0,59	0,0100	3,89	0,95
60	983	0,130	4,19	1,91	0,653	0,0212	0,46	0,0106	2,97	0,95
80	972	0,293	4,20	1,95	0,670	0,0229	0,351	0,0113	2,20	0,96
100	958	0,598	4,22	2,01	0,681	0,0248	0,279	0,1120	1,73	0,97
125	939	1,30	4,26	2,12	0,687	0,0273	0,220	0,0130	1,36	1,01
150	917	2,55	4,32	2,29	0,687	0,0300	0,181	0,0139	1,14	1,07
200	865	7,86	4,51	2,91	0,665	0,0375	0,134	0,0157	0,91	1,22
250	799	19,98	4,87	3,94	0,616	0,0495	0,107	0,0175	0,85	1,39
300	712	46,19	5,65	6,18	0,541	0,0720	0,085	0,0198	0,89	1,70

Propiedades térmicas del aire

AIRE							
Temperatur °K	Densidad ρ (Kg/m ³)	Calor específico c_p kJ/Kg°C	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^4$ (m ² /seg)	Nº de Prandt Pr
100	3,6010	1,027	0,692	1,92	0,0092	0,0250	0,770
150	2,3675	1,010	1,028	4,34	0,0137	0,0575	0,753
200	1,7684	1,006	1,329	7,49	0,0181	0,1017	0,739
250	1,4128	1,005	1,488	10,53	0,0223	0,1316	0,722
300	1,1774	1,006	1,983	16,84	0,0262	0,2216	0,708
350	0,9980	1,009	2,075	20,76	0,0300	0,2983	0,697
400	0,8826	1,014	2,286	25,90	0,0336	0,3760	0,689
450	0,7833	1,021	2,484	31,71	0,0371	0,4222	0,683
500	0,7048	1,030	2,671	37,90	0,0404	0,5564	0,680
550	0,6423	1,039	2,848	44,34	0,0436	0,6532	0,680
600	0,5879	1,055	3,018	51,34	0,0466	0,7512	0,680
650	0,5430	1,063	3,177	58,51	0,0495	0,8578	0,682
700	0,5030	1,075	3,332	66,25	0,0523	0,9672	0,684
750	0,4709	1,086	3,481	73,91	0,0551	1,0774	0,686
800	0,4405	1,098	3,625	82,29	0,0578	1,1981	0,689
850	0,4149	1,109	3,765	90,75	0,0603	1,3097	0,692
900	0,3925	1,121	3,899	99,30	0,0628	1,4271	0,696
950	0,3716	1,132	4,023	108,20	0,0653	1,5510	0,699
1000	0,3524	1,142	4,152	117,80	0,0675	1,6779	0,702
1100	0,3204	1,160	4,440	138,60	0,0732	1,9690	0,704
1200	0,2947	1,179	4,690	159,10	0,0782	2,2510	0,707
1300	0,2707	1,197	4,930	182,10	0,0837	2,5830	0,705
1400	0,2515	1,214	5,170	205,50	0,0891	2,9200	0,705
1500	0,2355	1,230	5,400	229,10	0,0946	3,2620	0,705
1600	0,2211	1,248	5,630	254,50	0,1000	3,6090	0,705
1700	0,2082	1,267	5,850	280,50	0,1050	3,9770	0,705
1800	0,1970	1,287	6,070	308,10	0,1110	4,3790	0,704
1900	0,1858	1,309	6,290	338,50	0,1170	4,8110	0,704
2000	0,1762	1,338	6,500	369,00	0,1240	5,2600	0,702
2100	0,1682	1,372	6,720	399,60	0,1310	5,7150	0,700
2200	0,1602	1,419	6,930	432,60	0,1390	6,1200	0,707
2300	0,1538	1,482	7,140	464,00	0,1490	6,5400	0,710
2400	0,1458	1,574	7,350	504,00	0,1610	7,0200	0,718
2500	0,1394	1,688	7,570	543,50	0,1750	7,4410	0,730

Calor específico de los gases de combustión

TABLA 161. GASES DE COMBUSTION (Habif, Págs. 23 a 26)												
Temp. a °C	Calor específico a T°				Calor específico medio entre 0 y T°				Calor total al calor de 0 a T° a una presión constante, kcal/kg*			
	CO ₂	H ₂ O	N ₂ , CO	O ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂ , CO	O ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂ , CO	O ₂
0	0.199	0.468	0.246	0.214	0.199	0.468	0.246	0.214	0	0	0	0
50	0.207	0.483	0.248	0.216	0.203	0.476	0.247	0.215	10	23	12	10
100	0.215	0.499	0.250	0.218	0.207	0.484	0.248	0.216	20	48	24	21
150	0.224	0.515	0.252	0.220	0.211	0.492	0.249	0.217	31	73	37	32
200	0.232	0.530	0.254	0.222	0.215	0.499	0.250	0.218	43	100	50	43
250	0.240	0.546	0.256	0.223	0.219	0.507	0.251	0.219	55	126	62	54
300	0.248	0.562	0.258	0.225	0.224	0.515	0.252	0.220	67	154	75	66
350	0.256	0.577	0.260	0.227	0.228	0.523	0.253	0.221	79	183	88	77
400	0.264	0.593	0.262	0.229	0.232	0.530	0.254	0.222	92	212	101	88
450	0.272	0.608	0.264	0.231	0.236	0.538	0.255	0.223	106	242	114	100
500	0.281	0.624	0.266	0.232	0.240	0.546	0.256	0.223	120	273	128	111
550	0.289	0.639	0.268	0.234	0.244	0.554	0.257	0.224	134	304	141	123
600	0.297	0.655	0.270	0.236	0.248	0.562	0.258	0.225	149	337	154	135
650	0.305	0.670	0.272	0.238	0.252	0.569	0.259	0.226	164	370	168	147
700	0.313	0.686	0.274	0.240	0.256	0.577	0.260	0.227	179	404	182	159
750	0.321	0.701	0.276	0.241	0.260	0.585	0.261	0.228	195	439	195	171
800	0.330	0.717	0.278	0.243	0.264	0.593	0.262	0.229	211	475	209	183
850	0.338	0.732	0.280	0.245	0.268	0.600	0.263	0.230	228	510	223	195
900	0.346	0.748	0.282	0.247	0.272	0.608	0.264	0.231	245	547	237	208
950	0.354	0.764	0.284	0.248	0.277	0.616	0.265	0.232	263	585	251	220
1 000	0.362	0.779	0.286	0.250	0.281	0.624	0.266	0.232	281	624	266	232
1 050	0.370	0.795	0.288	0.252	0.285	0.631	0.267	0.233	299	663	280	245
1 100	0.378	0.810	0.290	0.254	0.289	0.639	0.268	0.234	318	703	294	258
1 150	0.387	0.826	0.292	0.256	0.293	0.647	0.269	0.235	337	744	309	270
1 200	0.395	0.841	0.294	0.258	0.297	0.655	0.270	0.236	356	786	324	283
1 250	0.403	0.857	0.296	0.259	0.301	0.663	0.271	0.237	376	828	338	296
1 300	0.411	0.872	0.298	0.261	0.305	0.670	0.272	0.238	397	872	353	309
1 350	0.419	0.888	0.300	0.263	0.309	0.678	0.273	0.239	417	916	368	322
1 400	0.427	0.903	0.302	0.265	0.313	0.686	0.274	0.240	439	960	383	336
1 450	0.435	0.919	0.304	0.267	0.317	0.694	0.275	0.241	460	1,006	398	349
1 500	0.444	0.935	0.306	0.268	0.321	0.701	0.276	0.241	482	1,052	414	362

ANEXO 04

➤ Fichas técnicas de los elementos de diseño

Catálogo de boquillas aspersores tipo TF

TF

WIDE RANGE OF FLOWS & ANGLES
WEITER BEREICH VON DURCHFLÜSSEN UND WINKELN
GRANDE GAMME DE DÉBITS ET D'ANGLES DE PULVÉRISATION
AMPLIO MARGEN DE CAUDALES Y ÁNGULOS

DESIGN FEATURES

- The original spiral nozzle
- High energy efficiency
- One piece/no internal parts
- Clog-resistant performance
- High discharge velocity
- Male connection standard; female connection available by special order

SPRAY CHARACTERISTICS

- Wide range of flow rates and spray angles
- Fine atomization
- Spray patterns: Full and Hollow Cone
- Spray angles: 50° to 180°
- Flow rates: 2.26 to 10700 l/min (Higher flow rates available)

AUSFÜHRUNG

- Die Original-Spiraldüse
- Hoher energetischer Wirkungsgrad
- Eintellig - keine Einbauten
- Keine Verstopfungen
- Hohe Austrittsgeschwindigkeit
- Standardausführung Anschluss mit Aussengewinde, Anschluss mit Innengewinde auf Sonderbestellung

SPRÜHEIGENSCHAFTEN

- Weiter Bereich von Durchflussmengen und Sprühwinkeln
- Feine Versprühung
- Sprühbild: Vollkegel und Hohlkegel
- Sprühwinkel: 50° bis 180°
- Durchflussmengen: 2,26 bis 10700 l/min. (Für grössere Durchflussmengen lieferbar)

EXÉCUTION

- Le pulvérisateur hélicoïdal d'origine
- Grande efficacité énergétique
- Construction en une pièce - pas d'élément interne
- Pas de bouchage
- Grande vitesse de sortie
- Exécution standard raccordement à brides, raccordement avec taraudage sur commande spéciale

CARACTERISTIQUES DE PULVÉRISATION

- Grande gamme de débits et d'angles de pulvérisation
- Pulvérisation fine
- Forme de pulvérisation: Cône plein et cône creux
- Angle de pulvérisation: 50° à 180°
- Débits: 2,26 à 10700 l/min (livrables pour des débits plus grands)

CONSTRUCCIÓN:

- La tobera helicoidal original
- Elevado grado de eficacia energética
- De una pieza, sin estructuras internas
- Sin obturación
- Elevada velocidad de salida
- Versión estándar conexión con rosca externa, conexión con rosca interna sobre pedido especial.

PROPIEDADES DE PULVERIZACIÓN

- Amplio margen de caudales y ángulos de pulverización
- Pulverización fina
- Espectro de pulverización: cono lleno y cono hueco
- Angulo de pulverización: 50° hasta 180°
- Caudales: 2,26 hasta 10700 l/min (disponible para caudales mayores)



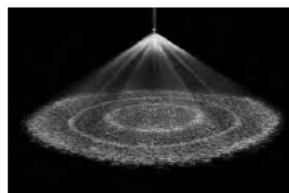
Metal, 60°, 90°, 120°
Metal, 60°, 90°, 120°
Metal, 60°, 90°, 120°
Metal, 60°, 90°, 120°



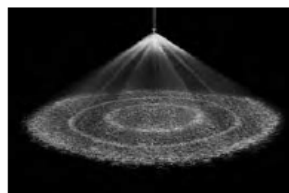
Full Cone 60° (NN)
Vollkegel 60° (NN)



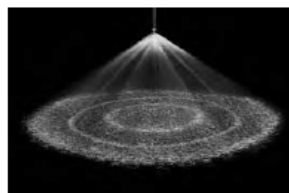
Cône plein 60° (NN)
Cono lleno 60° (NN)



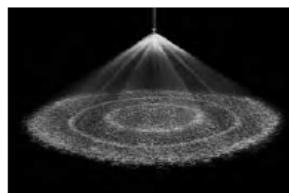
Full Cone 90° (FCN)
Vollkegel 90° (FCN)



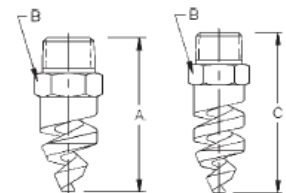
Cône plein 90° (FCN)
Cono lleno 90° (FCN)



Full Cone 150°/170°
Cône plein 150°/170°



Vollkegel 150°/170°
Cono lleno 150°/170°



60°, 90°, 120°

150°, 170°

TF 60° (NN), 90° (FCN, FFCN), 120° (FC, FFC), 150° & 170° Full Cone / Vollkegel / Cône plein / Cono lleno

BSP NPT	NN	∠	K	V̇ l/min @ bar								D ₁ Ø [mm]	D ₂ Ø [mm]	A [mm]			[g]			Materials* Werkstoffe* Matériaux* Materiales*
				0,5 bar	0,7 bar	1 bar	2 bar	3 bar	5* bar	10* bar	20* bar			A	B	C	M	P		
1/8	TF6	60° 90° 120° 150° 170°	3,19	2,26	2,67	3,19	4,51	5,53	7,13	10,1	14,3	2,38	2,38	42,9	14,2		28	6	# 1 (PVC)	
	TF8	60° 90° 120° 150° 170°	5,93	4,19	4,96	5,93	8,36	10,3	13,2	18,7	26,5	3,18	3,18							
1/4	TF6	60° 90° 120° 150° 170°	3,19	2,26	2,67	3,19	4,51	5,53	7,13	10,1	14,3	2,38	2,38	47,8	14,2		35	6	# 2 [§] (Polypro.) Polypropylen	
	TF8	60° 90° 120° 150° 170°	5,93	4,19	4,96	5,93	8,36	10,3	13,2	18,7	26,5	3,18	3,18							
	TF10	60° 90° 120° 150° 170°	9,12	6,45	7,63	9,12	12,9	15,8	20,4	28,8	40,8	3,97	3,18							
3/8	TF6	60° 90° 120° 150° 170°	3,19	2,26	2,67	3,19	4,51	5,53	7,13	10,1	14,3	2,38	2,38	47,8	17,5	60,5	46	7	# 3 (PTFE)	
	TF8	60° 90° 120° 150° 170°	5,93	4,19	4,96	5,93	8,36	10,3	13,2	18,7	26,5	3,18	3,18							
	TF10	60° 90° 120° 150° 170°	9,12	6,45	7,63	9,12	12,9	15,8	20,4	28,8	40,8	3,97	3,18							
	TF12	60° 90° 120° 150° 170°	13,7	9,67	11,4	13,7	19,3	23,7	30,6	43,2	61,1	4,76	3,18							
	TF14	60° 90° 120° 150° 170°	18,5	13,1	15,4	18,5	26,1	32,0	41,3	58,4	82,6	5,59	3,18							
1/2	TF16	60° 90° 120° 150° 170°	24,2	17,1	20,2	24,2	34,2	41,8	54,0	76,4	108	6,35	3,18	63,5	22,4	77,7	85	14	# 4 (Brass) Messing	
	TF20	60° 90° 120° 150° 170°	37,6	26,6	31,5	37,6	53,2	65,1	84,1	119	168	7,87	3,18							
3/4	TF24	60° 90° 120° 150° 170°	54,9	38,8	46,0	54,9	77,7	95,1	123	174	246	9,65	4,76	69,9	28,7	88,9	156	25	# 7 (316 SS) 1.4401	
	TF28	60° 90° 120° 150° 170°	75,2	53,2	62,9	75,2	106	130	168	238	336	11,2	4,76							
1	TF32	60° 90° 120° 150° 170°	95,7	67,7	80,1	95,7	135	166	214	303	428	12,7	4,76	92,2	35,1	111	241	71	# 7 (316 SS) 1.4401	
	TF40	60° 90° 120° 150° 170°	153	108	128	153	216	264	341	483	683	16,0	6,35							
1 1/2	TF48	60° 90° 120° 150° 170°	217	153	181	217	306	375	484	685	968	19,1	6,35	111	50,8	137	624	120	# 7 (316 SS) 1.4401	
	TF56	60° 90° 120° 150° 170°	294	208	246	294	416	509	657	930	1320	22,4	7,94							
	TF64	60° 90° 120° 150° 170°	385	272	322	385	545	667	861	1220	1720	25,4	7,94							
2	TF72	60° 90° 120° 150° 170°	438	309	366	438	619	758	978	1380	1960	28,7	7,94	111	50,8	143	1300	227	# 7 (316 SS) 1.4401	
	TF88	60° 90° 120° 150° 170°	638	451	534	638	902	1110	1490	2020	2850	35,0	11,1							
	TF96	60° 90° 120° 150° 170°	806	570	674	806	1140	1400	1800	2550	3600	38,1	11,1							
3	TF112	60° 90° 120°	1170	825	976	1170	1650	2020	2610	3690	5220	44,5	14,3	219	88,9		3230	567	# 7 (316 SS) 1.4401	
	TF128	60° 90° 120°	1550	1090	1290	1550	2190	2680	3460	4891	6920	50,8	14,3							
4	TF160	60° 90° 120°	2390	1690	2000	2390	3380	4140	5350	7570	10700	63,5	15,9	257	114		4790	765	# 7 (316 SS) 1.4401	

$$\dot{V} (\text{l/min}) = K \sqrt{\text{bar}}$$

* See complete list on page 32 *Vollständige Liste siehe Seite 32 *Liste intégrale cf. page 32 *Vea la lista completa en la página 32

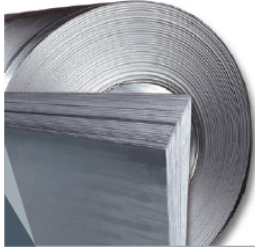
NN = Nozzle No. D₁ = approx. orifice dia. D₂ = approx. free pass. M = Metal P = Plastic
Düsen-Nr. Bohrungs - Ø ca. angster Querschnitt ca. Kunststoff
Pulvérisateur No. Diam. approx. orifice Passage libre min. aprox. Plástico
Tobera No. Diám. aprox. orificio Paso libre min. aprox. Metal

* Above 5 bar not rec. for PTFE * High pressure operation recommended for metal only
* Für Drücke über 5 bar wird nicht empfohlen * Betrieb bei hohen Drücken wird nur für Metalldüsen empfohlen
* Pour des pressions au dessus de 5 bar, le PTFE n'est pas recommandé * User haute pression uniquement avec metal
* Para presiones sobre 5 bar no se recomienda PTFE * Usar alta presión con metal solamente

Plancha estructural ASTM -A36

Planchas y Bobinas Laminadas en Caliente

Planchas y Bobinas LAC



DIMENSIONES NOMINALES	
PLANCHAS LAC Calidad Estructural PDLAC A36 (mm)	BOBINAS LAC Calidad ASTM A36 (mm)
1.5 x 1,200 x 2,400	1.8 x 1,200
1.8 x 1,200 x 2,400	1.9 x 1,200
1.9 x 1,200 x 2,400	2.0 x 1,200
2.0 x 1,200 x 2,400	2.2 x 1,200
2.2 x 1,200 x 2,400	
2.3 x 1,200 x 2,400	
2.5 x 1,200 x 2,400	
2.8 x 1,200 x 2,400	
2.9 x 1,200 x 2,400	
4.0 x 1,200 x 2,400	
4.4 x 1,200 x 2,400	
4.5 x 1,200 x 2,400	
5.9 x 1,200 x 2,400	

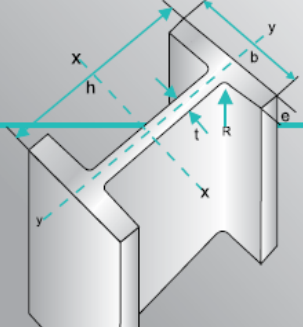
NORMAS TÉCNICAS:
Estructural : ASTM A36

PRESENTACIÓN:
Planchas: Las planchas vienen enzunchadas sin ninguna protección en paquetes de 8.0t como máximo.
Bobinas: Se presentan en calidad estructural. Las bobinas se entregan con peso mínimo de 5 TM aproximadamente, enzunchadas longitudinalmente y transversalmente.

USOS:
Se usa en la fabricación de tubos y perfiles plegados. Asimismo, luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

PROPIEDADES MECÁNICAS:
Estructural
Límite de Fluencia mínimo = 2,550 kg/cm²
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,610 kg/cm²
Alargamiento en 50 mm = 20.0% mínimo
Doblado = a 180° (opcional).
Diámetro Pin = 3e. Sentido Laminación

Viga I ASTM - A 572



WF

PERFIL AMERICANO H E I DE ALAS PARALELAS



Dimensiones: ASTM - A 6
Tolerancias: ASTM - A 6
Calidad de Acero: ASTM - A 572 GR -50

WF		DIMENSIONES				Sección	Peso	Momento de Inercia		Módulo Resistente		Radio de Giro	
		h	b	t	e			cm ⁴	cm ⁴	W _x	W _y	i _x	i _y
mm x kg/mts	Pulg x Lbs/Pie	mm				cm ²	kg/m	I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y
W 150x13,0	W6 x8,5	148	100	4,3	4,9	16,6	13,0	635	82	85,8	16,4	6,18	2,22
W 150x18,0	W6 x 12	153	102	5,8	7,1	23,4	18,0	939	126	122,8	24,7	6,34	2,32
W 150x22,5	W6 x 15	152	152	5,8	6,6	29,0	22,5	1229	387	161,7	50,9	6,51	3,65
W 150x29,8	W6 x 20	157	153	6,6	9,3	38,5	29,8	1739	556	221,5	72,6	6,72	3,80
W 150x37,1	W6 x 25	162	154	8,1	11,6	47,8	37,1	2244	707	277,0	91,8	6,85	3,84
W 200x19,3	W8 x 13	203	102	5,8	6,5	25,1	19,3	1686	116	166,1	22,7	8,19	2,14
W 200x22,5	W8 x 15	206	102	6,2	8,0	29,0	22,5	2029	142	197,0	27,9	8,37	2,22
W 200x26,6	W8 x 18	207	133	5,8	8,4	34,2	26,6	2611	330	252,3	49,6	8,73	3,10
W 200x31,3	W8 x 21	210	134	6,4	10,2	40,3	31,3	3168	410	301,7	61,2	8,86	3,19
W 200x35,9	W8 x 24	201	165	6,2	10,2	45,7	35,9	3450	762	342,0	92,3	8,69	4,09
W 200x41,7	W8 x 28	205	166	7,2	11,8	53,2	41,7	4080	903	398,0	109,0	8,76	4,11
W 200x46,1	W8 x 31	203	203	7,2	11,0	58,6	46,1	4580	1940	451,0	152,0	8,81	5,13
W 200x52,0	W8 x 35	206	204	7,9	12,7	66,5	52,0	5290	1770	511,0	174,0	8,92	5,16
W 200x59,0	W8 x 40	210	205	9,1	14,2	75,5	59,0	6080	2040	582,0	200,0	8,97	5,18
W 200x71,0	W8 x 48	216	206	10,2	17,4	91,0	71,0	7660	2537	709,2	246,3	9,17	5,28
W 200x86,0	W8 x 58	222	209	12,9	20,6	110,3	86,0	9490	3130	852,0	300,0	9,27	5,33
W 250x22,3	W10 x 15	254	102	5,9	6,9	28,9	22,3	2939	123	231,4	24,1	10,09	2,06
W 250x25,3	W10 x 17	257	102	6,1	8,4	32,6	25,3	3473	149	270,2	29,3	10,31	2,14
W 250x28,4	W10 x 19	260	102	6,4	10,0	36,6	28,4	4046	178	311,2	34,8	10,51	2,20
W 250x32,7	W10 x 22	258	146	6,1	9,1	42,1	32,7	4937	473	382,7	64,8	10,83	3,35

Catálogo de motores trifásico SIEMENS

Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		F.S.	In		Eficiencia η %	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m ²	Peso kg
			HP	kW		220V A	440V A								
			25000001108	1LA7 070-4YC60		71M	0,4								
25000001109	1LA7 070-4YA60	71M	0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1590	2,24	1,3	2,7	0,0006	5,5
25000001110	1LA7 071-4YA60	71M	0,6	0,45	1,05	2,20	1,10	69	0,76	1680	2,54	1,8	3,4	0,0008	6
25000001111	1LA7 073-4YA60	71M	0,75	0,56	1,15	2,90	1,45	65	0,79	1650	3,24	1,9	3,7	0,0008	6
25000001113	1LA7 080-4YA60	80M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	69,2	0,87	1660	4,29	1,9	3,7	0,0015	8,1
25000001114	1LA7 081-4YA60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	70	0,85	1675	5,10	2,2	3,7	0,0018	9,3
25000001115	1LA7 083-4YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,00	2,50	72	0,89	1650	6,48	1,8	3	0,0018	9,3
25000001117	1LA7 090-4YA60	90S/L	2	1,49	1,15	7,00	3,50	77	0,80	1700	8,38	2,2	4,4	0,0028	12,1
25000001118	1LA7 094-4YA60	90S/L	2,4	1,79	1,05	7,40	3,70	77	0,86	1690	10,12	2	4,5	0,0035	14,9
25000001119	1LA7 096-4YA60	90S/L	3	2,24	1,15	9,60	4,80	79	0,83	1708	12,51	1,8	3,6	0,0035	14,9
25000001120	1LA7 111-4YA60	112M	4	2,98	1,15	13,00	6,50	76,3	0,79	1750	16,28	2,2	5,6	0,0048	27,1
25000001121	1LA7 112-4YA60	112M	5	3,73	1,15	15,80	7,90	80,5	0,78	1740	20,47	2,3	6,5	0,0058	28,7
25000001122	1LA7 113-4YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,60	9,80	78	0,83	1740	27,02	2	6	0,011	31
25000001123	1LA7 114-4YA60	112M	7,5	5,60	1,15	23,20	11,60	80	0,79	1740	30,71	2,2	5,6	0,011	32,7
25000001124	1LA7 131-4YA70	132S/M	10	7,46	1,15	28,80	14,40	81	0,84	1750	40,71	2,3	6	0,018	46,5
25000001125	1LA7 133-4YA70	132S/M	12	8,95	1,05	34	17,00	81,2	0,83	1750	48,85	2,5	6,6	0,024	49
25000001126	1LA7 134-4YA70	132S/M	15	11,19	1,15	43	21,50	82,5	0,84	1750	61,06	1,8	5	0,024	62
25000001127	1LA5 164-4YB70	160 M/L	20	14,92	1,15	53	26,50	85	0,85	1760	80,95	1,8	6,3	0,04	77,5
25000001128	1LA5 167-4YC70	160 M/L	25	18,65	1,15	64	32,00	89	0,87	1755	101,48	1,8	5,4	0,052	85,5
25000001129	1LA4 183-4YA80	180M	30	22,38	1,05	78	39,00	90,7	0,83	1755	121,77	2	4,9	0,13	170
25000001130	1LA4 186-4YA80	180L	36	26,86	1,05	93	46,50	91,3	0,83	1760	145,71	2,8	6,8	0,15	190
25000001131	1LA4 187-4YA80	180L	40	29,84	1,05	104	52,00	91,3	0,83	1750	162,83	2	5,6	0,15	190
25000001132	1LA4 207-4YC80	200L	50	37,30	1,15	126	63,00	91,3	0,84	1760	202,38	2,7	6,8	0,24	250
25000001133	1LA6 220-4YA80	225S	60	44,76	1,15	148	74,00	96,2	0,86	1765	242,17	2,7	6,6	0,44	314
25000001134	1LA6 224-4YC80	225M	75	55,95	1,15	188	94,00	92,7	0,86	1780	300,16	2	5,1	0,52	321
26697 ⁽¹⁾	1LG4 253-4AA60	250M	100	75,00	1,00		120,00	93,3	0,85	1780	355	2,5	6,3	0,69	390
26698 ⁽¹⁾	1LG4 280-4AA60	280S	125	93,00	1,00		145,00	94,2	0,85	1785	482	2,5	7,4	1,29	520
26699 ⁽¹⁾	1LG4 283-4AA60	280M	150	111,90	1,00		177,50	94,6	0,86	1785	579	2,5	7,4	1,47	565
26700 ⁽¹⁾⁽³⁾	1LG4 310-4AA60	315S	200	150	1,00		240,00	94,5	0,84	1783	707	2,6	6,5	2	700
26701 ⁽¹⁾⁽³⁾	1LG4 313-4AA60	315M	225	168	1,00		265,20	94,8	0,85	1783	848	2,8	6,9	2,46	775
26702 ⁽¹⁾⁽³⁾	1LG4 316-4AA90-Z	315L	275	205	1,10		323,10	95,4	0,86	1783	1.028	2,8	6,9	3,01	955
26703 ⁽¹⁾⁽³⁾	1LG4 317-4AA90-Z	315L	350	261	1,10		409,50	95,7	0,88	1785	1.285	2,8	7	3,91	1050

Electrodo revestido SUPERCITO E7018

SMAW									
Aceros al Carbono y Baja Aleación		SUPERCITO							
<p>Electrodo revestido de tipo básico, de bajo hidrógeno con extraordinarias características mecánicas y de soldabilidad. Presenta un arco muy suave, bajo nivel de salpicaduras y la escoria es de muy fácil remoción. El contenido de hierro en polvo mejora su tasa de depósito. Dentro de su categoría es el producto que presenta los mejores niveles de resistencia a la tracción.</p>									
Clasificación	Aprobaciones	Grados							
AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1	ABS LR GL	3H15,3Y 3m,3ym 3Y							
Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]									
C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,05	1,00	0,60	máx. 0,020	máx. 0,020	-	-	-	-	-
Propiedades Mecánicas del Metal Depositado									
Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Limite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]					
Sin tratamiento	520 - 610 (75 400 - 88 450)	mín. 400 (58 000)	mín.23	[-30 °C (-22 °F)] mín. 70 (57)					
Conservación del Producto					Posiciones de Soldadura				
<ul style="list-style-type: none"> • Mantener en un lugar seco y evitar humedad. • Almacenamiento en horno: 125 - 150°C. • Resecado de 300°C a 350 °C por 2 horas. 					P, H, Va, Sc.				
									

ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS



ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Deciderio Enrique Díaz Rubio, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo, filial Chiclayo, revisor (a) de la tesis titulada:

“Diseño de un lavador de gases para determinar la disminución del material particulado de la caldera acuotubular N° 06 en Agroindustrial Pomalca” del bachiller:

ODAR PACHERREZ DAVID

Constato que la investigación tiene un índice de similitud de 7% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.


Chiclayo 23 de Agosto del 2019



Firma

Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio
16728343

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV

	AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 1
---	--	---

Yo Odar Pacherez David....., identificado con DNI N.º 46318050 egresado de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica..... de la Universidad César Vallejo, autorizo (X), No autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado:
"Diseño de un lavador de gases para determinar la disminución del material particulado de la caldera acuotubular n.º 06 en Agroindustrial Pomalca"

.....
 en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33.

Fundamentación en caso de no autorización:

.....



 FIRMA

DNI: 46318050

FECHA: 19 de Agosto del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

**AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

E.P. de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

David Odar Pacherez

INFORME TITULADO:

"Diseño de un lavador de gases para determinar la disminución del material particulado de la caldera acuotubular n° 06 en Agroindustrial Pomalca"

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

SUSTENTADO EN FECHA: *04 de Julio de 2019*

NOTA O MENCIÓN: *Aprobado por mayoría.*



[Handwritten signature]

FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN