



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

MAESTRIA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES.

**TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA EN LA QUEMA DE
DIFERENTES BIOMASAS PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA
CALDERA”**

AUTORES:

SARAGOCIN TORRES CINTHIA MICHEL

ARCE YEPEZ LUIS ALFREDO

TUTOR:

MAE. BUCHELLI CARPIO LUIS ANGEL

MILAGRO- GUAYAS

2023-2024

CERTIFICACION DE ACEPTACION DEL TUTOR

En calidad de Tutor de Proyecto de Investigación, nombrado por el Comité Académico del Programa de Maestría en Producción y Operaciones Industriales.

CERTIFICO

Que he analizado el Proyecto de Investigación con el tema **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA EN LA QUEMA DE DIFERENTES BIOMASAS PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA**, elaborado por la **ING. CINTHIA MICHEL SARAGOCIN TORRES**, el mismo que reúne las condiciones y requisitos previos para ser defendido ante el tribunal examinador, para optar por el título de **MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

Milagro, a los 06 días del mes de febrero de 2023



El código QR corresponde a:
**LUIS ANGEL BUCHELLI
CARPIO**

MAE. BUCHELLI CARPIO LUIS ANGEL

[0917629933]

CERTIFICACION DE ACEPTACION DEL TUTOR

En calidad de Tutor de Proyecto de Investigación, nombrado por el Comité Académico del Programa de Maestría en Producción y Operaciones Industriales.

CERTIFICO

Que he analizado el Proyecto de Investigación con el tema **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA EN LA QUEMA DE DIFERENTES BIOMASAS PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA**, elaborado por la **ING. LUIS ALBERTO ARCE YEPEZ**, el mismo que reúne las condiciones y requisitos previos para ser defendido ante el tribunal examinador, para optar por el título de **MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

Milagro, a los 06 días del mes de febrero de 2023



MAE. BUCHELLI CARPIO LUIS ANGEL

[0917629933]

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de Maestría en Producción y Operaciones Industriales, de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad, no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 06 días del mes de febrero de 2023



Ing. Cinthia Michel Saragocin Torres
Cédula : 0942486945

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de Maestría en Producción y Operaciones Industriales, de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad, no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 06 días del mes de febrero de 2023



Ing. Luis Alberto Arce Yépez
Cédula:0913722732

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES CON MENCIÓN EN MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**, presentado por **ING. SARAGOCIN TORRES CINTHIA MICHEL**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA EN LA QUEMA DE DIFERENTES BIOMASAS PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	59.00
DEFENSA ORAL	40.00
PROMEDIO	99.00
EQUIVALENTE	Excelente



BYRON RAMIRO ROMERO
ROMERO

MSc. ROMERO ROMERO BYRON RAMIRO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



BYRONE ANTONIO
ALMEIDA SALAZAR

MSc.. ALMEIDA SALAZAR BYRONE ANTONIO
VOCAL



EDWIN RAMON
CEVALLOS AYON

M.A.E. CEVALLOS AYON EDWIN RAMON
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A mi amada hija, eres un regalo precioso que Dios me ha concedido. En ti veo Su amor y Su luz brillando a través de cada sonrisa tuya, de cada sueño que persigues. Que Dios te bendiga y te guíe en cada paso de tu camino, protegiéndote y llenando tu vida de felicidad y sabiduría,
[Cinthia Saragocin Torres].

DEDICATORIA

Para mi familia y amigos.

Arce Yépez Luis

AGRADECIMIENTO

*"Agradezco profundamente a todas las personas que contribuyeron de alguna manera en la realización de esta tesis. También quiero agradecer a mi familia por su inquebrantable apoyo y comprensión durante estos años de estudio. Su amor y aliento han sido mi mayor motivación para alcanzar mis metas académicas. **[Cinthia Saragocin Torres]**.*

AGRADECIMIENTO

"Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia por su inquebrantable apoyo y amor durante todo este proceso. Este logro es también suyo. Gracias." **[Luis Arce Yépez]**.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Doctor Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer la Cesión de Derecho de Autor del Trabajo realizado como requerimiento para la obtención del mi Título de Cuarto Nivel, cuyo tema fue “Análisis Comparativo De La Eficiencia En La Quema De Diferentes Biomosas Para Mejorar El Funcionamiento De Una Caldera”, que corresponde al Vicerrectorado de Investigación y Posgrado

Milagro, a los 06 días del mes de febrero de 2023



Ing. Cinthia Michel Saragocin Torres
Cédula : 0942486945

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Doctor Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer la Cesión de Derecho de Autor del Trabajo realizado como requerimiento para la obtención del mi Título de Cuarto Nivel, cuyo tema fue “Análisis Comparativo De La Eficiencia En La Quema De Diferentes Biomásas Para Mejorar El Funcionamiento De Una Caldera”, que corresponde al Vicerrectorado de Investigación Posgrado

Milagro, a los 06 días del mes de febrero de 2023



firmado electrónicamente por
LUIS ARCE YEPEZ

Ing. Luis Alberto Arce Yépez

Cédula: 0913722732

ÍNDICE GENERAL

1. CAPITULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	2
1.3. FORMULACIÓN DE PROBLEMA	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5. JUSTIFICACIÓN	5
1.6. PLANTEAMIENTO HIPOTÉTICO.....	5
1.6.1 Variable Dependiente	5
1.6.2 Variable Independiente	5
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Estado del Arte	7
2.1.1 Biocombustibles	8
2.1.2 Generación de energía	8
2.1.3 Calefacción	8
2.1.4 Bioproductos	8
2.1.5 Tratamiento de residuos	8
2.1.6 Poder Calorífico Inferior (PCI)	9
2.1.7 Poder Calorífico Superior (PCS)	9
2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BIOMASA.....	9
2.2.1 Origen biológico	9
2.2.2 Renovable	9
2.2.3 Baja emisión de carbono	10
2.2.4 Diversidad de fuentes	10
2.2.5 Conversión en energía	10
2.2.6 Beneficios ambientales	10
2.2.7 Residuos y desechos.....	10
2.2.8 Potencial local.....	10
2.2.9 Desafíos	11
2.2.10 Aplicaciones variadas	11

2.2.11	Composición de la biomasa.....	11
2.3.	Conceptos generales	12
2.3.1	Poder calorífico	14
2.3.2	Poder calorífico superior.....	14
2.3.3	Poder calorífico inferior	14
2.3.4	Calidad de la biomasa	15
2.4.	Bases Teóricas.....	16
2.4.1	Procesos De Conversión Energética De La Biomasa.....	16
2.4.2	Combustión Directa	19
2.4.3	Aplicaciones térmicas del sector industrial.....	20
2.4.4	Aplicaciones en la generación de electricidad	21
2.4.5	Comportamiento del S, Cl, Na y K durante la combustión de la biomasa	22
2.4.6	Fenómenos asociados a la combustión de biomasa	25
2.5.	Ensuciamiento o formación de depósitos	26
2.6.	Definiciones.....	34
2.6.1	AAE: Agencia Ambiental Europea (Ministerio del Ambiente, 2022, 27).....	34
2.6.2	Aire O también denominado “aire ambiente”,	34
2.6.3	Bagazo	35
2.6.4	Biomasa: Cualquiera de los siguientes productos	35
2.6.5	Búnker.....	35
2.6.6	Caldero.....	36
2.6.7	Celda electroquímica	36
2.6.8	Central termoeléctrica.....	36
2.6.9	Chimenea.....	36
2.6.10	Combustibles alternativos.....	36
2.6.11	Combustibles convencionales	37
2.6.12	Combustibles fósiles	37
2.6.13	Combustibles fósiles gaseosos	37
2.6.14	Combustibles fósiles líquidos	37
2.6.15	Combustibles fósiles sólidos.....	37
2.6.16	Concentración de una sustancia en el aire	38
2.6.17	Condiciones de referencia	38
2.6.18	CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad	38
2.6.19	ARCERNNR: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (Ministerio del Ambiente, 2022, 27).....	38
2.6.20	Contaminación del aire	38

2.6.21	Contaminante criterio del aire	38
2.6.22	Corrección de concentración de emisiones	39
2.6.23	Desecho peligroso	39
2.6.24	Desecho hospitalario	40
2.6.25	Desecho equivalente	40
2.6.26	Dióxido de azufre (SO ₂)	40
2.6.27	Emisión	40
2.6.28	Emisión de combustión.....	40
2.6.29	Emisión de proceso	41
2.6.30	Episodio crítico de contaminación del aire	41
2.6.31	Fuentes de combustión artesanal	41
2.6.32	Fuente fija de combustión abierta	41
2.6.33	Fuente fija de combustión.....	41
2.6.34	Fuente fija existente.....	42
2.6.35	Fuente fija modificada.....	42
2.6.36	Fuente fija nueva	42
2.6.37	Fuente significativa	42
2.6.38	Horno crematorio (Incinerador).....	42
2.6.39	Inventario de emisiones.....	43
2.6.40	ISO: Organización Internacional para la Normalización	43
2.6.41	Línea base	43
2.6.42	Línea de muestreo	43
2.6.43	Material particulado.....	43
2.6.44	Mejor tecnología de control disponible (BACT por sus siglas en inglés).....	44
2.6.45	Micra o micrón: es la millonésima parte de un metro, o la milésima parte de un milímetro	44
2.6.46	Modelo de dispersión.....	44
2.6.47	Modelo gaussiano.....	44
2.6.48	Modelo euleriano	44
2.6.49	Monitoreo de emisiones.....	45
2.6.50	Monóxido de carbono	45
2.6.51	Motores de Combustión Interna (MCI)	45
2.6.52	Muestreo isocinético	45
2.6.53	Puertos de muestreo.....	45
2.6.54	Puntos de medición	46
2.6.55	Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) o Nivel de Inmisión.....	46

2.6.56	Norma de emisión	46
2.6.57	Óxidos de nitrógeno (NOx)	46
2.6.58	Material particulado fino (PM2.5).....	46
2.6.59	Material particulado PM10	46
2.6.60	Ozono (O3)	47
2.6.61	Puntos de medición	47
2.6.62	Turbina a gas Motor de combustión interna	47
3.	CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
3.1.	Existen varias investigaciones tales como	59
3.2.	Población y muestra.....	60
3.2.1	Población	60
3.2.2	Muestra	60
3.3.	Método y técnicas	60
3.3.1	Métodos	60
3.3.2	Técnicas.....	61
3.4.	Propuesta de procesamiento estadístico de la información.....	63
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1.	Resultados.....	64
4.1.1	Modelo de entrevista-Aplicado a Jefe de Producción e Ingeniero de Turno	64
4.1.2	Modelo de entrevista-Aplicado al Líder de Mantenimiento de una Generador de Vapor y Energía.....	65
4.2.	Propuesta	67
4.2.1	Tema	67
4.2.2	Justificación.....	67
4.3.	Objetivos.....	68
4.3.1	Objetivo general.....	68
4.3.2	Objetivos específicos	68
4.4.	Ubicación.....	69
4.5.	Factibilidad	69
4.5.1	Factibilidad administrativa	69
4.5.2	Factibilidad Legal	70
4.5.3	Factibilidad presupuestaria.....	70
4.5.4	Factibilidad técnica	70
4.6.	Descripción de la propuesta.....	70
4.7.	Análisis de Biomosas realizados por investigadores.....	74
4.7.1	Análisis físico químicos de algunas biomosas realizadas.....	74

4.7.2	Cuadro comparativo de Biomasa	75
4.7.3	Resultados Operativos	76
4.7.4	Beneficios operativos esperados.....	77
4.7.5	Beneficios Ambientales	79
4.8.	Discusión	82
5.	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
5.1.	Conclusiones.....	83
5.2.	Recomendaciones	85
6.	Bibliografía.....	87

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1	48
Tabla 2	49
Tabla 3	62
Tabla 4	77
Tabla 5	82

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:biomasas	12
Ilustración 2.....	19
Ilustración 3: Esquema del mecanismo de formacion de cenizas y de deposición.....	29
Ilustración 4: Ubicación Milagro Ingenio Valdez.....	69
Ilustración 5: Controltecnica	71
Ilustración 6: mufla.....	72
Ilustración 7: Análisis físico químico de algunas biomasas realizas.....	74
Ilustración 8: cuadro comparativo de Biomasas.....	75
Ilustración 9: resultados operativos	76
Ilustración 10: grafico de los resultados operativos	76
Ilustración 11: resultados aplicando la media pondera	77
Ilustración 12: grafico de los resultados aplicados de la media pondera	77
Ilustración 13: mezcla de biomasas se mejora el poder calórico superior	78
Ilustración 14: mejora de la eficiencia por mezcla de biomasas obtenidos mayor del poder calórico.....	79
Ilustración 15:resultados analiticos.....	80
Ilustración 16: resultados analíticos según los parámetros	81

RESUMEN

Los gases de combustión producidos al quemar biomásas en una caldera pueden ocasionar problemas significativos de corrosión, dependiendo de las temperaturas a las que estén expuestos. Este estudio de DOE (Diseño de Experimentos) y TES (Termodinámica del Estado Sólido) nos permitirá examinar las posibles reacciones de ensuciamiento y oxidación mediante la aplicación de la fórmula de la DOE. Con este análisis, podremos identificar cuáles reacciones podrían generar una mayor acumulación de suciedad u oxidación en las calderas que utilizan biomásas, con el objetivo de prevenir efectos corrosivos en los metales de la caldera.

La utilización de fibras y residuos orgánicos representa un factor de riqueza en Ecuador. Estos compuestos se emplean en la construcción de viviendas como elementos de relleno, refuerzo o aislamiento térmico. Este enfoque no solo ofrece un gran potencial, sino que también contribuye significativamente a la promoción de prácticas arquitectónicas más sostenibles.

Palabras claves: Sistema, Calidad, Optimización.

ABSTRACT

The flue gases produced by burning biomass in a boiler can cause significant corrosion problems, depending on the temperatures to which they are exposed. This DOE (Design of Experiments) and TES (Solid State Thermodynamics) study will allow us to examine possible fouling and oxidation reactions by applying the DOE formula. With this analysis, we will be able to identify which reactions could generate greater accumulation of dirt or oxidation in boilers that use biomass, with the aim of preventing corrosive effects on the metals in the boiler.

The use of fibers and organic waste represents a factor of wealth in Ecuador. These compounds are used in the construction of homes as filling, reinforcement or thermal insulation elements. This approach not only offers great potential, but also contributes significantly to the promotion of more sustainable architectural practices.

Keywords: System, Quality, Optimization.

1. CAPITULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en el “**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA EN LA QUEMA DE DIFERENTES BIOMASAS PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA**” analizando la oxidación y ensuciamiento que producen la quema de biomasa mediante la eficiencia energética para incrementar los resultados al uso sostenible de diferentes tipos de biomasa en calderas u hornos a nivel industrial con diferentes tipos de tecnología. En el Ecuador existe una ausencia en la orientación adecuada para el uso sostenible de la biomasa en calderas u hornos a nivel industrial. Existen muy pocas empresas en el país que actualmente hacen uso de estas para sus procesos productivos.

La Generación mundial de energía renovable por tipo de fuente energética en 2022, teniendo en cuenta que la potencia generada en centiwatt, de forma hidráulica con 1.220 cw, solar fotovoltaica 1.185CW, tólico 906, Biomasa 149, Geotérmica 14,6 CW , solar térmica de concentración CSP con un 6,3, Mareomotriz con un 0,51 CW., revela a la hidráulica como la energía renovable que generó una mayor potencia, seguida de la solar fotovoltaica y la eólica se situaron en segunda y tercera posición respectivamente, dejando en cuarto lugar a la biomasa. (Orús, n.d.)

Como nos indica Boletín y estadística mensual de las transacciones comerciales de CENACE del periodo de enero-diciembre de 2022, donde nos informa que la generación hidroeléctrica alcanzó el 85,41% de la producción total de energía del país, dejando el 14.59% para las otras energías como: Eólicas 0.20%, Biomasa 0.68%, Diesel 0.84%, Nafta 0.00%, Residuo 4.34%, Fotovoltaica 0.12%, Biogás 0.14%, Importación Colombia 1.62%. (*INFORME ANUAL 2022, 2023*)

Los Ingenios azucareros son los principales consumidores de una gran cantidad de biomasa que se produce por la molienda de la caña de azúcar la cual debe ser quemada para

no hacer disposición final que pueda afectar el medio ambiente a través de GEI.

Una opción posible para tener generación de vapor y producir energía eléctrica en el todo el año conlleva a una investigación de nuevas fuentes de biomasa existentes en el país. Analizando su poder calorífico, Composición Química, viabilidad costos, beneficios y problemas para su utilización, que implique generación de energía renovable sostenible en el tiempo.

1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El uso de biomasa para la generación de energía eléctrica hay que analizar varios factores que indiquen su factibilidad para su uso, el reciente cambio de la matriz energética que se viene suscitando en los últimos diez años, hace que cada vez se vuelva menos opcional el uso de esta para la generación de energía. Las políticas gubernamentales como las constantes regulaciones y resoluciones del ente controlador en el país, le siguen restando incentivo a este tipo de generación.

Los depósitos en la caldera pueden afectar a las piezas móviles, especialmente a las válvulas y álabes de las turbinas de vapor. En tales casos, los depósitos pueden ocurrir no solo con calcio y sales magnéticas, sino también con depósitos de sílice y diversos compuestos de hierro. Esto da como resultado un sellado deficiente de las válvulas, un desgaste acelerado de las palas y un desequilibrio del rotor de la turbina de vapor.

En 2022, la potencia eléctrica nacional de Ecuador fue de 8.864,37 MW. De ellos, 5.425,72 MW (61,21%) son atribuibles a sistemas con fuentes de energía renovables y 3.438,65 MW (39,79%) a sistemas con fuentes de energía no renovables.

Se puede observar que las fuentes de energía renovables utilizadas para la generación de electricidad en el país en 2022 fueron la hidroeléctrica, la biomasa, la energía solar, la eólica y el biogás.

De la capacidad instalada total, dominan los tipos renovables y las centrales hidroeléctricas con 5.191,30 MW (95,68%) en 2022. Estos sistemas están instalados en tres regiones del Ecuador: costera (2 estados), montañosa (9 estados) y amazónica (4 estados).(Estadísticas Del Sector Eléctrico Ecuatoriano Buscar – Agencia De Regulación Y Control De Energía Y Recursos Naturales No Renovables, n.d.)

1.3. FORMULACIÓN DE PROBLEMA

En Ecuador al igual que en el resto del mundo existe un notable interés por el uso de las biomásas como energías renovables (hidráulica, biomasa, fotovoltaica, eólica y biogás.). Debido a la riqueza agrícola el Ecuador volcó su interés en el aprovechamiento de la biomasa para la generación de energía eléctrica a través de grandes industrias.

Actualmente en el país gran parte de las biomásas que se producen son llevadas a vertederos o quemadas a cielo abierto, otras se dejan sobre el mismo suelo para su degradación y que sirvan como ayuda a la mitigación de malezas y abono; por lo tanto, su uso como fuente de energía primaria disminuye el problema de su destrucción como la reducción del uso de los combustibles fósiles a nivel nacional.

El propósito del presente estudio es estimar el potencial de corrosión e incrustación en las calderas por el uso o quema de biomásas caracterizadas según su poder calórico y composición físico química.

El uso de biomasa para generar electricidad ha provocado problemas de corrosión en las calderas. El sodio y el potasio combinados con azufre y cloro contribuyen a la corrosión, especialmente en tubos sobrecalentados donde se producen las temperaturas y presiones operativas más altas. (Menjivar Benitez et al., 2019)

Según (ROMERO SALVADÓ, 2010,27) indica que cuando las emisiones dióxido de carbono son producidas como consecuencia del empleo de los biocombustibles es decir los gases de efecto invernadero la cual efectos energéticos que equivalen al Carbono (C), que

son absorbido en el proceso de fotosíntesis, se igualan la retención y la liberación de dióxido de carbono equivalente.

Las biomásas son derivados, que son considerados neutros es decir que las emisiones cuando se recolectan cantidades a la parte de la producción neta de la biomasa en el ecosistema este hace que exista un sobresalto. Podemos decir que los usos tradicionales son como: poda como leña, cocinas, calefacción entre otras. si no excede la capacidad de carga del territorio (ROMERO SALVADO, 2010, 27)

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Caracterizar fisicoquímicamente diferentes biomásas identificadas y existentes en el país, evaluando mediante índices de oxidación e incrustaciones para su uso en calderas, como energías renovables en el país.

1.4.2 Objetivos específicos

- Relacionar e Identificar las diferentes biomásas del Ecuador que pueden ser usadas en Calderas como combustible solas o en mezclas conociendo su poder calórico y propiedades fisicoquímicas.
- Conocer la influencia de las biomásas en el proceso de combustión observando los índices de incrustación y oxidación que puede provocar la variación en el coeficiente global de transferencia de calor y su eficiencia en Calderas.
- Evidenciar pruebas de Material Particulado y Fuentes fijas para cumplimiento con los procedimientos de licenciamiento ambiental por el uso de nuevas biomásas, de acuerdo con la ley Sustitutiva del Reglamento General a la Ley del Sector Eléctrico, Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias. Identificando impactos ambientales significativos, directos e indirectos

acumulativos y no acumulativos durante su operación.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La generación de energía con Biomasa necesita de mayor incentivo a nivel mundial, se habla mucho de Energía Limpia, pero se limita su aplicación y desarrollo con políticas muy cambiantes por los gobiernos de turno, lo que hace que exista muy poca inversión para este tipo de generación.

El uso de biomasa puede causar oxidación e incrustaciones en las calderas, por eso el presente trabajo está enfocado en identificar de acuerdo a su análisis físico químico de algunas biombras identificadas en el país para su determinación a través de su poder calórico y sus componentes en cenizas producen o no estos fenómenos dentro de las calderas.

Mediante una fórmula de la DOE podremos determinar si el uso de una determinada biomasa produce o no la oxidación o las incrustaciones, es decir que con los resultados obtenidos de un análisis físico químico usando óxido de sodio, óxido de potasio, poder calorífico y humedad determinamos si existe incrustaciones o ensuciamiento en una caldera.

1.6. PLANTEAMIENTO HIPOTÉTICO

La oxidación y las incrustaciones pueden afectar notablemente la operación y la eficiencia en calderas que usan este tipo de combustibles.

1.6.1 *Variable Dependiente*

Nombre: Biomasa

1.6.2 *Variable Independiente*

Nombre: Índice de Incrustaciones

Definición: Biomasa es aquella que se utiliza como fuente de energía. Dado su naturaleza, existen diversos tipos de biomasa, mismas que para su aprovechamiento en una caldera dependen de su poder calorífico, que se ve afectado significativamente por la humedad.

Definición: La oxidación y las incrustaciones en las calderas se definen como un depósito adherente sobre la superficie de transferencia térmica en el lado fuego producida por algunos minerales presentes en la biomasa.

Dimensión VD: Poder Calorífico, % de Humedad

Dimensión VI: % Ceniza en Biomasa, % K₂O, % Na₂O

Indicador VD: Ton Biomasa/Ton Vapor

Para calcular la Eficiencia de la biomasa por su poder calórico para producir vapor, debe tomarse como base una caldera con un rendimiento y combustible base de allí usar los diferentes poderes calóricos de las biomasa y determinar cuántas Ton. De cada biomasa se utilizó para obtener una Ton de vapor.

Indicador VI: DOE Índice, con viabilidad o No para su uso de la biomasa

Con la determinación de la composición química de la biomasa, la podemos llevar a una fórmula matemática dada por la DOE, tomando sus valores de Poder Calorífico, K₂O Óxido de Potasio, Na₂O Óxido de Sodio; determinando su viabilidad para la quema o no en calderas.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

La biomasa se refiere a la materia orgánica que proviene de plantas, árboles, cultivos agrícolas, residuos animales y otros materiales biológicos que se utilizan como fuente de energía o como materia prima para la producción de diferentes productos. Puede ser una fuente de energía renovable y sostenible si se gestiona adecuadamente.

La utilización de biomasa como fuente de energía es atractiva porque es renovable y puede ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, es importante gestionarla de manera sostenible para evitar la deforestación y garantizar que la producción de biomasa no tenga un impacto negativo en la seguridad alimentaria y el medio ambiente. Algunas aplicaciones comunes de la biomasa:

El uso de biomasa como fuente de energía renovable frente al carbón presenta diversas ventajas e inconvenientes.

Entre las ventajas se encuentran su carácter renovable e inagotable, la independencia de fuerzas externas para su producción, su relativa economía, la biodegradabilidad de los productos generados, la restauración de tierras de baja calidad, la reducción de vertederos mediante el uso de materiales de desecho, la prevención de la contaminación ambiental al emplear residuos orgánicos como combustible, la generación de un balance favorable de CO₂, la baja presencia de azufre que evita la generación de lluvia ácida, la no contribución al efecto invernadero y la reducción de la dependencia energética nacional, lo que impulsa la economía en áreas rurales.

Sin embargo, también existen inconvenientes asociados al uso de biomasa, como la necesidad de grandes cantidades para obtener un buen aporte energético, la posible competencia con la producción de alimentos y piensos, el menor rendimiento comparado con

combustibles fósiles, la limitación a residuos orgánicos para la obtención de energía, la dificultad en la recuperación de biomasa proveniente de océanos, la emisión de olores y componentes peligrosos durante el tratamiento térmico, el almacenamiento costoso en comparación con el carbón, la necesidad de construir nuevas centrales, lo que implica alteraciones en el medio natural, y el contenido variable de humedad que afecta su eficiencia en comparación con el carbón, a pesar de tener un bajo contenido de azufre y cenizas. En última instancia, la elección entre estos combustibles implica considerar cuidadosamente los riesgos e inconvenientes asociados.

2.1.1 Biocombustibles:

La biomasa se puede convertir en biocombustibles, como el bioetanol y el biodiesel, que se utilizan para alimentar vehículos y maquinaria.

2.1.2 Generación de energía:

La quema de biomasa o la conversión de biomasa en biogás se utiliza para generar electricidad y calor en plantas de energía.

2.1.3 Calefacción:

La biomasa se puede utilizar como fuente de calor en sistemas de calefacción residencial y comercial, a menudo en forma de pellets de madera, astillas de madera o briquetas de biomasa.

2.1.4 Bioproductos:

La biomasa también se puede utilizar para producir una variedad de productos, como papel, textiles, productos químicos y materiales de construcción.

2.1.5 Tratamiento de residuos:

La biomasa puede ayudar en la gestión de residuos orgánicos al convertirlos en energía o en productos útiles.

2.1.6 Poder Calorífico Inferior (PCI):

También conocido como poder calorífico de combustión, el PCI es la cantidad de calor liberada cuando un combustible se quema completamente y se condensan los productos de la combustión. En otras palabras, el PCI no tiene en cuenta el calor latente de vaporización del agua producida durante la combustión. Por lo tanto, el PCI tiende a ser menor que el Poder Calorífico Superior. El PCI es una medida más realista de la energía disponible para realizar trabajo en motores de combustión.

2.1.7 Poder Calorífico Superior (PCS):

El PCS incluye el calor latente de vaporización del agua producida durante la combustión. Esto significa que el PCS representa la cantidad máxima de energía liberada en la combustión de un combustible, ya que tiene en cuenta el calor liberado cuando el agua en los productos de combustión se condensa. El PCS tiende a ser mayor que el PCI debido a la inclusión del calor latente de vaporización.

2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BIOMASA

La biomasa se refiere a la materia orgánica de origen vegetal o animal que se utiliza como fuente de energía, materia prima o para otros fines. Podemos indicar algunas de las características generales de la biomasa tales como:

2.2.1 Origen biológico:

La biomasa proviene de organismos vivos, ya sean plantas, animales, microorganismos o sus subproductos, como madera, residuos agrícolas, estiércol, y otros materiales orgánicos.

2.2.2 Renovable:

La biomasa se considera una fuente de energía renovable, ya que se puede cultivar y cosechar de manera sostenible, lo que significa que se puede reponer a lo largo del tiempo.

2.2.3 Baja emisión de carbono:

Aunque la quema de biomasa emite dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, se considera una fuente de energía de baja emisión de carbono en comparación con los combustibles fósiles, ya que el CO₂ liberado se equilibra con la absorción de CO₂ durante el crecimiento de las plantas.

2.2.4 Diversidad de fuentes:

La biomasa incluye una amplia variedad de fuentes, como madera, residuos agrícolas, cultivos energéticos, desechos orgánicos, estiércol, residuos de alimentos y algas, lo que la hace versátil y adaptable a diferentes necesidades.

2.2.5 Conversión en energía:

La biomasa se puede convertir en diferentes formas de energía, como electricidad, calor, biogás o biocombustibles, a través de tecnologías como la combustión, la gasificación, la fermentación o la pirólisis.

2.2.6 Beneficios ambientales:

Utilizar biomasa como fuente de energía puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

2.2.7 Residuos y desechos:

La biomasa también ofrece una solución para la gestión de residuos y desechos orgánicos, convirtiéndolos en recursos útiles en lugar de contaminantes.

2.2.8 Potencial local:

La producción y el uso de biomasa suelen ser actividades locales, lo que puede fomentar la creación de empleo y el desarrollo económico en las comunidades rurales.

2.2.9 Desafíos:

A pesar de sus ventajas, la biomasa enfrenta desafíos, como la competencia con la producción de alimentos, la gestión sostenible de los recursos, la logística de recolección y distribución, y la eficiencia de las tecnologías de conversión.

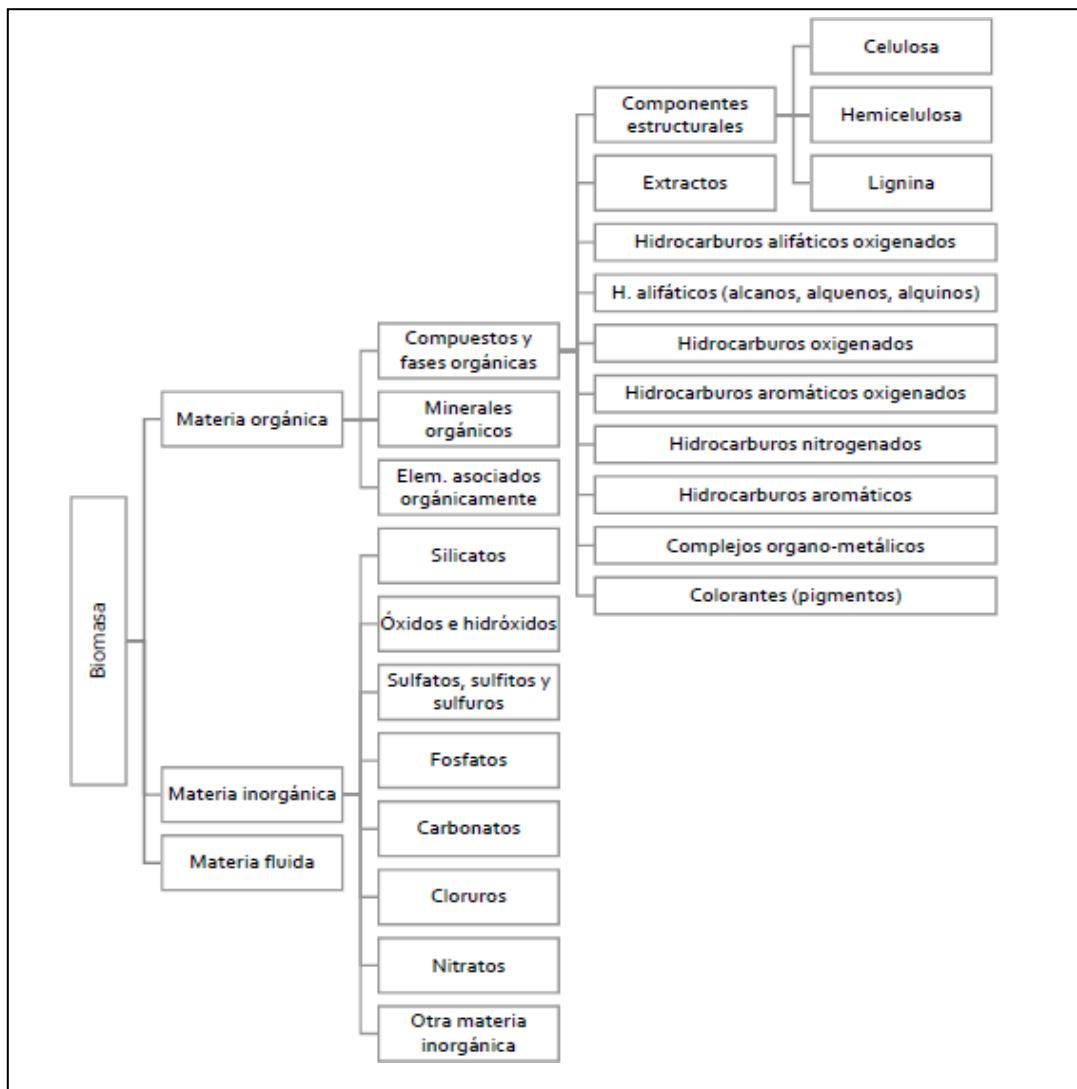
2.2.10 Aplicaciones variadas:

La biomasa se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, que incluyen la generación de energía eléctrica, calefacción, refrigeración, combustibles para vehículos, productos químicos y materiales, y bioplásticos, entre otros.

2.2.11 Composición de la biomasa

“La biomasa está formada principalmente por materia orgánica y por una pequeña parte de materia inorgánica. En base al trabajo de Vassilev et al. [19] que realizaron una revisión detallada de la literatura científica al respecto, incluyendo más de 490 referencias, se puede clasificar la composición de la biomasa de una manera detallada tal y como se observa en la Figura 1.”(Garrido, 2019)

Ilustración 1:biomasas



(Garrido, 2019)

Los procesos termoquímicos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa, se encuentran implicadas reacciones químicas irreversibles, a altas temperaturas y en condiciones variables de oxidación. Dentro de los procesos termoquímicos, esta tesis tiene una primera parte en la que se trabaja brevemente con la pirólisis de la biomasa para a continuación centrarse más detalladamente en la combustión.

2.3. Conceptos generales

Desde una perspectiva energética, se entiende por biomasa el combustible derivado de productos y residuos naturales, como el combustible procedente de la agricultura

(incluida la materia vegetal y animal), el combustible procedente de actividades forestales e industrias relacionadas con el bosque, así como la biomasa procedente de la industria y los residuos biodegradables, residuos municipales. (Vignote Peña, 2016)

La Biomasa son considerada como una fuente de energía pura debido a aporte en la lucha contra el cambio climático, teniendo así un menor impacto ambiental, y mejora de la competitividad, empleo y desarrollo regional. (ROMERO SALVADÓ, 2010, 27) En concreto el uso de la Biomasa aporta las siguientes ventajas:

El balance de CO₂ emitido es neutro.

Los sulfurados o nitrogenados no emiten contaminantes, mucho menos en partículas sólidas. En la producción de las Biomosas son independientes, así mismo los recursos en el ecosistema, que puede tener un impacto ambiental, social y económico en el ámbito rural. (Vignote Peña, 2016)

Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles. La tecnología utilizada tiene un buen nivel de desarrollo tecnológico en varias aplicaciones. (Vignote Peña, 2016)

Disminución de vertidos y riesgos ambientales (al valorizar los residuos de origen industrial). Además de ser la fuente renovable más común y generalizada en el mundo, su potencial es abundante. Se utiliza en todo el mundo y, sin duda, aporta de forma importante a proporcionar de forma sostenible las necesidades energéticas futuras. (Vignote Peña, 2016)

Las virtudes que hacen de la bioenergía una alternativa real son múltiples:

Es la cuarta fuente de energía más grande conocida en la Tierra después del carbón, el petróleo y el gas natural, y uno de los recursos más abundantes y extendidos del mundo.

Así, si el consumo total de energía en el mundo es de 507,9 EJ (x10¹⁸J), se consume 1350 Mt de leña, 5,2 Mt de carbón vegetal y 21,6 Mt de pellets que podrían proporcionar 25

EJ, es decir, el 4,9% de la energía, aunque en realidad es mucho menos dada la ineficacia de la mayoría de las instalaciones.

Es una fuente de energía sostenible que es aplicable en diversos mercados energéticos, ya que posibilita la generación de calor, electricidad y biocombustibles líquidos.

Es la fuente de energía renovable más económica de generar y ofrece los beneficios ambientales más significativos cuando se implementa de manera sostenible.

El análisis hecho por la Comisión Europea de los Planes de Acción de Energías Renovables presentado por los EU 27 en 2011, donde cada país explica cómo va a llegar a cumplir con los objetivos de 2020, muestra claramente como el pilar de las renovables en el tramo calor será la Biomasa.

2.3.1 Poder calorífico

El poder calorífico se refiere a la cantidad de energía que una determinada cantidad de material puede liberar durante una reacción química de oxidación.

2.3.2 Poder calorífico superior

Se refiere a la cantidad total de calor liberado durante la combustión completa de una unidad de volumen de combustible, teniendo en cuenta la condensación del vapor de agua generado en la combustión. En otras palabras, se tiene en cuenta el calor liberado durante este cambio de fase del agua.

2.3.3 Poder calorífico inferior

Este valor se refiere a la cantidad total de calor liberado durante la combustión completa de una unidad de volumen de combustible, sin incluir la parte relacionada con el calor latente del vapor de agua generado en la combustión. Esto se debe a que en este caso no hay cambio de fase, y el vapor de agua se expulsa directamente. También se le conoce como poder calorífico neto, ya que se obtiene restando el calor latente de evaporación al poder calorífico

superior.

2.3.4 *Calidad de la biomasa*

Los problemas críticos de una caldera de biomasa son los derivados de Los altos niveles de álcalis en las cenizas pueden ocasionar problemas como depósitos, incrustaciones, erosión y corrosión.:

- La formación de costras en la parrilla y las dificultades en la extracción de escorias son problemas comunes.
- La obstrucción de los orificios de entrada de aire primario en la parrilla es un problema que puede ocurrir.
- La obstrucción de la entrada de biomasa con depósitos de escoria es una preocupación potencial en el proceso.
- La acumulación considerable de depósitos en las superficies refractarias y en las paredes de agua es un problema importante.
- La acumulación de residuos alrededor de las entradas de aire secundario es un problema que puede ocurrir.
- La reducción del espacio disponible para el paso de gases debido a la acumulación de depósitos es un problema que puede surgir.
- Erosiones de las zonas de transmisión de los conductos de gases
- Depósitos incrustantes en las zonas de entrada de gases al sobrecalentador
- Puentes y bloqueos en los haces de convección
- Corrosión y erosión de los tubos del sobrecalentador

Algunos de los parámetros que se deben tomar en cuenta porque son indispensable al tener

en cuenta la calidad de la biomasa son los siguientes:

- Contenido de potasio sobre cenizas
- Contenido de óxidos alcalinos por unidad de energía.

o El potasio es el metal alcalino más significativo. Si el contenido de álcalis ($K_2O + Na_2O$) en las cenizas es inferior al 7%, este factor no suele ser problemático. Sin embargo, cuando se considera el contenido de óxidos alcalinos ($K_2O + Na_2O$) por unidad de energía, se debe tener en cuenta que:

Por debajo de 0,17 kg/GJ PCS (poder calorífico superior) no suele ser un problema. En el rango de 0,17 a 0,34 kg/GJ PCS, los riesgos son significativos. Por encima de 0,34 kg/GJ PCS se considera inadmisibles.

- Contenido de cloro sobre seco. Contenidos en cloro menores al 0,1% no son problemáticos
- Contenido de azufre sobre seco. Contenidos en azufre menores al 0,1% no son problemáticos

2.4. Bases Teóricas

2.4.1 Procesos De Conversión Energética De La Biomasa.

Se destacan cuatro procesos principales en la conversión de biomasa en energía, junto con las materias primas comunes utilizadas en cada proceso y sus usos. Estos procesos son: combustión, gasificación, pirólisis y digestión anaerobia. Cada uno de ellos ofrece distintas aplicaciones en la generación de calor y electricidad a partir de biomasa. (Carrasco García, 2019).

Los tres primeros procedimientos, denominados como procesos termoquímicos, involucran la descomposición térmica de los elementos de la biomasa. Esto incluye la

oxidación de los componentes y la liberación de energía en forma de calor en la combustión, o la obtención de combustibles intermedios, como se ve en la gasificación y la pirolisis. (Carrasco García, 2019)

La combustión es un proceso en el que los componentes de la biomasa se oxidan a altas temperaturas en presencia de oxígeno suficiente, lo que resulta en la liberación de energía en forma de calor y la producción de dióxido de carbono, agua y cenizas como subproductos. (Carrasco García, 2019)

La gasificación se realiza a altas temperaturas, pero con cantidades limitadas de oxígeno, generalmente utilizando aire como agente gasificante. El principal producto de la gasificación es el gas de gasificación, compuesto principalmente de monóxido de carbono e hidrógeno. Por otro lado, la pirolisis se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, y los productos principales varían según la temperatura y el tiempo de proceso. (Carrasco García, 2019)

A temperaturas más bajas y procesos más lentos (350-550°C), se obtiene carbón vegetal. A temperaturas más altas y procesos más rápidos (650-850°C), se producen líquidos (aceites) como producto principal. (Carrasco García, 2019)

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que ocurre en condiciones de ausencia de oxígeno y se utiliza principalmente para tratar residuos biodegradables. El resultado final de este proceso es el biogás, que consiste principalmente en metano y dióxido de carbono. El biogás se produce en instalaciones de tratamiento de residuos agroindustriales y aguas residuales urbanas, así como en vertederos controlados de residuos sólidos urbanos. Este biogás se emplea como fuente de calor o electricidad, ya que puede ser utilizado como combustible en aplicaciones térmicas o en motores y turbinas para la generación de energía eléctrica.

La producción de biocombustibles líquidos utilizados en el transporte, conocidos como biocarburantes, se lleva a cabo actualmente mediante procesos tanto biológicos como la fermentación alcohólica, como químicos como la transesterificación. (Carrasco García, 2019)

En la producción comercial de bioetanol, se emplean materias primas agrícolas ricas en azúcares, como la caña de azúcar, la remolacha o cereales. Para la fabricación de biodiesel, se utilizan principalmente oleaginosas como la soja, la colza y la palma, la gasificación de la biomasa ofrece perspectivas a largo plazo para la producción de hidrógeno y metanol como alternativas en esta aplicación. (Carrasco García, 2019)

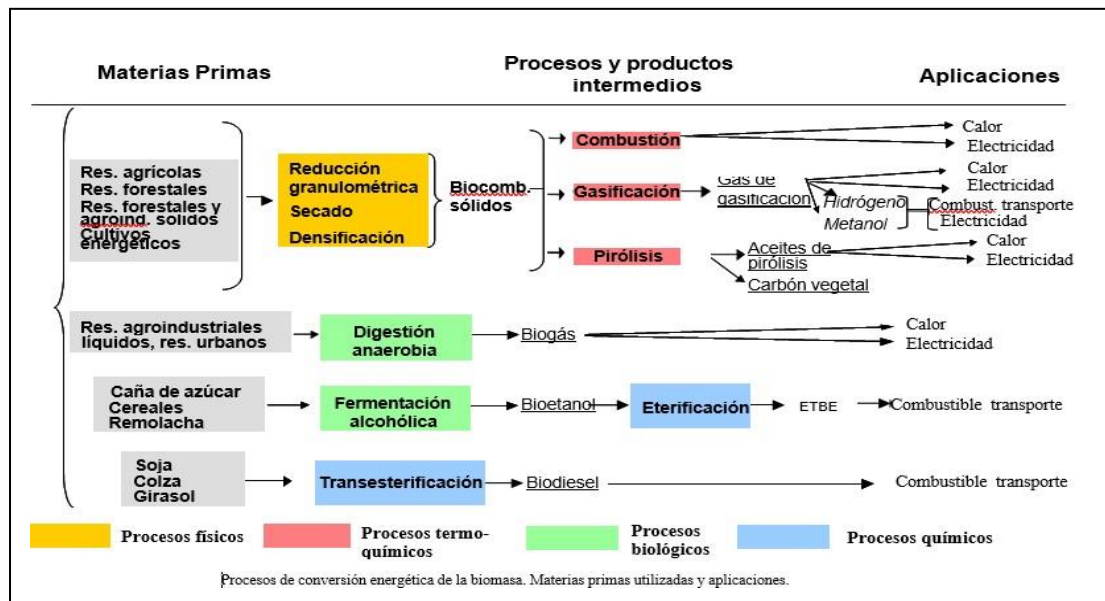
También es posible convertir la biomasa lignocelulósica en bioetanol mediante la hidrólisis ácida o enzimática de sus componentes celulosa y hemicelulosa, seguida de la fermentación de los azúcares resultantes. (Carrasco García, 2019)

De todas las tecnologías mencionadas para convertir la biomasa en energía, la mayoría se utilizan comercialmente a gran escala, a excepción de la gasificación, la pirolisis rápida para producir aceites de pirolisis y la transformación de materiales lignocelulósicos en etanol. La combustión y sus diversas aplicaciones en la producción de calor y electricidad son los procesos más ampliamente adoptados. (Carrasco García, 2019)

En 2005, de la producción de energía primaria obtenida a partir de la biomasa, alrededor del 96% se destinó al uso de aplicaciones térmicas a través de la combustión directa, mientras que el 2,6% se utilizó para la generación de electricidad (equivalente a 1,7EJ) y el 1,3% restante (equivalente a 0,84 EJ) se destinó a la producción de biocarburantes. Carrasco García, 2019)

Ilustración 2:

Procesos de conversión energética de la biomasa. Materias primas utilizadas y aplicaciones



Fuente:(Carrasco García, 2019)

2.4.2 Combustión Directa

La combustión implica la oxidación de la biomasa o sus biocombustibles derivados, generando dióxido de carbono (CO₂) y agua. Este proceso se realiza a altas temperaturas (800°-1000°C) con aire como oxidante, incluyendo una etapa inicial de pirólisis y gasificación antes de la combustión propiamente dicha.

En condiciones reales, se utiliza una cantidad excesiva de aire para la oxidación de biocombustibles. La "combustión de biomasa" generalmente se refiere a la combustión directa de biomasa o biocombustibles sólidos.

La combustión de biomasa produce calor y sus principales productos son CO₂, agua (en forma de vapor), cenizas y pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno, azufre, monóxido de carbono y materia orgánica no quemada. Las cenizas, en ciertas condiciones, pueden usarse como fertilizantes, pero las emisiones gaseosas deben minimizarse para reducir el impacto ambiental.

La tecnología más común para la combustión de biomasa es la de parrilla, que puede ser fija,

horizontal, inclinada, móvil o vibratoria. Sin embargo, las calderas de biomasa requieren modificaciones de diseño para adaptarse a las características del nuevo combustible.

Un problema importante con las cenizas de biomasa, especialmente las de materiales herbáceos, es su alto contenido de álcalis, principalmente potasio, y una baja relación Ca/K. Esto lleva a la formación de compuestos de bajo punto de fusión durante la combustión, lo que causa problemas en el funcionamiento de los equipos.

Además de la tecnología de parrilla, en los últimos años ha ganado popularidad la tecnología de lecho fluidizado en grandes instalaciones, especialmente plantas termoeléctricas de biomasa. El lecho fluidizado trabaja a temperaturas más bajas, alrededor de 800°C, lo que reduce las emisiones y problemas de aglomeración y escoria. Aunque es más eficiente y puede manejar la variabilidad de la biomasa, implica mayores costos de inversión y mantenimiento en comparación con la parrilla.

2.4.3 Aplicaciones térmicas del sector industrial

Las biomásas han sido empleadas principalmente en el sector industrial por empresas que utilizan sus residuos como fuente de energía para sus propios procesos. Esto no solo satisface sus necesidades energéticas, sino que también evita problemas medioambientales relacionados con la acumulación de residuos en el entorno. Ejemplos destacados en este ámbito incluyen las industrias de la madera, incluyendo las papeleras, y ciertas agroindustrias como las que extraen aceite de oliva. Otro potencial importante se encuentra en las agroindustrias, como las azucareras de caña, que podrían aprovechar el bagazo para generar energía.

Dado que los precios de la energía fósil en los países industrializados son considerablemente más bajos que los de los biocombustibles disponibles en el mercado, la opción más viable para el uso de biomasa en este sector parece ser el autoconsumo, especialmente en países desarrollados. En estas circunstancias, no se espera un crecimiento

significativo en la utilización de biomasa en el sector industrial, dada la falta de competitividad en precio en comparación con los productos derivados de combustibles fósiles.

En la industria, la biomasa se emplea como combustible en calderas de gran tamaño, a veces con capacidad de cogeneración. La mayoría de estas instalaciones logran eficiencias energéticas superiores al 80%, llegando hasta el 95% en el caso de calderas de lecho fluidizado y hornos de combustible pulverizado. En general, existen soluciones técnicas adecuadas que se pueden aplicar según las características específicas de cada tipo de biomasa utilizada para su aprovechamiento energético en este sector.

2.4.4 Aplicaciones en la generación de electricidad.

La generación de electricidad a partir de biomasa representa una opción ambiciosa en los planes de desarrollo de este recurso, tanto a nivel de la Unión Europea como en España, con la meta de aumentar la producción de electricidad a partir de biomasa en aproximadamente diez veces para el año 2010 en comparación con finales de 1998.

Hasta el momento, la tecnología principal para la generación de electricidad a partir de biomasa sólida se basa en ciclos Rankine que involucran calderas y turbinas de vapor. En ocasiones, se aprovecha el calor residual de la turbina para aplicaciones de cogeneración, tanto en la industria como en entornos domésticos.

La viabilidad económica de la tecnología de ciclo de vapor para la generación eléctrica es más evidente en plantas de gran escala, con capacidades de varios cientos de megavatios, donde las turbinas son altamente eficientes y la inversión tiene un mejor rendimiento. Los costos de operación, mantenimiento y el combustible específico también se reducen significativamente en estas plantas más grandes. Sin embargo, la baja densidad energética de la biomasa y su dispersión geográfica aumentan los costos de recolección y transporte, lo que limita la cantidad económicamente viable del recurso disponible. Esto suele estar muy por debajo de las necesidades de las grandes plantas de generación eléctrica basadas en la

tecnología de ciclo de vapor. Por lo tanto, la generación de electricidad a partir de biomasa suele llevarse a cabo en plantas de tamaño relativamente pequeño, aunque esto no sea lo óptimo en términos de eficiencia para la tecnología de ciclo de vapor. Esta limitación reduce considerablemente las perspectivas comerciales de esta aplicación sin la implementación de incentivos o apoyos adicionales.

2.4.5 Comportamiento del S, Cl, Na y K durante la combustión de la biomasa

La biomasa contiene cloro y metales alcalinos que pueden provocar incrustaciones y corrosión cuando se queman, y también azufre, que plantea un conocido problema de contaminación. Estudiar el comportamiento de estos elementos en el proceso de combustión de la biomasa permite optimizar y ampliar nuestro conocimiento sobre estos procesos y, en última instancia, mejorar la eficiencia energética" (Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

"Las concentraciones de S, Cl, Na y K en la biomasa varían ampliamente y la volatilización ocurre durante la combustión, que depende de la forma en que estos elementos se encuentran dentro de la biomasa. El cloro es el más volátil de los elementos, evaporándose aproximadamente el 100% en mayoría de los casos." (Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

Las tendencias de generación de escoria varían de contaminación leve a severa e índice de escoria, dependiendo de la composición química del combustible y sus cenizas, y del tipo de enlaces orgánicos/inorgánicos exhibidos por los elementos: S, Cl, Na, K". (Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

"Sin embargo, existen muchos tipos diferentes de biomasa, y su composición y propiedades difieren entre sí y de los combustibles utilizados tradicionalmente. Además, su uso como fuente de energía térmica en procesos industriales a gran escala es relativamente limitado. Es nuevo". Debido a estos factores, aún existe un importante desconocimiento sobre el comportamiento de este recurso en el proceso de combustión de las centrales

térmicas".(Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

Se han realizado varios estudios sobre la composición química de diferentes tipos de biomasa, demostrando que los niveles de C, H y O son similares, y que el contenido de N y elementos formadores de cenizas difiere entre tipos. Otros tipos de biomasa, la biomasa leñosa generalmente tiene menores rendimientos de cenizas, mayores contenidos de Cl, K, N, S y Si, y mayores concentraciones de C y Ca. tienen un impacto positivo. La biomasa agrícola contiene mayores cantidades de cenizas que la mayoría de la biomasa, lo que resulta en mayores concentraciones de elementos formadores de cenizas. También se presentó que los cultivos (ramas pequeñas y hojas de árboles de rápido crecimiento, paja, pasto y frutos) se compararon con tallos, troncos, cortezas y ramas grandes de los árboles. A pesar de estas observaciones, los patrones de composición de estos combustibles renovables que permitan una clasificación adecuada de los diferentes tipos y sus propiedades aún no están claros. "(Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

El azufre forma una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos en la biomasa y puede estar presente en diferentes estados de oxidación desde (-II) hasta (+VI). Rennenberg et al. Señalaron que el azufre (en forma de sulfato) es absorbido por las raíces de las plantas y transportado a las hojas, donde se produce el proceso de reducción. (Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

Algunos estudios muestran que el azufre ligado orgánicamente se libera a bajas temperaturas, mientras que el azufre inorgánico permanece en las cenizas hasta temperaturas de 900 °C. Lang et al. Tenga en cuenta que no existe una relación clara entre la proporción de emisiones de azufre y el tipo de biomasa (combustible de madera o pasto). El azufre que se volatiliza a bajas temperaturas proviene de la fracción orgánica, y el contenido orgánico del azufre total en la madera parece ser mayor que en la biomasa herbácea. Esto puede explicar más o menos emisiones de azufre según el combustible. (Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

El producto principal de la liberación de azufre (S) es el dióxido de azufre (SO₂). Sin embargo, en la segunda etapa de la liberación de azufre, puede ocurrir la evaporación de los sulfatos alcalinos a temperaturas por encima de 1000 °C o la descomposición de los sulfatos con la liberación de SO₂ en la fase gaseosa. La parte catiónica de estos sulfatos generalmente se funde en una masa de silicato. (Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

"Esto podría ser una explicación adicional para la diferente proporción de azufre volátil en la biomasa y también sugiere la diferente proporción de azufre orgánico e inorgánico entre ellos. (Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

Cloro: La liberación de compuestos relacionados con el Cl durante la combustión es la principal causa de corrosión de la parrilla de combustión, y también está claro que el Cl promueve la liberación de K, lo que lleva a problemas de incrustaciones. La mayoría de los estudios han demostrado que la principal forma de Cl liberada durante la combustión es el HCl en el rango de temperatura de 250 a 500 °C. Sin embargo, otros estudios muestran que la volatilización del Cl como cloruro de metilo (CH₃Cl) ocurre a temperaturas inferiores a 350 °C. La segunda etapa de liberación de cloro a altas temperaturas se produce debido a la asociación con metales alcalinos". (Suarez Gonzalez & Folgueras Diaz, 2014)

Las concentraciones de S, Cl, Na y K en la biomasa son muy diferentes, y las concentraciones de estos elementos en las cenizas dependen no sólo de su concentración en la biomasa no quemada, sino también de las relaciones entre ellos y otros elementos que determinan las cenizas." Estos compuestos pueden evaporarse, y también pueden estar presentes en forma de compuestos orgánicos o inorgánicos. Por estas razones, es muy difícil predecir y generalizar el comportamiento de combustión de la biomasa y los efectos resultantes de contaminación y corrosión. (Garrido, 2019)

2.4.6 Fenómenos asociados a la combustión de biomasa

Existen multitud de problemas que pueden darse cuando se quema biomasa en una caldera de combustión. A continuación, se destacan algunos de los más relevantes.

“El ensuciamiento, es decir la formación de depósitos en distintas zonas de la caldera. Como es uno de los principales temas estudiados en esta tesis, a continuación, se explicará más detalladamente.” (Garrido, 2019)

“La corrosión. La corrosión es el deterioro de las propiedades intrínsecas de un material debido a su reacción con el entorno; puede estar causada por las especies en fase gas, por los depósitos de ensuciamiento o por una combinación de ambos [16]. La corrosión está afectada por la temperatura y por las concentraciones de cloro (Cl), azufre (S), metales alcalinos y oxígeno (O).” (Garrido, 2019)

“En general, las superficies metálicas son atacadas por componentes gaseosos como el cloro en fase gas (Cl_2) o cloruros (NaCl, KCl). El mecanismo de corrosión en las calderas de combustión de biomasa puede ser dividido en tres grandes grupos: la corrosión asociada a especies gaseosas u oxidación activa, la corrosión en fase sólida, y la corrosión en fase fundida.” (Garrido, 2019)

“La formación de aglomerados y escorias “clinkering” y sinterización de las cenizas de la biomasa “sintering”. El potasio, tal y como se explicará a continuación, es la principal fuente de preocupación en la formación del ensuciamiento, pero también por los problemas de aglomeración. El potasio, a veces en combinación con metales alcalino térreos como el calcio, reaccionan con silicatos y forman fases vítreas fundidas que conducen a estructuras duras sinterizadas. Los silicatos asociados con metales alcalinos pueden fundirse o sintetizar entre los 800°C y los 900°C.” (Garrido, 2019)

“La erosión de ciertas partes de la caldera, produciendo se degradación en distintas zonas de la caldera debido al transporte de partículas.” (Garrido, 2019)

“Las emisiones de gases contaminantes y de partículas. Las emisiones están relacionadas con el combustible, las condiciones de combustión y los dispositivos de combustión. Los tipos de partículas emitidas se pueden clasificar según su tamaño, por ejemplo, en PM10, PM2.5 y PM1.” (Garrido, 2019). En general, estos fenómenos arriba indicados, provocan ciertos impactos negativos como pueden ser:

- 1. La disminución de la eficiencia energética del equipo. Las capas de ensuciamiento trabajan como una capa aislante dificultando y reduciendo la transferencia de calor entre los gases de combustión y el fluido de la caldera.*
- 2. Posibles daños en los equipos debidos a zonas erosionadas o corroídas. Paradas inesperadas por averías, disminuyendo la vida útil de los equipos.*
- 3. Aumento de los costes de mantenimiento, posibles atascos en tolvas, parrillas, necesidad de realizar cortes de la producción para vaciado y limpieza.*

2.5. Ensuciamiento o formación de depósitos

“El principal problema en calderas de combustión de biomasa estudiado a lo largo de esta tesis es el ensuciamiento, es decir, la formación de depósitos sobre sus superficies y juega un papel crucial en el diseño y en la operación de los equipos de combustión. Dependiendo de la zona afectada tiene dos denominaciones diferentes en inglés; “fouling” y “slagging”. A lo largo de este trabajo se ha estudiado principalmente el “fouling”. La diferencia entre el “fouling” y el “slagging” es que el “fouling” es el ensuciamiento producido por las cenizas de biomasa que se depositan en las zonas de la caldera donde el intercambio de calor se produce principalmente por convección y el “slagging” es el ensuciamiento producido por las cenizas de biomasa que se depositan en las zonas donde la transferencia de calor se produce principalmente por radiación.” (Garrido, 2019)

“El “fouling” es el ensuciamiento en los tubos intercambiadores de calor y el “slagging” es, principalmente, el ensuciamiento en las paredes del quemador. Los fenómenos de ensuciamiento son complejos y dependen de la transformación de los componentes

inorgánicos que se encuentran en las cenizas del combustible tras el calentamiento y el enfriamiento, de la yuxtaposición de especies inorgánicas y orgánicas, de las reacciones químicas entre gases, líquidos y fases sólidas en movimiento y en reposo y de la cinética de transformación de minerales.” (Garrido, 2019)

La principal causa de contaminación es el material inorgánico del combustible. La composición de esta materia inorgánica a menudo es un factor determinante en la gravedad de los problemas, y estos problemas suelen ser más graves a temperaturas más altas. Cuenta la cantidad de componentes de bajo punto de fusión en las cenizas, los fenómenos de deposición se aceleran e intensifican. La composición de la ceniza es variable dependiendo del tipo de biomasa utilizada, especialmente con respecto a los constituyentes inorgánicos que contiene.” (Garrido, 2019)

El mecanismo de formación de cenizas y contaminación durante la combustión es complejo. Los metales alcalinos y alcalinotérreos, como el sodio o el potasio, en combinación con otros elementos como el silicio o el azufre, y facilitado por la presencia de cloro son responsables de muchas reacciones indeseables en los quemadores y calderas de combustión de biomasa.” (Garrido, 2019)

“El cloro facilita la movilidad de muchos compuestos inorgánicos y juega un papel fundamental en el mecanismo de deposición, ya que incrementa la volatilidad y la movilidad de los metales alcalinos, emitiéndose como cloruros alcalinos o hidróxidos alcalinos en fase gas.” (Garrido, 2019)

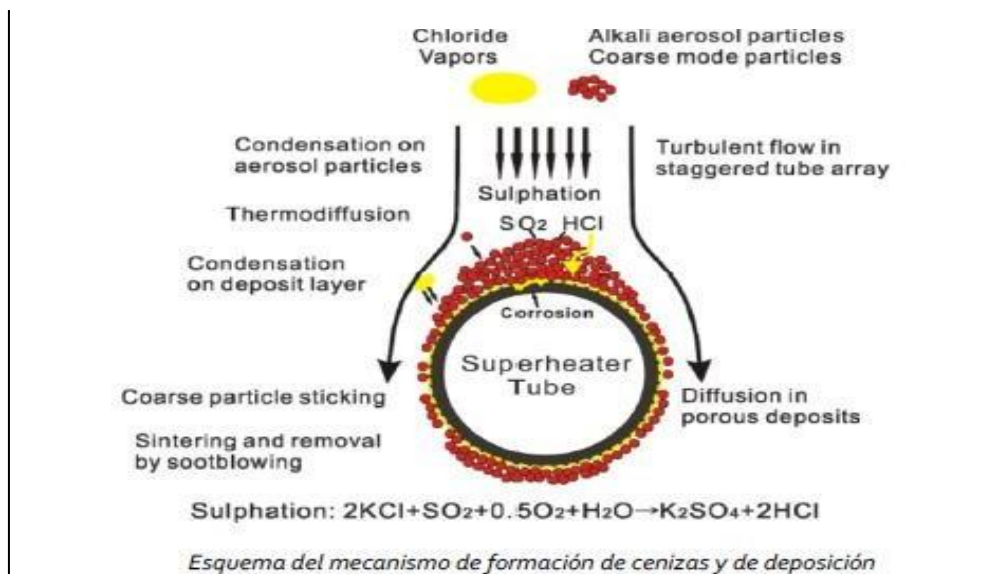
“La concentración de cloro dicta la cantidad de álcali vaporizado. Normalmente, elementos como el potasio y el cloro se encuentran en la biomasa en forma de sales inorgánicas solubles en agua como óxidos, nitratos o cloruros, los cuales pueden ser fácilmente volatilizados durante la combustión emitiéndose en fase gas y dando lugar a una alta movilidad de los materiales alcalinos y por lo tanto a una alta tendencia al ensuciamiento. Estos compuestos en fase gas nuclean y cuando son enfriados en el paso por los tubos intercambiadores de

calor, algunos de ellos condensan sobre las superficies más frías, como el cloruro potásico (KCl). Estos compuestos alcalinos tienen una naturaleza pegajosa, permitiendo el posterior crecimiento de los depósitos mediante el impacto de partículas contra ellos. En presencia de azufre, estos compuestos alcalinos pueden reaccionar con el SO₂ y formar sulfatos. Se acepta que la aparición de S puede disminuir los problemas de corrosión mediante mecanismos de sulfatación.” (Garrido, 2019)

“La mayoría de los compuestos no volátiles, formados principalmente por elementos inorgánicos refractarios como el Ca, Mg y Si se quedan en el lecho formando parte de las cenizas de parrilla o de las partículas de mayor tamaño de las cenizas volantes. Estas partículas de cenizas volantes impactarán contra las paredes del quemador y contra los intercambiadores de calor, y su retención en el depósito se facilita si la superficie de depósito está formada por material pegajoso.” (Garrido, 2019)

La combustión produce cenizas a partir de materiales inorgánicos unidos al combustible mediante una combinación de procesos físicos y químicos complejos. Las partículas primarias más pequeñas (5 - 10 μm) se forman por vaporización de especies volátiles y posteriormente nuclean en la capa límite para luego crecer por coagulación, aglomeración y condensación en los gases de combustión. Las partículas grandes (> 10 μm) suelen formar parte del mecanismo de impacto inercial. En la Figura, se observa un esquema de la formación de las cenizas durante la combustión y la deposición de estas cenizas formando el ensuciamiento. Al principio el tubo está limpio y los vapores inorgánicos y las partículas finas forman las primeras capas del ensuciamiento depositándose en la circunferencia total del tubo. Después de eso, el impacto inercial de partículas de cenizas contribuye al crecimiento de los depósitos.” (Garrido, 2019)

Ilustración 3: Esquema del mecanismo de formación de cenizas y de deposición



Tipos de mecanismos de deposición o de formación del ensuciamiento. Los cuatro principales mecanismos de formación de ensuciamiento son el impacto inercial, la termoforesis, la condensación y la reacción química.

Impacto inercial: “La mayoría de las partículas grandes con un tamaño mayor a 10 µm se acoplan a los depósitos mediante este mecanismo. El transporte inercial por impacto de las partículas de biomasa depende de la geometría y del tamaño de partícula y de la densidad y de las propiedades del propio gas de combustión. Además, la eficiencia en la captura depende de estos parámetros y de la composición y viscosidad de la partícula.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Termoforesis: “Las partículas reaccionan debido a los gradientes de temperatura en el entorno o en la propia partícula. A medida que aumenta la capa de ensuciamiento, desciende el gradiente de temperatura de la capa límite y como consecuencia va disminuyendo el ratio de termoforesis.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Condensación: “Los depósitos formados en las zonas de convección normalmente muestran una composición variable entre el interior y el exterior del depósito. Estas variaciones en la composición están asociadas con la variación del ratio de condensación con

el tiempo. La condensación es el mecanismo por el cual el ensuciamiento se deposita sobre las superficies más frías que el gas, condensado sobre ellas. Los depósitos formados por condensación están distribuidos uniformemente en la circunferencia del tubo. La condensación puede producirse mediante tres mecanismos: (1) los vapores atraviesan la capa límite y condensan heterogéneamente en la superficie o entre los poros del depósito, (2) los vapores nuclean homogéneamente y se depositan por termoforesis en la superficie y los vapores condensan heterogéneamente en otras partículas y llegan a la superficie por termoforesis.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Reacción química: “La reacción química completa los mecanismos por los cuales se puede acumular masa en los depósitos. Implica generalmente la reacción química heterogénea de gases con materiales del ensuciamiento. Entre las reacciones químicas más importantes se pueden destacar la sulfatación, la absorción de álcali y la oxidación. El sodio y el potasio en formas de hidróxidos y cloruros condensados son susceptibles de sulfatación. La sílice absorbe el material alcalino para formar silicatos . Los silicatos son menos rígidos y se funden a temperaturas más bajas que la sílice entre los 800°C y los 900°C . Las transformaciones de sílice a silicatos pueden inducir sinterización y cambios significativos en las propiedades de los depósitos.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Humedad: “La biomasa tal y como se recibe, sin secar, puede tener una humedad muy variable que oscila en el intervalo entre un 3% y un 63%; además, los valores de humedad suelen ser mayores en las biomásas de madera que en la biomasa herbácea o agrícola.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Volátiles: “La materia volátil en base seca en la biomasa puede variar desde el 48% hasta el 86%. La producción de materia volátil incluye hidrocarburos ligeros, CO, CO₂, H₂, agua, y alquitranes.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Carbono fijo: “El contenido en base seca de carbono fijo varía en el intervalo de 1% hasta 38% y normalmente la biomasa de madera tiene más contenido en carbono fijo que la

biomasa herbácea o agrícola.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Cenizas: “El contenido de cenizas en base seca determinadas a una temperatura de entre 550°C y 600°C para los distintos tipos de biomasa puede variar entre un 0.1% y un 46% y normalmente la biomasa herbácea y agrícola posee un mayor contenido en cenizas que la biomasa de madera. Por esta razón, la mayoría de las aplicaciones comerciales de calderas de biomasa operan con este último tipo de combustible. La ceniza es una de las características de la biomasa más estudiadas, pero a la vez menos entendidas. Existen diferencias conceptuales entre ceniza, materia inorgánica o materia mineral. La materia inorgánica comprende las fases sólidas cristalinas, semi cristalinas y amorfas de la biomasa, la materia mineral excluye las fases inorgánicas amorfas y la ceniza es el residuo que queda de la combustión completa de la biomasa y que se compone de fases inorgánicas formadas por componentes inorgánicos, orgánicos y fluidos de la biomasa.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

“En base húmeda, donde; humedad + volátiles + carbono fijo + cenizas = 100%. En base seca si se elimina la humedad, donde; volátiles + carbono fijo + cenizas = 100%. En base seca sin cenizas si se elimina la humedad y las cenizas, donde; volátiles + carbono fijo = 100%.”(Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Análisis elemental: “El análisis elemental de un combustible sólido es la determinación de su contenido en carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N). En algunos casos también se determina la cantidad de azufre (S) y cloro (Cl), aunque lo más normal es que estos dos elementos formen parte del análisis de cenizas. También existe un estándar español para la determinación del análisis elemental, la UNE-EN 15104:2011. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido total de carbono, hidrógeno y nitrógeno. Métodos instrumentales.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

El análisis elemental orgánico: determina la cantidad de C, H, O y N mediante la combustión de la biomasa en un horno a 1000°C, a continuación, los gases se impulsan con

helio a través de reactivos hacia un cromatógrafo de gases con detector de conductividad térmica (TCD) que permite medir N₂, CO₂, H₂O y SO₂. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Carbono (C): “El contenido de carbono (C) de la biomasa puede variar entre un 42 % y un 71% y normalmente las biomásas de madera tienen un mayor contenido en carbono que las biomásas herbáceas y agrícolas. El contenido en carbono (C) de la biomasa es en general menor que el de combustibles fósiles sólidos y contribuye positivamente al poder calorífico. El CO₂ es el principal producto de la combustión completa de biomasa. La combustión incompleta puede llevar a emisiones de contaminantes basadas en carbono inquemado como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), hidrocarburos aromáticos policíclicos, tar y hollín.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Oxígeno (O): “El contenido de oxígeno (O) de la biomasa normalmente se calcula por diferencia una vez conocidos el resto de los elementos y suele variar entre un 16% y un 49%. Lo más usual es que la biomasa herbácea y agrícola presente una mayor cantidad de oxígeno que la biomasa de madera. Este elemento presenta concentraciones mayores en la biomasa que en los combustibles sólidos fósiles. El contenido de oxígeno (O) influye negativamente en el poder calorífico del combustible.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Hidrógeno (H): “El hidrógeno posee una concentración en la biomasa que varía en el intervalo entre 3% y 11%. El hidrógeno (H) muestra contenidos más altos en la biomasa que en los combustibles fósiles sólidos.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Nitrógeno (N): “El contenido en nitrógeno (N) en la biomasa varía entre el intervalo de 0.1% a 12% y la biomasa de madera suele presentar menor cantidad que la biomasa herbácea o agrícola. Este elemento móvil tiene normalmente un contenido ligeramente menor en la biomasa en comparación con combustibles fósiles sólidos. El nitrógeno es un nutriente de las plantas muy importante en su crecimiento y también es significativo en la formación de emisiones contaminantes cuando se realiza la combustión. Durante la combustión de la biomasa el nitrógeno se convierte casi enteramente en N₂ gaseoso y en óxidos de nitrógeno.

La cantidad de óxido nitroso (N₂O) es muy baja en las calderas modernas. Solo una parte insignificante de nitrógeno es incorporado en la ceniza.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Análisis de cenizas: “la composición de las cenizas en apartados anteriores. La mayoría del contenido en cenizas son minerales cristalinos. Sin embargo, cuando se habla de análisis de cenizas se presentan los elementos inorgánicos que forman estas cenizas. En función de la técnica que se utilice para la determinación de las cenizas, estas se pueden presentar en forma elemental o en forma de óxidos. Normalmente, los principales elementos presentes en el análisis de las cenizas de biomasa son los siguientes: Ca, K, Si, Mg, Al, Fe, P, Na, S, Mn, Ti. ”(Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Elementos como el Ca y el Mg aumentan el punto de fusión de las cenizas, y por otra parte, elementos como el K o el Cl disminuyen este punto de fusión. A continuación, se destacan algunos de los elementos más relevantes en el comportamiento de las cenizas como el azufre, el cloro y el potasio.

Azufre (S): El contenido de azufre de la biomasa varía en el intervalo de 0.01% hasta 2.3% y normalmente aparece en menor cantidad en la biomasa de madera que en la biomasa agrícola y herbácea. Este elemento móvil tiene típicamente mucha menos presencia en la biomasa que en los combustibles fósiles sólidos. El azufre durante la combustión de la biomasa forma SO₂ gaseoso y sulfatos alcalinos y alcalinotérreos y al enfriar los sulfatos condensan en los tubos y también se produce la sulfatación de partículas depositadas.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Cloro (Cl): El contenido en cloro de la biomasa en base seca varía en el intervalo de 0.01% a 0.9% y normalmente aparece en mayor proporción en la biomasa agrícola y herbácea que en la biomasa de madera. Normalmente las biomásas presentan un mayor contenido en cloro que los combustibles sólidos fósiles. Durante la combustión de la biomasa, el cloro puede formar compuestos gaseosos como el HCl(g), Cl₂(g), KCl(g) o NaCl(g) que al enfriar condensan formando sales. Las dioxinas y furanos (PCDD/F) contienen cloro y se forman a

altas concentraciones de oxígeno en la superficie de partículas de cenizas inquemadas en intervalo de temperatura desde 180°C a 550°C. Como ya se comentó, el cloro tiene un papel fundamental en el transporte y vaporización de metales alcalinos como el potasio, y por lo tanto en la formación del ensuciamiento.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Potasio (K): “El potasio está normalmente enlazado orgánicamente en la biomasa y durante la combustión se vaporiza y se descompone formando óxidos, hidróxidos, cloruros y sulfatos. Estas especies tienen bajo punto de fusión y condensan en las paredes, tubos y partículas de cenizas causando el ensuciamiento.” (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6. Definiciones

2.6.1 AAE: Agencia Ambiental Europea (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.2 Aire O también denominado “aire ambiente”,

Una atmósfera se refiere a cualquier parte no confinada de la atmósfera y se caracteriza por ser una mezcla gaseosa que generalmente contiene al menos un 20% de oxígeno, un 79% de nitrógeno y un 1% de dióxido de carbono, junto con proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en términos de volumen. Para los fines de ajustar las concentraciones de emisiones reguladas por esta norma, se asume que la atmósfera está compuesta por un 21% de oxígeno y un 79% de nitrógeno en términos de volumen. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Amalgama es una sustancia metálica que se compone de oro y mercurio, y se caracteriza por su aspecto brillante, blanco y viscoso. Esta amalgama se forma mediante la incorporación de mercurio al material extraído o procesado de una mina, con el propósito de separar el oro libre de otros componentes. La recuperación posterior del oro generalmente se lleva a cabo mediante la fundición de la amalgama, un proceso que puede generar emisiones gaseosas de mercurio. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.3 *Bagazo:*

es el material que queda como residuo después de exprimir y extraer el jugo de la caña de azúcar. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.4 *Biomasa: Cualquiera de los siguientes productos:*

a) Los biocombustibles son productos elaborados a partir de material vegetal de origen agrícola o forestal que pueden ser empleados como combustible.

b) Residuos de origen agrícola o forestal;

c) “Residuos vegetales procedentes de la industria de elaboración de alimentos, si se recupera el calor generado”; (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

d) “Residuos vegetales fibrosos procedentes de la producción de pulpa virgen y de la producción de papel, si se incineran en el lugar de producción y se recupera el calor generado”; (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

e) Residuos de madera, esta categoría aquellos biocombustibles que puedan contener compuestos organohalogenados o metales pesados, los cuales pueden estar presentes debido a tratamientos con sustancias protectoras de la madera. Específicamente, los residuos de madera derivados de desechos de construcción y demolición no están incluidos. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.5 *Búnker:*

El fuel oil, también conocido como producto residual de la destilación atmosférica del petróleo crudo, se clasifica en tres categorías: fuel oil liviano 4A, fuel oil liviano 4B y fuel oil pesado. Estas categorías están definidas en la norma NTE INEN 1983:2002, primera revisión 2002-05. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.6 *Caldero:*

Es un equipo cerrado que se utiliza para calentar agua, aceite u otra sustancia, con el propósito de generar vapor o transferir calor. Una caldera consta de dos componentes principales: el hogar, que proporciona el calor, generalmente a través de la quema de combustible, y el caldero, en el cual el calor provoca el cambio de fase de agua a vapor o transmite la energía térmica. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.7 *Celda electroquímica:*

El sensor es una componente integral de un analizador portátil de gases que se encarga de medir el gas de interés a través de una reacción química y produce una señal de salida proporcional a la concentración de ese gas. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.8 *Central termoeléctrica:*

Una planta de energía es una instalación que genera electricidad utilizando diferentes tipos de combustibles, que pueden ser fósiles como el carbón, fuel oil, diesel o gas natural, o renovables como la biomasa. La conversión de energía se lleva a cabo mediante diversas tecnologías, como calderas para la generación de vapor, turbinas de gas o motores de combustión interna. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.9 *Chimenea:*

Un conducto de chimenea es un conducto que proporciona la vía para transportar los productos de la combustión generados en una fuente fija hacia la atmósfera. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.10 *Combustibles alternativos:*

Los residuos con valor de energía recuperable son aquellos desechos que contienen una cantidad de energía que puede ser recuperada y utilizada como combustible. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27).

2.6.11 Combustibles convencionales:

Los combustibles fósiles incluyen recursos como el gas natural, el carbón mineral y los productos derivados del petróleo. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.12 Combustibles fósiles:

Los combustibles fósiles son hidrocarburos que se encuentran en estado natural, como el petróleo, el carbón, el gas natural y sus productos derivados. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.13 Combustibles fósiles gaseosos:

Los hidrocarburos gaseosos son productos derivados del petróleo o del gas natural, como el butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.14 Combustibles fósiles líquidos:

Los hidrocarburos líquidos son productos derivados del petróleo, como el diésel, el búnker (fuel oil), el queroseno, las naftas y también el petróleo crudo. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.15 Combustibles fósiles sólidos:

Se refiere a las variedades de carbón mineral que tienen un contenido fijo de carbono que varía desde el 10% al 90% en peso, así como al coque de petróleo. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

La combustión es un proceso de oxidación rápida que implica la combinación del oxígeno con materiales o sustancias que pueden oxidarse. Este proceso produce gases, partículas, luz y calor como resultados.

2.6.16 Concentración de una sustancia en el aire:

La relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en el cual está contenida se conoce como densidad. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.17 Condiciones de referencia:

Para los fines de esta norma, se considera que la temperatura es de 25 grados centígrados (25 °C) y la presión es de 760 mm de mercurio (760 mm Hg). (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

Las "condiciones normales" se emplean para informar las concentraciones de emisiones según lo establecido en esta norma, a una temperatura de 0 grados centígrados (0 °C) y una presión de 1013 milibares (1013 mbar).

2.6.18 CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad.

2.6.19 ARCERNNR: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.20 Contaminación del aire:

La "contaminación del aire" se refiere a la presencia de sustancias en la atmósfera, ya sean de origen humano o natural, en concentraciones lo bastante elevadas y durante un período suficiente como para interferir en el bienestar, la salud o el entorno de los seres humanos. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.21 Contaminante criterio del aire:

Es cualquier contaminante del aire para el cual se especifica en el "registro oficial No. 464 del 7 de junio del 2011" se refiere a un documento gubernamental emitido en esa fecha. El "Acuerdo Ministerial No 050 del 4 de abril de 2011" es una decisión oficial del Ministerio que se tomó el 4 de abril de 2011. Estos documentos establecen un valor máximo de concentración permitida en el aire ambiente a nivel del suelo. Esta concentración es la

cantidad máxima de ciertas sustancias que se permite en el aire y puede afectar a personas, animales, vegetación o materiales durante diferentes períodos de tiempo. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.22 Corrección de concentración de emisiones:

Para verificar el cumplimiento de los límites establecidos en esta Norma, las concentraciones de emisión medidas deben ajustarse previamente teniendo en cuenta el porcentaje de oxígeno (O₂) indicado en cada caso. Para hacer esta corrección, se puede aplicar la siguiente expresión:

$$E_c = 21 * (1 - (O_c / O_m))$$

Donde:

- E_c es la concentración corregida de emisión.
- 21 es el valor estándar del porcentaje de oxígeno en la atmósfera (21%).
- O_c es el porcentaje de oxígeno indicado en el caso particular.
- O_m es la concentración medida de emisión.

Esta corrección se realiza para estandarizar las concentraciones de emisión en función del porcentaje real de oxígeno en la atmósfera, lo que permite una comparación más precisa con los límites establecidos en la Norma. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.23 Desecho peligroso:

Los desechos peligrosos, que son desechos o residuos que, debido a sus características, representan un riesgo para la salud pública, los recursos naturales y el medio ambiente. Estos desechos se clasifican como peligrosos por factores como su inflamabilidad, corrosividad, reactividad, capacidad carcinogénica, toxicidad, capacidad infecciosa o radioactividad. En algunos casos, pueden ser incluidos en una lista nacional de desechos peligrosos, a menos que no presenten ninguna de las características mencionadas. La gestión adecuada de estos desechos es fundamental para prevenir impactos negativos en la

salud y el entorno. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.24 Desecho hospitalario:

Se refiere a los desechos o residuos que incluyen tejidos, restos orgánicos u objetos asociados con prácticas médicas y de atención sanitaria.

2.6.25 Desecho equivalente:

En el caso de una chimenea con una sección rectangular, su diámetro equivalente (D_e) se establece a través de la siguiente fórmula: $D_e = 2 LAL + A$. Aquí, D_e representa el diámetro equivalente, L es la longitud, y A es la anchura. Es importante medir tanto la longitud como la anchura en la sección interna de la chimenea, en contacto efectivo con la corriente de gases. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.26 Dióxido de azufre (SO₂):

Es un gas incoloro e irritante que se produce principalmente mediante la oxidación del azufre presente, especialmente en los combustibles fósiles. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.27 Emisión:

Se refiere al lanzamiento de sustancias en la atmósfera. En el contexto de esta norma, la emisión se relaciona con las concentraciones de liberación de sustancias derivadas de la combustión en instalaciones estacionarias y de ciertos procesos industriales específicos. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.28 Emisión de combustión:

Se trata de la liberación de contaminantes atmosféricos generados por la utilización de combustibles para la producción de energía. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.29 Emisión de proceso:

Consiste en la liberación de contaminantes atmosféricos inherentes al proceso de producción, excluyendo aquellos que son gases o subproductos de la combustión. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.30 Episodio crítico de contaminación del aire:

Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes criterio del aire y por periodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones de emisiones de gran magnitud y/o meteorológicas desfavorables, que impiden la dispersión de los contaminantes. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.31 Fuentes de combustión artesanal:

Fuentes de combustión a pequeña escala que aprovecha energéticamente, mediante métodos manuales, biomasa u otros combustibles. Se incluyen ladrilleras, caleras, fundidoras, actividades de preparación de alimentos y otras que pudiera considerar clasificable, la Autoridad Ambiental de Control. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.32 Fuente fija de combustión abierta:

Es la instalación o conjunto de instalaciones fijas, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o conjunto de operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, que emite contaminantes del aire debido al proceso de combustión, en el que no se puede controlar el ingreso del aire a la fuente. En esta categoría se incluyen los hornos para fabricación de cerámica refractaria, no refractaria, de arcilla, ladrilleras industriales, termofijadoras, hornos túnel, hornos de secado de pintura automotriz, hornos de secado para imprentas, hornos de secado para cerámica y otras que sean así clasificadas por la Autoridad Ambiental de Control. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.33 Fuente fija de combustión:

Es aquella Instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar

operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, que emite o puede emitir contaminantes al aire debido a procesos de combustión, desde un lugar fijo e inamovible. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.34 Fuente fija existente:

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones en operación, o que cuenta con autorización para operar, por parte de la Autoridad Ambiental de Control, antes de marzo de 2013. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.35 Fuente fija modificada:

Es aquella fuente fija existente que experimenta un cambio en su capacidad operativa, en el combustible o en su tecnología, que implique un cambio en sus emisiones. En el caso de cambio de tecnología debe cumplir los requisitos de emisión establecidos para las fuentes fijas. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.36 Fuente fija nueva:

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones que ingrese en operación a partir de marzo de 2013. Fuente no significativa Es aquella que no está en principio obligada a realizar mediciones de las concentraciones de emisión de contaminantes.

2.6.37 Fuente significativa:

Es aquella que debe demostrar el cumplimiento de la presente norma, mediante mediciones de las concentraciones de emisión de contaminantes. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.38 Horno crematorio (Incinerador):

Es el horno en el que se desarrolla la incineración de restos de exhumaciones y de cadáveres humanos o animales. Incinerador de desechos peligrosos u hospitalarios Es la Instalación utilizada para la destrucción térmica de desechos peligrosos u hospitalarios,

mediante oxidación, con o sin recuperación del calor producido por la combustión. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.39 Inventario de emisiones:

Es la lista o colección de números que representan las cantidades de los contaminantes del aire, emitidos a causa de las actividades socioeconómicas o naturales, dentro de una zona geográfica determinada, para un periodo de tiempo establecido (pasado, presente o futuro). (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.40 ISO: Organización Internacional para la Normalización.

2.6.41 Línea base:

Es aquella que denota el estado de un sistema alterado en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades humanas. Para la aplicación de esta norma deberá entenderse como el nivel de la calidad del aire existente sin la influencia de las emisiones de la fuente fija evaluada. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.42 Línea de muestreo:

Es el eje en el plano de muestreo a lo largo del cual se localizan los puntos de medición, y está limitada por la pared interna de la chimenea o conducto. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.43 Material particulado:

Se refiere al constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera, en condiciones normales. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.44 Mejor tecnología de control disponible (BACT por sus siglas en inglés):

Es la limitación de emisiones que se basa en el máximo grado de reducción, considerando aspectos de energía, ambientales y económicos que se puede alcanzar mediante la aplicación de los mejores procesos de producción y técnicas disponibles, desarrolladas a una escala que permita su aplicación industrial. (Ministerio del Ambiente, 2022, 27)

2.6.45 Micra o micrón: es la millonésima parte de un metro, o la milésima parte de un milímetro.

2.6.46 Modelo de dispersión:

Es la representación matemática para describir el comportamiento y estimar la concentración de los contaminantes en la atmósfera, que se emiten desde una o varias fuentes de emisión, bajo condiciones meteorológicas y topográficas determinadas.

2.6.47 Modelo gaussiano:

Se refiere a la representación matemática de la dispersión de contaminantes emitidos desde una o más fuentes fijas, que asume que las concentraciones viento abajo, son proporcionales a la tasa de emisión, inversamente proporcionales a la velocidad del viento, y en el que en los ejes transversales, tanto vertical como horizontal, la distribución de las concentraciones se expresan mediante una distribución normal o gaussiana. En su versión más simple, el modelo asume que el contaminante sólo experimenta dispersión, y no participa en reacciones químicas.

2.6.48 Modelo euleriano:

Es el modelo de transporte químico que describe el comportamiento de los contaminantes del aire en un dominio tridimensional, compuesto por una matriz tridimensional de volúmenes de control, con coordenadas únicas con respecto a un sistema fijo de referencia. Requiere como uno de los elementos de entrada, el inventario de emisiones de la

zona de estudio, incluyendo fuentes lineales, de área y fuentes fijas.

2.6.49 Monitoreo de emisiones:

Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el correspondiente registro de las emisiones de fuentes fijas, a fin de verificar el cumplimiento de los límites de concentración de emisiones establecidos en la Norma.

2.6.50 Monóxido de carbono:

Es un gas incoloro, inodoro y tóxico, resultado de la combustión incompleta de combustibles.

2.6.51 Motores de Combustión Interna (MCI):

Son dispositivos en los cuales la combustión tiene lugar dentro de un espacio cerrado. La mezcla de aire y combustible se comprime en un volumen reducido entre la cabeza del pistón y el cilindro circundante. Posteriormente, se inicia la ignición de la mezcla bajo condiciones de alta presión y temperatura, generando gases de combustión que impulsan el movimiento del pistón dentro del cilindro. Este movimiento se transforma de lineal a rotacional mediante un cigüeñal, el cual se conecta a un eje y finalmente activa un generador eléctrico, motobombas u otros dispositivos. En el contexto de esta norma, se consideran motores de combustión interna aquellos de tecnología Diesel, capaces de funcionar con combustibles líquidos o gaseosos, y con un tiempo anual de operación igual o superior a 440 horas.

2.6.52 Muestreo isocinético:

Es un método de muestreo en el cual la velocidad y dirección del gas que ingresa en la sonda de muestreo coinciden con las del gas presente en el conducto o chimenea.

2.6.53 Puertos de muestreo:

Son aberturas redondas en las chimeneas o conductos diseñadas para permitir la inserción de los dispositivos requeridos para la medición y recopilación de muestras.

2.6.54 Puntos de medición:

Son lugares concretos situados a lo largo de las líneas de muestreo, en los cuales se llevan a cabo las mediciones y se obtienen las muestras correspondientes.

2.6.55 Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) o Nivel de Inmisión:

Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente, de acuerdo a las concentraciones y criterios del Acuerdo No. 050, en vigencia desde el 4 de abril de 2011, que actualiza la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión.

2.6.56 Norma de emisión:

Se refiere al límite que establece la concentración máxima permitida de emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de una fuente estacionaria.

2.6.57 Óxidos de nitrógeno (NO_x):

Es la combinación del óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). El NO es un gas incoloro producido por la unión de nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂) en la atmósfera durante procesos de combustión, así como por la oxidación del nitrógeno presente en los combustibles. Por otro lado, el NO₂, de tonalidad pardo rojiza, se forma a partir de la oxidación del NO y es considerado un gas tóxico.

2.6.58 Material particulado fino (PM_{2.5}):

Es la sustancia en estado sólido o líquido cuyas partículas tienen un diámetro inferior a 2.5 micras, siendo generada principalmente durante procesos de combustión.

2.6.59 Material particulado PM₁₀:

Es el material sólido o líquido, cuyas partículas presentan un diámetro menor a 10 micras. La fracción correspondiente a tamaños entre 2.5 y 10 micras, se genera

principalmente por procesos de desintegración mecánica. El PM2.5 forma parte del PM10.

2.6.60 Ozono (O₃):

Es un contaminante atmosférico secundario producido a través de reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles.

2.6.61 Puntos de medición:

Son lugares particulares situados a lo largo de la línea de muestreo, donde se llevan a cabo las mediciones y se toma la muestra representativa.

2.6.62 Turbina a gas Motor de combustión interna:

Compuesto por tres elementos: un compresor, una cámara de combustión y una turbina de potencia. Esta última es impulsada por los gases resultantes de la combustión y puede emplear tanto combustibles líquidos como gaseosos.

Tabla 1:

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONCENTRACIONES DE EMISIÓN AL AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN ABIERTA (mg/Nm³)

Contaminante	Combustible	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento hasta marzo de 2013	Fuente fija nueva: en funcionamiento a partir marzo de 2013
Material Particulado	Sólido sin contenido de azufre	200	100
	Fuel oil	200	100
	Diesel	150	80
Óxidos de nitrógeno	Sólido sin contenido de azufre	800	650
	Fuel oil	700	600
	Diésel	500	450
	Gaseoso	200	180
Dióxido de azufre	Fuel oil	1650	1650
	Diesel	700	700
Monóxido de carbono	Sólido sin contenido de azufre	1800	1500
	Fuel oil	300	250
	Diesel	250	200
	Gaseoso	150	100

mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, mil trece milibares de presión (1013 mbar) y temperatura de cero grados centígrados(0°C), en base seca y corregidos al 18% de oxígeno. Sólido sin contenido de azufre, incluye biomasa como la madera y bagazo.

Tabla 2:LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONCENTRACIONES DE EMISIÓN PARA CALDEROS (mg/Nm³)

Contaminante	Combustible	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento hasta enero de 2003	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento hasta marzo de 2013	Fuente fija nueva: en funcionamiento a partir marzo de 2013
Material Particulado	Sólido sin contenido de azufre	300	180	90
	Fuel oil	300	180	90
	Diesel	280	180	90
Óxidos de nitrógeno	Sólido sin contenido de azufre	900	850	700
	Fuel oil	700	700	400
	Diésel	600	550	400
	Gaseoso	250	150	150
Dióxido de azufre	Fuel oil	2000	2000	600
	Diesel	750	750	225
Monóxido de carbono	Sólido sin contenido de azufre	1800	1800	600
	Fuel oil	180	180	150
	Diesel	180	180	150
	Gaseoso	150	150	150

mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, mil trece milibares de presión (1013 mbar) y temperatura de cero grados centígrados(0°C), en base seca y corregidos al 18% de oxígeno.

Definición de Cambio Climático

El cambio climático se refiere a alteraciones identificables en las condiciones climáticas a lo largo de extensos períodos, generalmente de décadas o más, detectables mediante pruebas estadísticas que evidencian cambios en el valor medio y/o en la variabilidad de las propiedades climáticas. Este fenómeno puede ser resultado de procesos internos naturales o de influencias externas, como modulaciones en los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios persistentes en la composición de la atmósfera y el uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como una modificación en el clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada en períodos de tiempo comparables. La CMNUCC establece una distinción entre el cambio climático causado por actividades humanas que afectan la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales. (Nemer, 2021

Efecto Invernadero

El impacto radiactivo infrarrojo engloba la influencia de todos los elementos de la atmósfera que absorben radiación en el espectro infrarrojo. Tanto los gases de efecto invernadero como las nubes, y en menor medida, los aerosoles, absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre y cualquier punto de la atmósfera. Aunque estas sustancias emiten radiación infrarroja en diversas direcciones, la cantidad neta de energía irradiada hacia el espacio generalmente es menor bajo condiciones normales debido a la disminución de la temperatura con la altitud en la troposfera, lo que resulta en una emisión debilitada. Un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero amplifica este efecto, conocido comúnmente como intensificación del efecto invernadero. La alteración en la concentración de estos gases debido a emisiones antropogénicas contribuye al aumento de la temperatura en la superficie y la troposfera. Este aumento es inducido por un forzamiento radiativo

instantáneo que, a su vez, gradúa el equilibrio radiactivo en la parte superior de la atmósfera.(Nemer Montesdeoca & Ramírez M., Ángel, Director, 2021)

Calentamiento Global

El fenómeno del calentamiento global se define como el aumento progresivo de la temperatura en la Tierra, abarcando tanto la atmósfera como los océanos. Este incremento se debe principalmente al aumento de los gases de efecto invernadero, los cuales tienen la capacidad de retener el calor en la atmósfera. (Nemer Montesdeoca & Ramírez M., Ángel, Director, 2021)

¿Qué es la corrosión de la caldera?

La corrosión en la caldera se produce al disolverse el oxígeno presente en su interior en el agua. Esta presencia de oxígeno disuelto desencadena una reacción con el metal de la caldera, que es rico en hierro (ferroso), en un proceso llamado oxidación. Se forman agujeros profundos y cavidades en el metal, los cuales aumentan gradualmente hasta que la caldera se deteriora completamente, requiriendo su sustitución. (NCH Asia, 2021)

Corrosión galvánica: Cuando los metales están en contacto eléctrico entre sí y uno de ellos experimenta corrosión en una configuración en forma de V.

Corrosión cáustica: se refiere a situaciones en las que el agua presenta un pH elevado.

Corrosión ácida: implica el deterioro progresivo de materiales a causa de compuestos ácidos.

Fragilidad por hidrógeno: se produce cuando el metal pierde su capacidad de deformarse debido a la presencia de hidrógeno.

Ataque de oxígeno: ocurre cuando un incremento de temperatura genera la energía necesaria para desencadenar reacciones en las superficies metálicas.

Dióxido de carbono: este, al disolverse en forma de vapor/gas, corroe el metal y origina una capa de carbonato de hierro.

Actualidad y Energías Renovables

Agua de alimentación: Se refiere al agua de ingreso que abastece el sistema, típicamente proveniente de un pozo o de la red de suministro de agua. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Agua de calderas: Se trata del agua circulante dentro del sistema de la caldera, cuyas propiedades están influenciadas por los ciclos y las características del agua de entrada. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Agua de condensado: Es el agua derivada del depósito condensado, la cual refleja la calidad del vapor. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Aguas residuales: Aguas que se producen tras el efecto de actividades industriales, urbanas o agrícolas. Estas aguas llevan sustancias como metales o compuestos orgánicos que supone el problema de los residuos y su tratamiento. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Álabe: Cada una de las aletas curvas de la turbina que aprovechan la fuerza del fluido. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Biodiésel: Combustible que se obtiene a partir de la biomasa, adecuado para su utilización por motores de combustión tipo diesel. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Cambio climático: Fenómeno de gran interés objeto de estudio de diversos científicos y motivo de preocupación política y social. La emisión de gases de efecto invernadero es la principal causa y está muy asociada a la intervención humana. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Ceniza: Material resultante de los procesos de combustión

Central térmica: Es un centro de producción de energía eléctrica a partir de combustibles convencionales como el carbón o los derivados del petróleo. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Cogeneración: mejora del rendimiento de las instalaciones mediante la producción y aprovechamiento conjunto de energía eléctrica y energía calorífica se conoce como "cogeneración" o "generación combinada de calor y energía" (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Combustibles fósiles: Materiales de origen orgánico como el carbón, gas natural o petróleo. Se trata de recursos limitados y que contaminan de forma significativa. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Condensador: es un dispositivo o proceso que se utiliza para condensar vapor, lo que significa cambiar el estado del vapor de agua de gaseoso a líquido mediante el enfriamiento.. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Desaireador: es el sistema que expulsa los gases a la atmósfera

Dióxido de azufre: Gas dañino tanto para los ojos como las mucosas como para las vías respiratorias. Se produce en procesos industriales de combustión y es uno de los componentes de la lluvia ácida. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Dióxido de carbono: Gas incombustible componente natural de la atmósfera. Las plantas lo emplean en la fotosíntesis. Es un gas denominado de efecto invernadero.

Dióxido de nitrógeno: Gas que se produce en las combustiones a causa de la oxidación del nitrógeno de la atmósfera. Es tóxico y también colabora de forma importante en el fenómeno de la lluvia ácida. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Energía primaria: La energía primaria se refiere a la energía contenida en los recursos naturales o combustibles en su estado original antes de someterse a procesos de conversión, se utiliza como entrada en sistemas de generación y conversión de energía para producir energía utilizable, como electricidad, calor o combustibles. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Energías renovables: Energías procedentes de fuentes que aprovechan recursos naturales inagotables (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Gas Natural: Se forma en el interior de la Tierra y se trata de una mezcla gaseosa de hidrocarburos con mayor presencia del metano. Se emplea como combustible y tiene diversas aplicaciones siendo especialmente conocidas las domésticas e industriales. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

GICC: Gasificación Integrada en Ciclo Combinado. La gasificación de carbón es una tecnología que puede mejorar la eficiencia y reducir las emisiones de carbono en comparación con la combustión directa del carbón en plantas de energía. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Inquemados (combustibles): Los combustibles que no completan el proceso de combustión en una caldera debido a la falta de oxígeno o a una mezcla incorrecta de combustible y aire se conocen como "combustibles no quemados" o "combustibles no consumidos". (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Impacto ambiental: Alteraciones en el medio ambiente que se producen o se pueden producir (por eso se someten a estudio) con diversas actividades. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Kilovatio: Es una unidad de potencia que equivale a 1000 vatios, kW. (*Actualidad Y Energías Renovables, n.d.*)

Megavatio: Unidad de potencia eléctrica equivalente a un millón de vatios, MW. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Metano: Se trata del hidrocarburo más simple consecuencia de la descomposición anaeróbica. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

PLC: Un Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés Programmable Logic Controller) es un sistema informático utilizado para controlar y automatizar procesos industriales. Funciona mediante la transmisión de información a través de líneas eléctricas. Estas comunicaciones pueden ser de banda estrecha, utilizando el cableado eléctrico doméstico, o de banda ancha cuando se emplean las líneas eléctricas de la red. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Vapor húmedo: Vapor con arrastre de espuma proveniente de un agua de alcalinidad elevada. (*Actualidad Y Energías Renovables*, n.d.)

Vapor seco: Vapor de óptimas condiciones

Incrustaciones: La incrustación por silicatos, carbonato y fosfatos de calcio, junto con el óxido de hierro generado por la oxidación metálica, se refiere a la formación de una capa endurecida y acumulada en los tubos y placas tubulares. Estos depósitos obstaculizan la transferencia de calor y resultan en un recalentamiento localizado, lo que, a su vez, provoca la fragilidad del acero. Como consecuencia, esto puede llevar a la formación de fisuras debido a la falta de ductilidad en el material.

Corrosión exterior del lado de humos: La corrosión por hollín se refiere al efecto corrosivo que puede causar la acumulación de hollín en los tubos o paredes de una caldera. A ciertas temperaturas y debido a la condensación de humedad, el hollín, que contiene dióxido de azufre (SO₂), puede generar ácido sulfúrico, el cual es el agente corrosivo que afecta a los materiales de la caldera.

Corrosión interna o del lado de agua y/o vapor: se trata de una avería que está vinculada con la formación de incrustaciones aunque no solo se producen como consecuencia de las mismas (Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente – CISTEMA, 15) (Lam Ceballos, 2018, 110)

Nitrógeno (N₂): Es un gas incoloro, sin olor ni sabor. Por lo general, entra en la combustión con el aire y suele ser liberado en los gases de combustión sin participar en la reacción. Sin embargo, en algunas ocasiones, el nitrógeno presente en el aire y el nitrógeno del combustible pueden contribuir a la formación de óxidos de nitrógeno. (Baird, 2004).

Dióxido de carbono (CO₂): El dióxido de carbono es un gas sin color ni sabor, y se produce en todos los procesos de combustión, excepto en la combustión de hidrógeno. Además, es el gas de efecto invernadero más prominente. (Baird, 2004).

Vapor de agua (H₂O): Este gas se genera cuando el combustible contiene hidrógeno. El agua puede presentarse en forma de vapor o condensación, dependiendo de la temperatura de los gases de combustión. Si la temperatura es alta, el agua se encuentra en forma de vapor mezclada con los gases, y si la temperatura es baja, se condensa en forma líquida. (Baird, 2004).

Sustancias sólidas (polvo, hollín): Cuando los gases de combustión muestran un color negro, como en el caso del humo y el smog, es indicativo de que contienen partículas sólidas en suspensión. Estas partículas consisten en material combustible que no se ha quemado completamente, así como óxidos de elementos como calcio, aluminio, silicio, entre otros. La exposición a estas partículas representa un riesgo para la salud respiratoria de las personas. (Baird, 2004).

Oxígeno (O₂): La presencia de oxígeno se observa en los gases de combustión cuando hay un exceso de aire en el proceso. La cantidad de oxígeno presente sirve como un indicador de la eficiencia de la combustión. (Baird, 2004).

Monóxido de carbono (CO): Es un gas que carece de color y olor. Sirve como un indicador de una combustión que no ha sido completa; se encuentra en concentraciones más elevadas cuando la combustión no es eficiente. Este gas es tóxico para la salud. (Baird, 2004).

Óxidos de nitrógeno (NOx): Estos compuestos se forman cuando el nitrógeno presente en el combustible se combina con el oxígeno del aire durante una combustión a altas temperaturas. (Baird, 2004).

Dióxido de azufre (SO₂): El dióxido de azufre es un gas incoloro que, aunque carece de olor, es tóxico. Se genera a través de la oxidación del azufre presente en los combustibles. Cuando se mezcla con agua condensada, se transforma en ácido sulfuroso y sulfúrico, los cuales tienen efectos perjudiciales para el medio ambiente. Estos compuestos son responsables de la lluvia ácida, que causa daños a la vegetación y a las estructuras edificadas. (Baird, 2004).

Sulfuro de hidrógeno (H₂S): El sulfuro de hidrógeno es un gas venenoso que, en concentraciones bajas, tiene un olor similar al de los huevos podridos. Este gas se halla en el gas natural y el petróleo, por lo que suele estar presente en refinerías y plantas procesadoras de gas natural. Además, se encuentra o se genera en actividades relacionadas con la agricultura y la cría de ganado. (Baird, 2004).

Hidrocarburos (HC o C_xH_y): Los hidrocarburos son sustancias compuestas por carbono e hidrógeno, y aquellos con una cantidad reducida de átomos de carbono en su estructura tienden a ser gaseosos. En ocasiones, estos hidrocarburos pueden contener otros elementos como oxígeno (O), nitrógeno (N), cloro (Cl) o flúor (F). Se encuentran comúnmente en los combustibles fósiles. El metano (CH₄), que es el hidrocarburo más simple, es un gas de efecto invernadero y resulta tóxico para los seres humanos. (Baird, 2004).

Cianuro de hidrógeno (HCN): El cianuro es un líquido altamente tóxico que hierve a una temperatura muy baja de 25.6 °C, lo cual es significativamente menor que las temperaturas típicas de las combustiones. Como resultado, se convierte en un gas durante la reacción.

(Baird, 2004).

Amoníaco (NH₃): Este gas es inodoro y no tiene color, pero tiene un olor distintivo. Provoca irritación en los ojos y la nariz, y puede ser perjudicial para la salud. Se produce a partir de la combustión de combustibles que contienen nitrógeno, como los textiles y ciertos polímeros. (Baird, 2004).

Haluros de hidrógeno: Estos compuestos están compuestos por hidrógeno y un halógeno. Durante el proceso de combustión, se generan principalmente cloruro de hidrógeno (HCl) y fluoruro de hidrógeno (HF). Estos compuestos se forman cuando se queman materiales residuales con alto contenido de humedad o carbón húmedo. (Baird, 2004).

Los gases de efecto invernadero (GEI) son vapores de agua que se originan a partir de la evaporación de masas de agua. El dióxido de carbono, que constituye aproximadamente el 70 % de los gases de efecto invernadero (GEI), se produce a través de la quema de combustibles fósiles. El metano, que representa el 24 %, se genera principalmente debido al tratamiento de aguas residuales, las emisiones del ganado, las liberaciones de gases de humedales y la incineración de desechos. El óxido nitroso, que comprende el 6 % del total, se origina principalmente a partir de aerosoles. Los hidrocarburos se producen a raíz del uso de polifluorocarbonos en sistemas de refrigeración y aires acondicionados. (Inspiration, 2016).

3. CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo hemos adoptado un enfoque Cualitativo, cuantitativo y experimental. La perspectiva cualitativa se emplea para una comprensión más profunda del problema, incluyendo entrevistas con expertos en la quema de biomasa en Milagro, con el objetivo de detallar los procesos de mejora en la producción, lo cual proporcionará resultados confiables y eficaces. Mediante una observación minuciosa, se busca analizar los fenómenos relacionados con la quema de biomasa en calderas, identificando posibles efectos adversos que puedan afectar la eficiencia. Posteriormente, se realizará un análisis, verificación y justificación de las causas y consecuencias involucradas. que generan.

Cuantitativo, porque los resultados se pueden visualizar de acuerdo a los índices obtenidos luego de aplicar los valores físico químicos de la biomasa en la fórmula de la DOE -U.S. Department Of Energy- que nos determinarán si la biomasa a usar causa o no incrustaciones y ensuciamiento en una caldera.

Para realizar este trabajo es importante conocer la composición físico química de las biomásas.

3.1. Existen varias investigaciones tales como:

Investigación Aplicativa Experimental: Es el punto de partida fundamental para determinar la dirección a seguir en una serie de investigaciones científicas. Esto implica llevar a cabo una lectura exhaustiva de toda la información disponible que sea relevante y accesible, incluyendo la revisión de documentos como libros, revistas científicas y recursos en línea. A través de este proceso, se busca establecer vínculos entre los antecedentes históricos y la situación presente, permitiendo un análisis integral de la materia. de la quema de biomásas y sus consecuencias en las Calderas.

Investigación de campo: La información que presenta en esta investigación de campo es primaria, dando como resultado un conocimiento más real del tema, ya que se estará en contacto directo con el problema, que en este caso sería el técnico de laboratorio

que realiza el análisis físico químico de la biomasa, de esta manera conocer más a fondo sobre el tema planteado y tener claro en qué consiste cada uno de sus variables como GCV: Gros Calorific Value, Na₂O: Oxido de Sodio, K₂O: Óxido de Potasio, Ash: Humedad que tendrán relación con los indicadores de análisis, para establecer mejoras o estrategias que beneficien al uso adecuado de la biomasa ambientalmente amigable en el País.

3.2. Población y muestra

3.2.1 Población

En este tipo de trabajo la población son las muestras analizadas como: Bagazo, Tamos de Arroz, Cáscara de Palma Africana, Chip de Madera, Chip de Balsa, Café., que nos servirán de análisis del tema a desarrollar.

3.2.2 Muestra

La muestra corresponde a las Biomosas identificadas en Ecuador que forma parte de la lista de Biomosas Existentes, por el número extenso de biomosas en el país se está involucrando algunas, no se requiere efectuar un análisis físico químico en especial para este proyecto por lo que se trabajará con unos análisis realizados y con todo el universo existente disponible en Trabajos de Investigación realizados.

Se tomará de forma aleatoria simple tomando el Poder Calorífico de la biomasa y sus componentes K₂O, Na₂O, Ash para determinar su uso o no en calderas con posibilidad de oxidación y ensuciamiento interno que afectan a su eficiencia.

3.3. Método y técnicas

3.3.1 Métodos

Esta investigación se desarrolla con un método científico cuantitativo con diseño experimental, se obtendrá información fisicoquímica de las biomosas para su análisis según la DOE.

Se basa en la referencia con patrones acorde a normas de estándar internacional AOAC 925.10 para análisis de humedad, AOAC 923.03 para determinación de cenizas de material orgánico, técnica AOAC 994-12 (2005) para poder calorífico de residuos vegetales, AOAC 934.01, AOAC 942.05. (*Determinación De Humedad Método De La Aoac 92510*, 2018)

Método de análisis de datos. Para el análisis de datos, se procesa la información recopilada en tablas. Los resultados del proyecto de investigación se presentarán y desarrollarán de acuerdo al orden de los objetivos específicos, con la finalidad de llegar a concretar el objetivo general de la investigación. Los cálculos necesarios, se realizan con la ayuda del software Microsoft excel.

3.3.2 Técnicas

Técnica: Los análisis y pruebas se realizan a temperatura ambiente promedio de 17 grados centígrados, con humedad relativa de 74%, con un nivel de confianza de 95% con valores medidos durante las pruebas.

Para obtener los datos de la composición química elemental se ha partido de los datos de humedad, ceniza y volátiles “as receiver ar”, así como del poder calorífico db y azufres reportados

Instrumento: Documento Informe de Análisis de los datos de pruebas de biomásas, Poder calorífico superior, Composición química elemental, Análisis de la composición de las cenizas.

Uno de los principales cálculos que debemos de realizar es la determinación de suciedad-incrustaciones y oxidación que pueda causar en el interior de la caldera y sus componentes internos al quemar una biomasa mediante un análisis documentario.

Para esto hemos tomado la fórmula de DOE -U.S. Department Of Energy- que determinan (Ensuciamiento) y TES (Oxidación) en una caldera.

ÍNDICES DE INCRUSTACIONES Y ENSUCIAMIENTO (ESCORIAS)

Tabla 3:

ÍNDICES DE INCRUSTACIONES Y ENSUCIAMIENTO (ESCORIAS)

ÍNDICES ENSUCIAMIENTO	Unlikely(improbable)	Posible (posible)	Likely(probable)
DOE Index	<0.17	0.17 to 0.34	>0.34
TES Index	<0.10	0.10 to 1.00	>1.00

NOTA: Department Of Energy

$$\bullet \text{ DOE} = \frac{(\%Na_2O + \%K_2O) * \%Ash * 100}{GCV}$$

$$\bullet \text{ TES} = \frac{(\%Na_2O + \%K_2O)}{\%SiO_2}$$

GCV: Gross Calorific Value

Na₂O: Óxido de Sodio

K₂O: Óxido de potasio

Observación: Se efectuará directamente la aplicación de los resultados del análisis físico químico de una biomasa en la fórmula indicada como GCV: Gros Calorific Value, Na₂O: Óxido de Sodio, K₂O: Óxido de Potasio, Ash: Humedad.

Entrevistas: Para el desarrollo de esta investigación, se consultará con especialistas en temas de calderas acetabulares bagaceras, y personal técnico que labora en ingenios azucareros, en el área de generación de vapor. Se requiere información a las principales fuentes de comunicación es decir al jefe de producción del área pertinente, sobre los estados

generales y las especificaciones de manera verbal con el fin de que el dialogo sea escrita o grabada. Se podrán realizar entrevistas tanto no estructuradas como estructuradas de experiencias en quema de biomasa en calderas.

Solicitud de documentación existente: Se utilizarán documentos tales como: análisis físico químicos de biomasas en el Ecuador y el Mundo realizados por investigadores, tanto en formato digital como físico. Para analizar los resultados y sus semejanzas en las variables principales.

3.4. Propuesta de procesamiento estadístico de la información.

Los datos obtenidos en los instrumentos aplicados serán descritos en una hoja electrónica. La información será redactada de acuerdo con los resultados obtenidos en la fórmula a aplicar; posteriormente se presentarán los resultados obtenidos.

4. CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1 Modelo de entrevista-Aplicado a Jefe de Producción e Ingeniero de Turno

1. ¿Cómo se planifica la producción de Energía y Vapor de su Empresa?

La producción es planificada por el gerente de operaciones, se basa tomando en cuenta en la cantidad de caña a moler en el año, esta caña con un indicador es llevada a Bagazo. Una vez que se tiene la cantidad de bagazo estimada a recibir se genera la cantidad de Ton de Vapor y MWH de Energía que se producirán la llamada zafra. Esta generación tiene un costo por Klb y por Kwh. Se debe tomar en cuenta que las Ton de Vapor y las Klb no sobrepasen al rendimiento del bagazo obtenido, ya que eso implica la compra de otras biomazas para poder satisfacer y cubrir las demandas de los clientes internos y externos.

2.- ¿Se contrata personal extra en algún periodo del año?

Normalmente en esta área no, el personal que realiza la operación en zafra es el mismo que realiza las actividades de mantenimiento mayor de la planta una vez finalizada la zafra.

3. ¿Quién es el ente regulador y el ente administrador de la energía en el país?

Actualmente el ente regulador de la Energía en el País se llama el ARCERNNR - Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables-.

Y el Ente administrador de la Energía en el País es el CENACE -Operador Nacional de Electricidad-.

4. ¿Qué grado de importancia se le atribuye a la calidad de la biomasa en su proceso productivo y por qué?

Es el primer factor de importancia en la generación de vapor y energía en nuestro proceso productivo. Si la biomasa está con mucha humedad, con mucha tierra; la eficiencia de la caldera cae notablemente y su producción disminuye.

5. ¿Su sistema actual -Calderas- solo queman Bagazo o realizan pruebas o quema de otras biomosas?

La planta actualmente quema alrededor de 500.000 Ton de bagazo en cada zafra, lo que sirve para la generación de vapor y energía que los procesos internos así lo requieren. Desde hace varios años se lleva a cabo un proceso investigativo de quema de otras biomosas para complementar suplir la falta de bagazo para la generación de vapor y energía.

4.1.2 Modelo de entrevista-Aplicado al Líder de Mantenimiento de una Generador de Vapor y Energía.

1.- ¿Según su criterio con respecto al uso de energía eléctrica renovable en la proyección de nuestro País dentro de los procesos productivos como cree que se ha regulado?

En los últimos años, el marco regulatorio del sector eléctrico ha evolucionado en distintos aspectos, siendo el cambio principal, la matriz energética actual que incentiva la generación de energías renovables, con una visión al suministro de energía eléctrica como un servicio hacia la comunidad. y manteniendo prestaciones de servicios de distribución y distribución de energía eléctrica bajo responsabilidad estatal a través de personas jurídicas debidamente autorizadas tales como las empresas y comercializadoras), como se definen en la Ley Orgánica del servicio Público de Energía Eléctrica –LOSPEE-.

2.- ¿Considera Ud. ¿En el sector energético en el Ecuador, en la actualidad como se desarrolla la capacidad suficiente para cumplir con la demanda de las industrias de energía?

En el marco legal actual el Gobierno Ecuatoriano cuenta con la suficiente capacidad instalada de generación en el País para poder abastecer la demanda nacional.

3.- ¿Considera usted que las calderas sufren algún daño o problema por la quema de biomasa?

Hace falta mucho para la promoción de quema de biomasa para producción de vapor y energía actualmente existen pocas industrias que lo hacen; normalmente los ingenios azucareros por tradición y durante toda su vida han quemado y queman grandes cantidades de toneladas de bagazo que es el residuo de la molienda de la caña de azúcar, usando para sus procesos de producción de azúcar y alcohol.

Según la experiencia obtenida, la quema adecuada, racional y controlada durante la quema de biomasa no produce ningún tipo de daño a las calderas.

4.- ¿Según su experiencia qué aspectos cree necesita mejorar o proyectar en los nuevos proyectos para mantener la matriz energética del país?

Analizar y reconsiderar la creación de centrales hidroeléctricas en el lado Oriental del País, actualmente las hidroeléctricas están centradas en la zona occidental del país y esto hace que ante la ausencia de lluvias en la zona occidental se comienzan a tener problemas de abastecimiento de la demanda por falta de agua.

- Promover programas que incentiven a los usuarios a la utilización de sistemas energéticamente más eficientes como el establecido en la tarifa nocturna actualmente.
- Desarrollar políticas que obliguen a reducir consumos energéticos en las industrias
- Promover el uso de fuentes de energías alternativas en las zonas marginales que alivien la producción total de generación del país.

4.2. Propuesta

4.2.1 Tema

Análisis Comparativo de la Eficiencia en la quema de diferentes biomásas para mejorar el funcionamiento de una caldera en el Ecuador.

4.2.2 Justificación

La propuesta de analizar el efecto que puede producir la quema de una biomasa en una caldera puede ser un factor muy importante para determinar su uso continuo que contribuya al desplazamiento de generación térmica producida por muchas generadoras con combustibles fósiles, puesto que algunas normativas eléctricas le otorgan condiciones especiales en cuanto a despacho de generación y precio de venta de su energía producida.

Con el desarrollo y utilización de biomásas que actualmente son quemadas a cielo abierto produciendo gases de efecto invernadero, ayudamos a la mitigación quemándolas en calderos de alta eficiencia y que cuenten con un moderno sistema de lavador de gases lo que hace que la ppm de material particulado se mantengan siempre por debajo de las normas internacionales.

Al realizar estas pruebas aplicadas en la fórmula dada por la DOE estaríamos determinando si una determinada biomasa produce algún efecto como incrustación, ensuciamiento u oxidación que pueda ser perjudicial o reduzca considerablemente la eficiencia del caldero.

Esta quema de biomasa en un caldero siempre va a estar cumpliendo con los procedimientos de licenciamiento ambiental para su uso, de acuerdo a la ley Sustitutiva del Reglamento General a la Ley del Sector Eléctrico, Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias. Identificando impactos ambientales significativos, directos e indirectos acumulativos y no acumulativos durante su operación.

El aprovechamiento de este trabajo de titulación se enfoca en la garantía del medio ambiente, el uso eficiente de la energía eléctrica, el aumento y mejora de la producción de un caldero. La información de la propuesta está desarrollada de acuerdo con los factores y variables que se presentaron a medida que se van aplicando en la fórmula de la DOE y cuyos resultados son expuestos y analizados en las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

4.3. Objetivos

4.3.1 Objetivo general

Caracterizar fisicoquímicamente diferentes biomásas identificadas existentes en el país, evaluando índices de oxidación e incrustaciones por su uso, que sirva para la promoción de proyectos de generación de energía eléctrica renovable en el país.

4.3.2 Objetivos específicos

- Relacionar e Identificar las diferentes biomásas que pueden ser usadas en Calderas como combustible solas o en mezclas conociendo su poder calórico y propiedades fisicoquímicas.
- Conocer la influencia de las biomásas en el proceso de combustión observando los índices de incrustación y oxidación que puede provocar la variación en el coeficiente global de transferencia de calor y su eficiencia en Calderas.
- Evidenciar pruebas de Material Particulado y Fuentes fijas para cumpliendo con los procedimientos de licenciamiento ambiental por el uso de nuevas biomásas, de acuerdo con la ley Sustitutiva del Reglamento General a la Ley del Sector Eléctrico, Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias. Identificando impactos ambientales significativos, directos e indirectos

acumulativos y no acumulativos durante su operación.

4.4. Ubicación

La propuesta se desarrollará en la zona de Milagro Provincia del Guayas donde se encuentran uno de los Ingenios Azucareros que hace uso y promueve la quema de Biomásas en el País, donde se analizará parte de la propuesta.

Ilustración 4: Ubicación Milagro Ingenio Valdez



Fuente: Google Maps

4.5. Factibilidad

4.5.1 Factibilidad administrativa

La información obtenida se obtuvo en base al levantamiento de información realizada sobre la formulación de la DOE, del análisis físico químicos realizados a distintas biomásas, así como los datos proporcionados por especialistas en el área.

4.5.2 Factibilidad Legal

La realización de este trabajo de investigación experimental no tiene ningún inconveniente legal, por lo tanto, la propuesta puede ser aplicada de acuerdo con la toma de decisiones de la dirección operacional, siguiendo las políticas internas de las plantas de generación que desean usar biomasa como combustible alternativo.

4.5.3 Factibilidad presupuestaria

Como toda propuesta requiere de un análisis de costo para la determinación de uso de diferentes biomásas, el mismo que será indicado en lo posterior, de esta manera se podrá obtener valores aproximados de mercado que dependen de su ubicación, cantidad, poder calorífico, índice de incrustación y oxidación que determinarán su uso o no en la generación de energía alternativa en el país.

4.5.4 Factibilidad técnica

La incorporación de otras biomásas como combustible alternativo a la generación de energía eléctrica - vapor, serán siempre una alternativa por la diversidad agrícola que tiene el país. Donde se podrá contribuir al desplazamiento de combustibles fósiles y a la eliminación de GEI por la quema a cielo abierto de estos residuos.

4.6. Descripción de la propuesta

Lugar: Milagro/Ecuador

Presentado por Maestros: SARAGOCIN TORRES CINTHIA MICHEL;

ARCE YEPEZ LUIS ALFREDO

Nombre del proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA EN LA QUEMA DE DIFERENTES BIOMASAS PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA EN EL ECUADOR.

Materiales que intervienen:

1.- Horno de Secado

Se utilizan para extraer el contenido de humedad de un sustrato en un producto. Estos hornos son muy populares para realizar varios experimentos de secado y curado industriales o de laboratorio. Se pueden construir para adaptarse a prácticamente cualquier diseño de fábrica, siempre que la instalación cumpla con algunos requisitos básicos, en el sector de investigación científica, ayuda a acondicionar las muestras a clasificar las temperaturas. (CONTROLTECNICA Equipos y Proyectos, n.d.)

Ilustración 5: Controltecnica



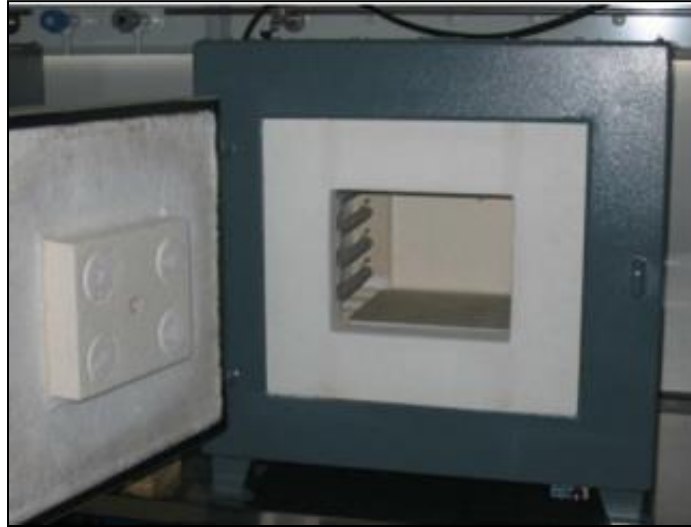
(CONTROLTECNICA Equipos y Proyectos, n.d.)

2. Mufla

Estos dispositivos operan utilizando energía térmica que se suministra a través de resistencias eléctricas ubicadas en los costados y la parte posterior del horno. Estas resistencias están fabricadas con alambre resistente de una aleación de cromo, aluminio y hierro, diseñadas para una larga vida útil. Las resistencias transfieren eficazmente el calor de

un cuerpo con mayor temperatura a uno con menor temperatura. (MONTEROS VIZCAINO, 2015, 146)

Ilustración 6: mufla



(MONTEROS VIZCAINO, 2015, 146)

3. Calorímetro adiabático

Es un instrumento usado para medir la cantidad de calor de la combustión de una sustancia líquida o sólida, cuando se quema a volumen constante. El principio de funcionamiento se basa en la transferencia de calor que se desarrolla entre la bomba de oxígeno y el agua del recipiente metálico que lo contiene. (Arroyo-Vinueza & Reina-Guzmán, 206)

4. Biomosas a Analizar

Hemos visto necesario realizar un análisis físico químico de poder calorífico y componentes de las cenizas de algunas biomosas como: Bagazo, Tamo de arroz, cascarilla de palma africana, Chip de madera, Chip de Balsa. (Arroyo-Vinueza & Reina-Guzmán, 206)

Los resultados obtenidos a través de los informes emitidos por AUDITORÍAS ENERGÉTICAS – BALANCES DE ENERGÍA – COGENERACIÓN INDUSTRIAL, Ing. Rodrigo F. Díaz Bonifáz RUC: 0600882534001, Cdl. La Paz Mza. 29 casa 5 - Riobamba Ecuador; Telefax 032964729 Celular: 0998584876

Email: rofdiaz@gmail.com Cámara de la Construcción Riobamba No. 236 – CH

Colegio Ing. Mecánicos No. 04 – RC – 006 Consultor Individual Reg: 1-07852-CIN.

Han sido tabulados en una hoja de Excel para poder aplicar la fórmula de la DOE para la determinación de la DOE -ENSUCIAMIENTO-, y el TEST -OXIDACIÓN- que se pueda producir en una caldera por la quema de una determinada biomasa.

Es necesario identificar las variables principales de los análisis obtenidos como: GCV: Gross Calorific Value, SiO₂: Óxido de Silicio, Na₂O : Óxido Sodio, K₂O : Óxido Potasio, Ash: Cenizas, para su determinación y aplicación en la fórmula a utilizar de la DOE.

Para determinar la correcta aplicación debemos considerar la formulación respectiva con los valores de los análisis físicos químicos obtenidos.

- $DOE = \frac{(\%Na_2O + \%K_2O) * \%Ash * 100}{GCV}$ (ÍNDICES ENSUCIAMIENTO, n.d.)
- $TES = \frac{(\%Na_2O + \%K_2O)}{\%SiO_2}$ (ÍNDICES OXIDACION, n.d.)

Para calcular el ensuciamiento DOE, debemos de efectuar una suma del Na₂O : Óxido Sodio más el K₂O : Óxido Potasio, multiplicado por Ash: Cenizas y x 100; este resultado dividido para el GCV: Gross Calorific Value de la biomasa a analizar.

Si el resultado que se obtenga este ejercicio, debe ser analizado bajo estos parámetros de <0.17 es IMPROBABLE; 0.17 to 0.34 POSIBLE; >0.34 PROBABLE, como lo podemos analizar este resultado en la **tabla 3**.

Para calcular la oxidación TES, debemos de efectuar una suma del Na₂O : Óxido Sodio más el K₂O : Óxido Potasio, este resultado está dividido para el SiO₂: Óxido de Silicio de la biomasa a analizar.

Si el resultado que se obtenga este ejercicio, debe ser analizado bajo estos parámetros de <0.10 es IMPROBABLE; 0.10 to 1.0 POSIBLE; >0.10 PROBABLE.

4.7. Análisis de Biomosas realizados por investigadores

4.7.1 Análisis físico químicos de algunas biomosas realizadas

Ilustración 7: Análisis físico químico de algunas biomosas realizadas

ANALISIS FISICO QUIMICO DE BIOMASAS

ANALISIS REALIZADOS POR ING. RODRIGO DIAZ-

Poder calorífico	Bagazo	Rastrojo de Caña	Residuos de Balsa	Tamo de Arroz	Aserrín de Pino	Cascara Palma	Jacinto Agua	Sorgo
Hogher heating Value (kj/Kg)	9,552	14,870	9,277	18,695	12,905	14,066	7,011	12,856
Lower Heating Value (kj/kg)	7,788	13,861	7,612	17,448	11,544	12,389	4,967	11,505

Thermal Energy Sístems

Cascarilla	Bagazo	Bambu - Caña Gadua
19,095	8,131	18,201
18,225	6,369	17,175

Composición general

Carbon	25.55	42.34	25.84	41.86	36.98	43.81	16.24	36.57
Hydrogen	2.69	2.63	2.68	4.91	2.65	2.60	3.49	2.63
Nitrogen	0.19	1.44	1.49	1.48	0.86	0.02	0.72	1.43
Oxygen	22.73	25.39	25.64	13.47	27.26	45.23	25.45	26.05
Sulphur	0.27	0.7	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.14
Ash	2.15	10.8	1.83	32.58	1.53	1.69	3.66	2.78
Moisture	46.42	16.7	42.5	5.68	30.69	6.63	50.41	30.41
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

53.77	20.7	45.92
4.29	2.58	5.05
1.27	0.44	0.95
33.9	18.21	31.48
0.15	0.02	0.01
2.03	3.73	4.17
4.59	54.32	12.42
100	100	100

Composición de la ceniza

P2O5	1.64	5.26	14.21	2.2	9.37	20.36	14.89	
CaO	14.87	9.68	13.86	0.25	9.68	6.39	10.54	17.22
Fe2O3	7.45	8.21	7.36	0.36	3.67	5.95	4.98	8.5
K2O - Corrosión en supe ank	4.11	10.56	27.24	1.1	18.3	12.46	16.36	14.85
Na2O	1.65	11.36	8.54	0.78	11.36	6.35	2.72	6.34
SiO2 - Corrosión en las diferen	61.35	47.5	8.36	92.42	35.26	38.42	42.35	14.82

7.81	1.83	4.6
7.57	2.87	0.97
1.42	18.1	0.19
20.62	3.26	28.23
0	0.1	0.13
43.67	54.8	52.82

4.7.2 Cuadro comparativo de Biomasa

Ilustración 8: cuadro comparativo de Biomosas

	Bagazo (6)	Rastrojo de caña (1)	Cascañilla sin fibra (6)	Cascañilla sin fibra(2)	Cascañilla con fibra (6)	Cascañilla con fibra (2)	Empty fruit bunch (6)	Empty fruit bunch (2)	Bambú (6)	Caña Gudua Molida (5)	Pachaco (6)	Ecucalipso (4)	Eucalipto (2)	Chips del tronco de la palma africana (6)	Chips del tronco de palma africana (2)	Bagazo de café "as received" (2)	Bagazo de café "dry base" (2)	Paja de arroz (1)	Paja de arroz (2)	Paja de arroz (3)	Paja de arroz (4)	Jacinto de agua (7)	Jacinto de agua (2)	Aserin de pino (1)	Astillas de pino (1)	
Poder calorífico																										
Gross calorific value	8,131	18,000	19,095	17,844	17,655	17,844	17,425	18,284	18,201			19,451	9,787	12,412	11,601	4,303	18,309	15,090	13,090				12,500	10,677	19,520	20,550
Net calorific value (kJ/kg)	6,369		18,225	13,582	16,804	13,582	16,395	13,917	17,175		18,561	18,925	14,380	11,601	2,771	3,976	17,035						10,730	8,127		
Composición general																										
Carbon	21	43 a 51	54	49	47	49	47	52	46	24	49	49	44	29	30	11	48	38	32	41	39	30	31	49	49	
Hydrogen	3	6.1 a 6.3	4	5	4	5	5	6	5		5	6	21	4	3	1	6	5	4	5	5	7	4	6	6	
Nitrogen	0	0.45 a 1.15	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	13	1	1	2	8	1	1	1	1	1	1	0	0	
Oxygen	18	39 a 45	34	34	29	34	38	35	31		25	45		22	21	9	38	36	31	38	35		27	44	44	
Sulphur	0	0.1 a 0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ash	4	4 a 20	2	1	3	1	5	2	4	13	2	1	5	1	1	0	1	19	10		19		18	1	1	
Moisture	54	10 a 60	5	10	16	10	3	5	12		18	0	50	44	44	77	0	nd	21	20			23	nd	41	
Total	100		100	100	100	100	100	100	100		100	100		100	100	100	100	99	100							
Composición de la ceniza																										
SO3	< 0.01	1 a 4	8	3	3	3	0	4	10		1		0	0	0	0	0	1	0		1	4	1	na	na	
P2O5	2	1.3 a 1	8	1	1	1	3	1	5	0	1			1	1	3	3	1	2		1	3		2	0	
CaO	3	2.5 a 9	8	1	0	0	5	1	1	0	0			1	1	36	36	3	10		2	23	1	18	53	
Fe2O3	18	0.8 a 4	1	1	2	2	1	2	0	0	1			1	1	4	4	1	2		1	3	0	7	6	
K2O	3	7 a 18	21	0	1	1	11	1	28	0	15			12	12	18	18	12	7	1	14	18	0	14	8	
Na2O	0	0.1 a 0.7	0	?	?	?	0	?	0	0	?			1	?	2	2	1	11		0	3	0	1	1	
SiO2	55	55 a 73	44	?	?	?	75	?	53	0	?			?	?	35	35	75	49	25	73	16		39	17	
Cl	0	na	6	?	?	?	< 0.01	?	0	0	?			?	?	1	1	1		0		14		na	0	

En la gráfica podemos visualizar los valores de GCV: Gross Calorific Value, SiO₂: Óxido de Silicio, Na₂O : Óxido Sodio, K₂O : Óxido Potasio, Ash: Cenizas, para su determinación y aplicación en la fórmula a utilizar de la DOE.

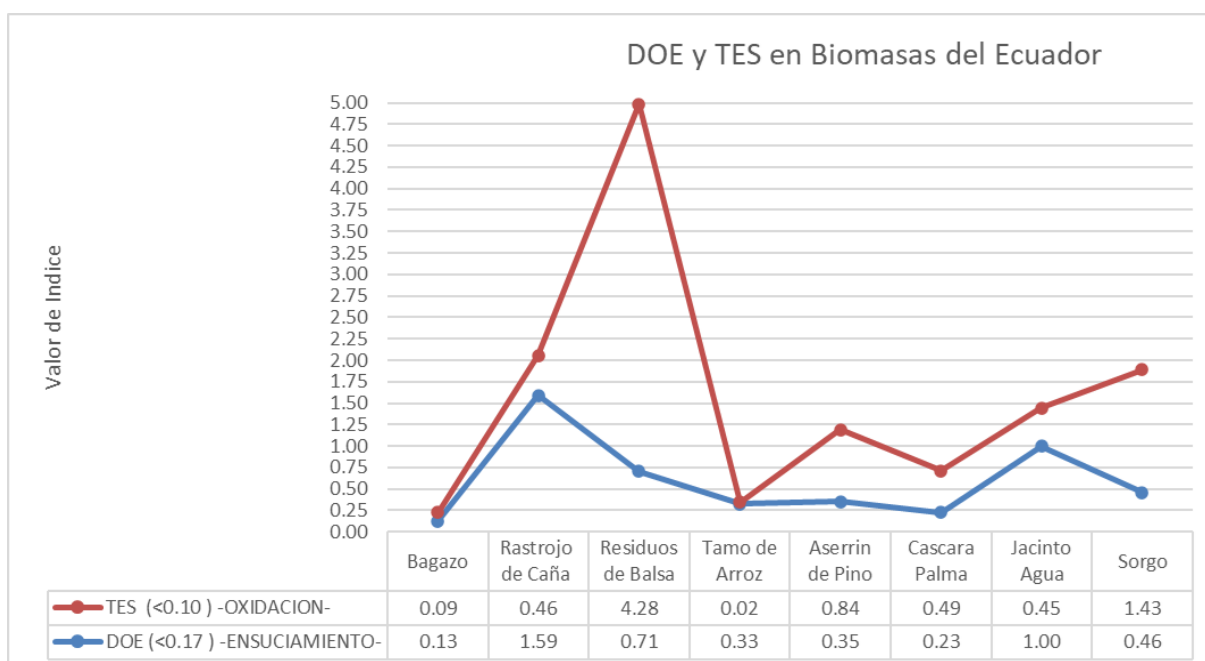
4.7.3 Resultados Operativos

Al final de la aplicación de la formulación de la DOE, se obtienen los siguientes resultados de acuerdo con los valores de análisis fisicoquímicos obtenidos en el País.

Ilustración 9: resultados operativos

	Bagazo	Rastrojo de Caña	Residuos de Balsa	Tamo de Arroz	Aserrin de Pino	Cascara Palma	Jacinto Agua	Sorgo
DOE (0.17 - 0.34) -ENSUCIAMIENTO-	0.13	1.59	0.71	0.33	0.35	0.23	1.00	0.46
TES (0.10 - 1.00) -OXIDACION-	0.09	0.46	4.28	0.02	0.84	0.49	0.45	1.43

Ilustración 10: grafico de los resultados operativos

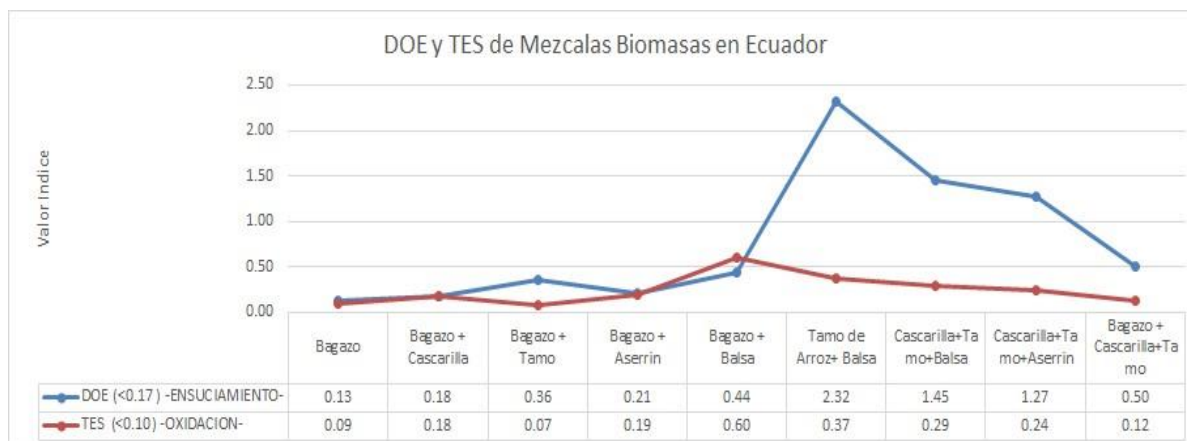


Aplicando una Media Ponderada dando peso a cas biomasa para su análisis hemos realizado varias combinaciones posibles para determinar su posibilidad de Ensuciamiento y Oxidación por la quema combinada de estas biomosas, de los cuales se muestran los resultados.

Ilustración 11: resultados aplicando la media pondera

	Bagazo	Bagazo + Cascarilla	Bagazo + Tamo	Bagazo + Aserrin	Bagazo + Balsa	Tamo de Arroz+ Balsa	Cascarilla+Tamo+Balsa	Cascarilla+Tamo+Aserrin	Bagazo + Cascarilla+ Tamo
DOE (<0.17) -ENSUCIAMIENTO-	0.13	0.18	0.36	0.21	0.44	2.32	1.45	1.27	0.50
TES (<0.10) -OXIDACION-	0.09	0.18	0.07	0.19	0.60	0.37	0.29	0.24	0.12

Ilustración 12: grafico de los resultados aplicados de la media pondera



4.7.4 Beneficios operativos esperados

Tomamos como referencia los datos de eficiencia y consumo de una caldera que quema bagazo de procedencia brasileña de la compañía CALDEMA.

Tabla 4:

Beneficios operativos esperados

PERFORMANCE PREVISTA	DESCRIPTIVO RESUMIDO / UNIDADES MÉTRICAS	APU 62 6 GR PSE	APU 626 GR PSE
TIPO DE COMBUSTIBLE	-	BAG.CAÑA	BAG. CAÑA
HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE	%	52.5	52.5
PODER CALORÍFICO INFERIOR	Kj/kg	7,096	7,096
PODER CALORÍFICO SUPERIOR	Kj/kg	8,980	8,980
CAUDAL DE VAPOR	Kg/h	185,00	138,750
CAUDAL DE COMBUSTIBLE	Kg/h	89,646	66,408

RATIO VAPOR/ COMBUSTIBLE	Kg/kg	2.06	2.09
EFICIENCIA –P.C.I.	%	86.3	87.4
EFICIENCIA P.C.S	%	68.3	69.1

Nota: Fuente (CALDEMA, n.d.)

Se dice que se obtiene 2.06 Ton de Vapor por Ton de Bagazo con un poder calorífico superior de 8980 Kj/Kg

Este vapor transformado a Energía podríamos decir que se necesita de 9.33 Ton de Vapor para producir un MWH, o lo que equivaldría a 4.53 Ton de Bagazo para producir un MWH.

En el análisis de Poder Calorífico Superior de las mezclas aplicando la media ponderada, obtenemos valores para mejorar la eficiencia de la caldera y obtener un mejor rendimiento de menor cantidad de biomasa para generar la misma cantidad de vapor o de MWH.

Ilustración 13: mezcla de biomosas se mejora el poder calórico superior

Con la mezcla de Bioomasas se mejora el Poder Calorífico Superior

	Bagazo + Balsa	Bagazo + Aserrín	Bagazo + Cascarilla	Bagazo + Tamo	Bagazo + Cascarilla+Tamo	Tamo de Arroz+ Balsa	Cascarilla+Tamo+ Balsa	Cascarilla+Tamo+Aserrín
Para Generar Una Ton de Vapor se necesita -Ton Biomasa	0.98	0.92	0.85	0.82	0.73	0.64	0.60	0.57
Para Generar Un MWH se necesita - Ton Biomasa-	4.43	4.14	3.85	3.70	3.29	2.89	2.70	2.58
Si se otorga una valor a la Biomasa de USD \$	10.00	44.27	41.38	38.46	37.00	32.90	28.89	27.01
Venta de MWH con Biomasa	60.00							
Beneficio por Mejora de Poder Calorifico x MWH	15.73	18.62	21.54	23.00	27.10	31.11	32.99	34.24
Si se otorga una valor a la Biomasa de USD \$	15.00	66.40	62.07	57.70	55.49	49.35	43.34	40.52
Venta de MWH con Biomasa	60.00							
Beneficio por Mejora de Poder Calorifico x MWH	-6.40	-2.07	2.30	4.51	10.65	16.66	19.48	21.36
Considerando Un generador de20 MWH - Beneficio Diario	-3,073.19	-995.29	1,105.55	2,163.38	5,113.09	7,996.83	9,351.04	10,250.81

Ilustración 14: mejora de la eficiencia por mezcla de biomosas obtenidos mayor del poder calorífico

Mejora de Eficiencia por Mezcla de Biomasa obtenidneo mayor Poder Calorifico

	Bagazo	Bagazo + Balsa	Bagazo + Aserrín	Bagazo + Cascarilla	Bagazo + Tamo	Bagazo + Cascarilla+ Tamo	Tamo de Arroz+ Balsa	Cascarilla+Tamo +Balsa	Cascarilla+Tamo+Aserrín
Hogher heating Value (kj/Kg)	8,980	9,129	9,765	10,506	10,923	12,283	13,986	14,960	15,686
Lower Heating Value (kj/kg)	7,096	7,354	7,986	8,684	9,167	10,640	12,530	13,457	14,244
Incremento Hogher heating Value (kj/kg)		1.017	1.087	1.170	1.216	1.368	1.557	1.666	1.747

Para Generar Una Ton de Vapor se necesita 1 Ton Biomasa 1
 Para Generar Un MWH se necesita - Ton Biomasa- 4.5
 Para Generar Un MWH se necesita -Ton Vapor- 9.27

4.7.5 Beneficios Ambientales

Se adjunta evidencia pruebas de Material Particulado y Fuentes fijas para cumplimiento con los procedimientos de licenciamiento ambiental por el uso de nuevas biomosas, de acuerdo con la ley Sustitutiva del Reglamento General a la Ley del Sector Eléctrico, Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias. Identificando impactos ambientales significativos, directos e indirectos acumulativos y no acumulativos durante su operación.

Se ha tomado como referencia análisis efectuados en la Central de Cogeneración Ecoelectric S. A. de la ciudad de Milagro, como fuente de análisis.

Ilustración 15: resultados analíticos

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE mg/Nm ³	INCERTIDUMBRE (k=2)
MP	PEE/LAB-CESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A. MÉTODO 5	mg/m ³	104,78	150	± 5%
SO ₂	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	0,17	-	-
*NO _x	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	96,78	-	-
NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	60,08	-	-
*NO ₂	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	36,70	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	368,33	-	-

OBSERVACIONES:

- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

RESPONSABLES DEL INFORME:



Dr. Kléber Isa F.
RESPONSABLE TÉCNICO



Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

Ilustración 16: resultados analíticos según los parámetros

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE mg/Nm ³	INCERTIDUMBRE (k=2)
MP	PEE/LAB-CESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A. MÉTODO 5	mg/m ³	132,511	300	± 5%
SO ₂	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	27,33	-	-
*NO _x	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	56,25	-	-
NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	56,25	-	-
*NO ₂	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	0,00	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	655,67	-	-

OBSERVACIONES:

- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

RESPONSABLES DEL INFORME:



Dr. Kléber Isa F.
RESPONSABLE TÉCNICO



Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

La quema de biomásas en Calderas con Sistema de Lavador de Gases cumple con los parámetros ambientales de PM10 permitido según la legislación adjunta.

Tabla 5:

4.3.5 Elaboración de azúcar: equipos de combustión que utilizan bagazo como combustible. Límites máximos permisibles de emisiones al aire desde combustión de bagazo en equipos de instalaciones de elaboración de azúcar.

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	FUENTES EXISTENTES	FUENTES NUEVAS	UNIDADES
Partículas Totales	--	300	150	mg/m ³

Nota: mg/m³ miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de 1013 milibares de presión y temperatura de 0°C, con regidos a 12% de O₂, en base seca. Fuente: (Anexo 3.- Libro 6 De Tulas, 2019).

4.8. Discusión

El análisis de datos obtenidos de biomosas existentes en el País se obtuvo como resultado de un estudio realizado por el Ing. Rodrigo Díaz especialista en AUDITORÍAS ENERGÉTICAS – BALANCES DE ENERGÍA – COGENERACIÓN INDUSTRIAL.

Las pruebas realizadas se efectuaron en base a patrones de referencia con normas estándares internacionales, los procedimientos aplicados para la determinación de los resultados de los análisis fisicoquímicos de las biomosas son de acuerdo a las normas AOAC 925.10 para análisis de humedad, AOAC 923.03 para determinación de material orgánico, técnica AOAC 994.12(2005) para el poder calórico de residuos vegetales. (ÍNDICES ENSUCIAMIENTO, n.d.)

Esta información fue llevada y aplicada en la fórmula para la determinación de la DOE -Oxidación- y TES -Ensuciamiento- del Departamento de Energía de EEUU. (ÍNDICES ENSUCIAMIENTO, n.d.)

En la actualidad en el país existen sólo en los Ingenios azucareros el mayor uso y quema de biomasa como combustible para la generación de vapor y energía. Se estima que el 27% de la caña que muelen anualmente es BAGAZO -biomasa-. Si se lograra incorporar una parte de la Biomasa que actualmente es quemada a cielo abierto en los distintos campos del país sería un aporte considerable al desplazamiento de la generación de energía con combustibles fósiles dando energía renovable y contribuyendo a la disminución de los GEI que son parte del calentamiento global a nivel mundial. (ÍNDICES ENSUCIAMIENTO, n.d.)

5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se analizaron 16 muestras de biomásas, 8 muestras de biomásas solas y 8 muestras de mezclas de biomásas efectuando una media ponderada para obtener su valores físico químicos, la muestra 6 Cáscara de Palma con 19,096 kj/kg, seguida de la muestra 4 Tamo de arroz con 18,695 kj/kg, en tercera posición está la muestra 2 Rastrojo con 14,870 kj/kg, en cuarto lugar está la muestra 3 Aserrín de Madera con 12,905 Kj/kh, en quinta posición esta muestra 8 Sorgo con 12,856 kj/kg, en sexto lugar está la muestra 1 Bagazo de Caña de Azúcar con 9,552 kj/kg, en séptima posición está la muestra 3 Balsa con 9,277 kj/kg, en octava posición está la muestra 7 Jacinto de Agua con 7,011 kj/kg.
- De las mezclas aplicando la media ponderada se puede concluir indicando que su poder calorífico se incrementa lo que ayuda a que se use menos cantidad de biomasa para producir la misma cantidad de vapor-energía.
- Se puede usar esta **tabla 6** de la media ponderada para analizar el costo posible a pagar de una biomasa para su uso como combustible primario, ya que nos determinarían dólares brutos de generación por MWH; lo cual se puede analizar si es conveniente o no usarla como combustible dependiendo de su valor en adquirirla para la quema como combustible en las calderas.
- Se determinó que, de las 8 biomásas analizadas, La muestra 1 Bagazo de Caña de Azúcar no Produce Ensuciamiento -DOES-, ni oxidación -TES-, los índices son <0.10 y <0,17.

La Muestra 3 Tamo de Arroz, no produce Oxidación-TES-. de acuerdo a los índices obtenidos en la formulación aplicada, que las otras biomásas como: Muestra 2 Rastrojo, Muestra 3 Balsa, Muestra 5 Aserrín, Muestra 6 Cáscara de palma, Muestra 7 Jacinto

de Agua, Muestra 8 Sorgo, producen ENSUCIAMIENTO -DOE- y OXIDACIÓN -TES-. si se usa como combustible principal en una caldera para la generación de vapor o energía eléctrica ya que sus valores de índices dados están sobre 0.10 to 1.00 y > 1.0 en el TES Oxidación, y 0.17 to 0.34 y > 0.34 en el DOE Ensuciamiento.

- Al realizar mezclas de distintas biomásas de acuerdo al análisis de la media ponderada que se realizó, obtuvimos los siguientes resultados:
 - La muestra 9 Bagazo + Cascarilla está dentro de los parámetros de posible 0.10 to 1.00 y > 1.0 en el TES Oxidación, y 0.17 to 0.34 y > 0.34 en el DOE Ensuciamiento.
 - La muestra 10 Bagazo + Tamo no produce Oxidación -TES- ya que está dentro de los parámetros de lo improbable.
 - Las muestras 10 Bagazo + Cascarilla, muestra 12 Bagazo + Balsa, muestra 13 Tamo + Balsa, muestra 14 Cascarilla + Tamo + Balsa, muestra 15 Cascarilla + Tamo + Aserrín, muestra 16 Bagazo + Cascarilla + Tamo están fuera del rango para la DOE -ensuciamiento- con valores > 0.34 de probable.
 - La muestra 11 Bagazo + Aserrín está dentro de los parámetros de posible 0.10 to 1.00 y > 1.0 en el TES Oxidación, y 0.17 to 0.34 y > 0.34 en el DOE Ensuciamiento.
 - Las muestras 12 Bagazo + Balsa, muestra 13 Tamo + Balsa, muestra 14 Cascarilla + Tamo + Balsa, muestra 15 Cascarilla + Tamo + Aserrín, muestra 16 Bagazo + Cascarilla + Tamo están dentro de los parámetros de posible 0.10 to 1.00 para TES -Oxidación-, y 0.17 to 0.34 y > 0.34 en el DOE Ensuciamiento.
- Se determina que la quema de biomásas en calderas está totalmente controlado desde el punto de vista ambiental al permanecer su fuentes fijas por debajo de la norma VALOR LÍMITE PERMISIBLE 150 mg/Nm³ en concentraciones de emisión de contaminantes al aire para bagazo en equipos de combustión de instalaciones de elaboración de azúcar para Calderas desde el 2005 y de 300 mg/Nm³ en

concentraciones de emisión de contaminantes al aire para bagazo en equipos de combustión de instalaciones de elaboración de azúcar para Calderas hasta el 2003 . Lo que ayuda considerablemente a la disminución de CO₂ al ambiente y los gases de efecto invernadero que se produciría si se quemaran a cielo abierto como se hacía hace años atrás con algunas biomásas como el tamo de arroz, paja de arroz, maíz, sorgo.

- Uno de los mayores obstáculos más importantes para el uso energético de las biomásas como fuente primaria de combustible para la generación de energía se considera a la inadecuada configuración de las tecnologías empleadas para el aprovechamiento óptimo de su combustión. La eficiencia e integridad de la caldera dependerá completamente del diseño particular en función de las características de la biomasa que se necesita quemar. (Bayona-Roa et al., 2022)

5.2. Recomendaciones

- Debemos impulsar el cambio de la matriz energética del País y no depender solo de la parte hidráulica como lo es en estos momentos, debemos de fomentar las energías renovables convencionales y no convencionales para poder contrarrestar así las épocas de sequías que pueden provocar los famosos apagones.
- Para garantizar la correcta utilización de una biomasa o no para quema como combustible principal en una caldera, queda a consideración de la Operación y Administración de cada empresa el tomar ciertos riesgos experimentales que no afecten a la eficiencia de la caldera, usando una u otra biomasa de las analizadas en este estudio, tomando el rango de lo IMPROBABLE a lo POSIBLE del análisis efectuado a las biomásas y sus mezclas.
- Otro análisis de consideración es que la biomasa mientras más seca esté incrementa su poder calorífico, pero también es susceptible de inflamaciones fácilmente.

- Este artículo sugiere la permanente necesidad de hacer los trabajos en conjunto la industria-con la academia; tanto es así que se debe generar capacidades permanentes de investigación, desarrollo e innovación sobre el tema expuesto.

6. Bibliografía

Actualidad y Energías Renovables. (n.d.). IMF: Masters Online, MBA, Cursos y Grados • IMF Smart Education. Retrieved November 6, 2023, from <http://imf-formacion.com>

Anexo 3.- libro 6 de Tulas. (2019, 4 6). Anexo 3.- libro 6 de Tulas.

<https://es.slideshare.net/davidoestrada/anexo-3-libro-6-de-tulas>

Arroyo-Vinueza, J. S., & Reina-Guzmán, W. S. (206, 10 06). *Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor*. Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor.

<https://www.redalyc.org/journal/5055/505554800003/html/>

Bayona-Roa, C., García-Navarro, J. G., Gacha, Jeisson, & Ricaurte, Héctor. (2022). *Vista de Hacia el aprovechamiento energético de los raquis de palma en calderas de biomasa*.

Fedepalma. Retrieved November 15, 2023, from

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13806/13611>

CALDEMA. (n.d.). *Casos éxito*. <https://www.caldema.com.br/es/casos>

Carrasco García, J. E. (2019, March 9). *COMBUSTIÓN DIRECTA DE LA BIOMASA*.

COMBUSTIÓN DIRECTA DE LA BIOMASA. Retrieved October 26, 2023, from

<https://studylib.es/doc/5556136/combusti%C3%B3n-directa-de-la-biomasa>

Castillo, c. L., Espinoza, W., & Alas, G. R. (n.d.). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DE ALIMENTACIÓN EN LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN FORMADOS EN LA OPERACIÓN DE UNA CALDERA DE BIOMASA*. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, El Salvador.

http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/bitstream/11674/6092/1/Revista%20CONIA2018-10_117-120.pdf

Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente – CISTEMA. (15, 7 2). *MANEJO SEGURO DE CALDERAS*. SIHISEIN. Retrieved November 6, 2023, from <https://www.sihisein.com.ar/wp-content/uploads/2021/02/CONTACTO-SEMANAL-564-MANEJO-SEGURO-DE-CALDERAS.pdf>

CONTROLTECNICA Equipos y Proyectos. (n.d.). *Horno de secado serie CD*.

CONTROLTECNICA Equipos y Proyectos. Retrieved 10 07, 2023, from

<https://www.controltecnica.com/test/producto/horno-de-secado-serie-cd/>

Determinación de humedad método de la aoac 92510. (2018, 6 22). *eterminación de*

humedad método de la aoac 92510. [https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-](https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de/)

Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de/

Eilish, B. (2022, October 2). . . - YouTube. Retrieved November 10, 2023, from

[https://www.enefolutions.com/ec/?utm_source=Google_Ads&utm_medium=Search&utm_campaign=EC-Conversiones%20-](https://www.enefolutions.com/ec/?utm_source=Google_Ads&utm_medium=Search&utm_campaign=EC-Conversiones%20-%20Enef%20EC%20Transaccionales&utm_id=20404898308&gclid=CjwKCAiAxreqBhAxEiwAfGfndHLrBQQvXgdkD7L9Zh8EQodRKuADyeEltBFYNKsY4PqBE9CI_f1L2BoCQG8QAvD_BwE)

[%20Enef%20EC%20Transaccionales&utm_id=20404898308&gclid=CjwKCAiAxreqBhAxEiwAfGfndHLrBQQvXgdkD7L9Zh8EQodRKuADyeEltBFYNKsY4PqBE9CI_f1L2BoCQG8QAvD_BwE](https://www.enefolutions.com/ec/?utm_source=Google_Ads&utm_medium=Search&utm_campaign=EC-Conversiones%20-%20Enef%20EC%20Transaccionales&utm_id=20404898308&gclid=CjwKCAiAxreqBhAxEiwAfGfndHLrBQQvXgdkD7L9Zh8EQodRKuADyeEltBFYNKsY4PqBE9CI_f1L2BoCQG8QAvD_BwE)

Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano buscar – Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (n.d.). Agencia de Regulación y Control de

Energía y Recursos Naturales no Renovables. Retrieved October 26, 2023, from

<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/estadisticas-del-sector-electrico-ecuatoriano-buscar/>

Garrido, L. (2019, March 9). *Contribuciones en la investigación de las cenizas y del ensuciamiento en calderas de combustión de biomasa: técnicas analíticas y contraste experimental*. semanticscholar. Retrieved October 26, 2023, from

[https://www.semanticscholar.org/paper/Contribuciones-en-la-investigaci%C3%B3n-de-las-](https://www.semanticscholar.org/paper/Contribuciones-en-la-investigaci%C3%B3n-de-las-cenizas-y-Garrido/d113393e242da85d23a15bf6fac1b7012e00affc)

[cenizas-y-Garrido/d113393e242da85d23a15bf6fac1b7012e00affc](https://www.semanticscholar.org/paper/Contribuciones-en-la-investigaci%C3%B3n-de-las-cenizas-y-Garrido/d113393e242da85d23a15bf6fac1b7012e00affc)

ÍNDICES ENSUCIAMIENTO. (n.d.). Department of Energy. Retrieved November 6, 2023, from <https://www.energy.gov/>

INFORME ANUAL 2022. (2023, April 18). Operador Nacional de Electricidad CENACE.

Retrieved October 26, 2023, from [https://www.cenace.gob.ec/wp-](https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/04/Parte-1-Informe-Anual-2022.pdf)

[content/uploads/downloads/2023/04/Parte-1-Informe-Anual-2022.pdf](https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/04/Parte-1-Informe-Anual-2022.pdf)

Lam Ceballos, J. A. (2018). *COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL AIRE ENTRE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CARBÓN CUANDO SE UTILIZA COMO COMBUSTIBLE EN LA CALDERA DE LA UNIDAD DE NEGOCIO DE GENERACIÓN O COGENERACIÓN DE UN INGENIO AZUCARERO* (1st ed., Vol. 1). Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://core.ac.uk/download/pdf/160612607.pdf>

Menjivar Benitez, C. E., Menjivar, I., Garcia, I., & Alas Osegueda, J. R. (2019). *Mitigación y control de la corrosión en calderas de biomasa*.

<http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/handle/11674/2706>

Ministerio del Ambiente. (2022). PROPUESTA DE NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN, QUE INCORPORA LAS OBSERVACIONES PERTINENTES. In *ANEXO III DEL LIBRO VI DEL TULSMA* (3rd ed., Vol. 6, p. 27). Ministerio del Ambiente.

<https://www.cip.org.ec/attachments/article/1604/ANEXO%20III%20DEL%20LIBRO%20VI%20DEL%20TULSMA.pdf>

Moghtaderi, B., Sheng, C., & Wall, T. F. (n.d.). chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_01/BioRes_01_1/BioRes_01_1_093_115_Moghtaderi_AustralianBioresources.pdf. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_01/BioRes_01_1/BioRes_01_1_093_115_Moghtaderi_AustralianBioresources.pdf, 23. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_01/BioRes_01_1/BioRes_01_1_093_115_Moghtaderi_AustralianBioresources.pdf

MONTEROS VIZCAINO, L. A. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO MUFLA PARA LA REALIZACION DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4592/1/04%20MEC%20077%20Tesis.pdf>

NCH Asia. (2021, 15 4). *Desventajas de la corrosión en calderas y cómo puede prevenirse*.

NCH. <https://www.la.nch.com/desventajas-de-la-corrosion-en-calderas-y-como-puede-prevenirse/desventajas-de-la-corrosion-en-calderas-y-como-puede-prevenirse>

Nemer, M. R. (2021). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción PROYECTO DE TITULACI*. DSpace en ESPOL. Retrieved November 15, 2023, from

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52223/1/T-88844%20%20Martha%20Nemer%20Montesdeoca.pdf>

Nemer Montesdeoca, M. R., & Ramírez M., Ángel, Director. (2021). *DSpace en ESPOL: Huella de carbono de un sistema conceptual de generación de electricidad a partir de biomasa con captura y almacenamiento de carbono*. DSpace en ESPOL. Retrieved November 15, 2023, from <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52223>

Orús, A. (n.d.). *Generación de energía renovable por tipo de fuente energética en 2022*. Statista. Retrieved October 24, 2023, from

<https://es.statista.com/estadisticas/638825/generacion-mundial-de-energia-renovable-por-tipo-de-fuente-energetica/>

ROMERO SALVADO, A. (2010). APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES.

Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp), 104(2). <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>

Suarez Gonzalez, M., & Folgueras Diaz, M. B. (2014). *Comportamiento del S, Cl, Na y K durante la combustión de la biomasa*. Universidad de Oviedo.

<https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/32379/TFMMariaSuarezGlezRUO.pdf?sequence=6>

Velasco Roldan, L., Goyos-Pérez, L., & Freire, L. (2019, 10). *Potencial de aprovechamiento de la biomasa vegetal como aislamiento en climas extremos del Ecuador*. Potencial de aprovechamiento de la biomasa vegetal como aislamiento en climas extremos del Ecuador.

Retrieved 11 15, 2023, from

https://www.researchgate.net/publication/320995770_Potencial_de_aprovechamiento_de_la_biomasa_vegetal_como_aislamiento_en_climas_extremos_del_Ecuador

Vignote Peña, S. (2016, noviembre). *La biomasa: Importancia, tipos y características y formas de preparación*. Retrieved 10 26, 2023, from

https://www.researchgate.net/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion

Actualidad y Energías Renovables. (n.d.). IMF: Masters Online, MBA, Cursos y Grados • IMF Smart Education. Retrieved November 6, 2023, from <http://imf-formacion.com>

Anexo 3.- libro 6 de Tulas. (2019, 4 6). Anexo 3.- libro 6 de Tulas.

<https://es.slideshare.net/davidoestrada/anexo-3-libro-6-de-tulas>

Arroyo-Vinueza, J. S., & Reina-Guzmán, W. S. (206, 10 06). *Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor*. Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor.

<https://www.redalyc.org/journal/5055/505554800003/html/>

CALDEMA. (n.d.). *Casos éxito*. <https://www.caldema.com.br/es/casos>

Carrasco García, J. E. (2019, March 9). *COMBUSTIÓN DIRECTA DE LA BIOMASA*.

COMBUSTIÓN DIRECTA DE LA BIOMASA. Retrieved October 26, 2023, from

<https://studylib.es/doc/5556136/combusti%C3%B3n-directa-de-la-biomasa>

Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente – CISTEMA.

(15, 7 2). *MANEJO SEGURO DE CALDERAS*. SIHISEIN. Retrieved November 6, 2023, from

<https://www.sihisein.com.ar/wp-content/uploads/2021/02/CONTACTO-SEMANAL-564-MANEJO-SEGURO-DE-CALDERAS.pdf>

CONTROLTECNICA Equipos y Proyectos. (n.d.). *Horno de secado serie CD*.

CONTROLTECNICA Equipos y Proyectos. Retrieved 10 07, 2023, from

<https://www.controltecnica.com/test/producto/horno-de-secado-serie-cd/>

Determinación de humedad método de la aoac 92510. (2018, 6 22). eterminación de

humedad método de la aoac 92510. [https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-](https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de/)

Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de/

Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano buscar – Agencia de Regulación y Control de

Energía y Recursos Naturales no Renovables. (n.d.). Agencia de Regulación y Control de

Energía y Recursos Naturales no Renovables. Retrieved October 26, 2023, from <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/estadisticas-del-sector-electrico-ecuatoriano-buscar/>

Garrido, L. (2019, March 9). *Contribuciones en la investigación de las cenizas y del ensuciamiento en calderas de combustión de biomasa: técnicas analíticas y contraste experimental*. semanticscholar. Retrieved October 26, 2023, from <https://www.semanticscholar.org/paper/Contribuciones-en-la-investigaci%C3%B3n-de-las-cenizas-y-Garrido/d113393e242da85d23a15bf6fac1b7012e00affc>

ÍNDICES ENSUCIAMIENTO. (n.d.). Department of Energy. Retrieved November 6, 2023, from <https://www.energy.gov/>

INFORME ANUAL 2022. (2023, April 18). Operador Nacional de Electricidad CENACE. Retrieved October 26, 2023, from <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/04/Parte-1-Informe-Anual-2022.pdf>

Lam Ceballos, J. A. (2018). *COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL AIRE ENTRE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CARBÓN CUANDO SE UTILIZA COMO COMBUSTIBLE EN LA CALDERA DE LA UNIDAD DE NEGOCIO DE GENERACIÓN O COGENERACIÓN DE UN INGENIO AZUCARERO* (1st ed., Vol. 1). Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://core.ac.uk/download/pdf/160612607.pdf>

Menjivar Benitez, C. E., Menjivar, I., Garcia, I., & Alas Osegueda, J. R. (2019). *Mitigación y control de la corrosión en calderas de biomasa*.

<http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/handle/11674/2706>

Ministerio del Ambiente. (2022). PROPUESTA DE NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN, QUE INCORPORA LAS OBSERVACIONES PERTINENTES. In *ANEXO III DEL LIBRO VI DEL TULSMA* (3rd ed., Vol. 6, p. 27). Ministerio del Ambiente.

<https://www.cip.org.ec/attachments/article/1604/ANEXO%20III%20DEL%20LIBRO%20VI%20DEL%20TULSMA.pdf>

MONTEROS VIZCAINO, L. A. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO MUFLA PARA LA REALIZACION DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4592/1/04%20MEC%20077%20Tesis.pdf>

NCH Asia. (2021, 15 4). *Desventajas de la corrosión en calderas y cómo puede prevenirse*.

NCH. <https://www.la.nch.com/desventajas-de-la-corrosion-en-calderas-y-como-puede-prevenirse/desventajas-de-la-corrosion-en-calderas-y-como-puede-prevenirse>

Orús, A. (n.d.). *Generación de energía renovable por tipo de fuente energética en 2022*.

Statista. Retrieved October 24, 2023, from

<https://es.statista.com/estadisticas/638825/generacion-mundial-de-energia-renovable-por-tipo-de-fuente-energetica/>

ROMERO SALVADO, A. (2010). *APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES*.

Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp), 104(2). <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>

Suarez Gonzalez, M., & Folgueras Diaz, M. B. (2014). *Comportamiento del S, Cl, Na y K durante la combustión de la biomasa*. Universidad de Oviedo.

<https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/32379/TFMMariaSuarezGlezRUO.pdf?sequence=6>

Vignote Peña, S. (2016, noviembre). *La biomasa: Importancia, tipos y características y formas de preparación*. Retrieved 10 26, 2023, from

https://www.researchgate.net/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion

Actualidad y Energías Renovables. (n.d.). *IMF: Masters Online, MBA, Cursos y Grados • IMF Smart Education*. Retrieved November 6, 2023, from <http://imf-formacion.com>

Anexo 3.- libro 6 de Tulas. (2019, 4 6). *Anexo 3.- libro 6 de Tulas*.

<https://es.slideshare.net/davidoestrada/anexo-3-libro-6-de-tulas>

Arroyo-Vinueza, J. S., & Reina-Guzmán, W. S. (206, 10 06). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor.

<https://www.redalyc.org/journal/5055/505554800003/html/>

CALDEMA. (n.d.). Casos de éxito. <https://www.caldema.com.br/es/casos>

Carrasco García, J. E. (2019, March 9). COMBUSTIÓN DIRECTA DE LA BIOMASA.

COMBUSTIÓN DIRECTA DE LA BIOMASA. Retrieved October 26, 2023, from

<https://studylib.es/doc/5556136/combusti%C3%B3n-directa-de-la-biomasa>

Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente – CISTEMA.

(15, 7 2). MANEJO SEGURO DE CALDERAS. SIHISEIN. Retrieved November 6, 2023, from

[https://www.sihisein.com.ar/wp-content/uploads/2021/02/CONTACTO-SEMANAL-564-](https://www.sihisein.com.ar/wp-content/uploads/2021/02/CONTACTO-SEMANAL-564-MANEJO-SEGURO-DE-CALDERAS.pdf)

[MANEJO-SEGURO-DE-CALDERAS.pdf](https://www.sihisein.com.ar/wp-content/uploads/2021/02/CONTACTO-SEMANAL-564-MANEJO-SEGURO-DE-CALDERAS.pdf)

Determinación de humedad método de la aoac 92510. (2018, 6 22). eterminación de

humedad método de la aoac 92510. [https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-](https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de/)

[Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de/](https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de/)

Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano buscar – Agencia de Regulación y Control de

Energía y Recursos Naturales no Renovables. (n.d.). Agencia de Regulación y Control de

Energía y Recursos Naturales no Renovables. Retrieved October 26, 2023, from

<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/estadisticas-del-sector-electrico-ecuadoriano-buscar/>

Garrido, L. (2019, March 9). Contribuciones en la investigación de las cenizas y del

ensuciamiento en calderas de combustión de biomasa: técnicas analíticas y contraste

experimental. semanticscholar. Retrieved October 26, 2023, from

<https://www.semanticscholar.org/paper/Contribuciones-en-la-investigaci%C3%B3n-de-las-cenizas-y-Garrido/d113393e242da85d23a15bf6fac1b7012e00affc>

ÍNDICES ENSUCIAMIENTO. (n.d.). Department of Energy. Retrieved November 6, 2023,

from <https://www.energy.gov/>

INFORME ANUAL 2022. (2023, April 18). Operador Nacional de Electricidad CENACE.

Retrieved October 26, 2023, from <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/04/Parte-1-Informe-Anual-2022.pdf>

Menjivar Benitez, C. E., Menjivar, I., Garcia, I., & Alas Osegueda, J. R. (2019). Mitigación y control de la corrosión en calderas de biomasa.

<http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/handle/11674/2706>

Ministerio del Ambiente. (2022). PROPUESTA DE NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN, QUE INCORPORA LAS OBSERVACIONES PERTINENTES. In ANEXO III DEL LIBRO VI DEL TULSMA (3rd ed., Vol. 6, p. 27). Ministerio del Ambiente.

<https://www.cip.org.ec/attachments/article/1604/ANEXO%20III%20DEL%20LIBRO%20VI%20DEL%20TULSMA.pdf>

NCH Asia. (2021, 15 4). Desventajas de la corrosión en calderas y cómo puede prevenirse.

NCH. <https://www.la.nch.com/desventajas-de-la-corrosion-en-calderas-y-como-puede-prevenirse/desventajas-de-la-corrosion-en-calderas-y-como-puede-prevenirse>

Orús, A. (n.d.). Generación de energía renovable por tipo de fuente energética en 2022.

Statista. Retrieved October 24, 2023, from

<https://es.statista.com/estadisticas/638825/generacion-mundial-de-energia-renovable-por-tipo-de-fuente-energetica/>

ROMERO SALVADO, A. (2010). APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES.

Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp), 104(2). <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>

Suarez Gonzalez, M., & Folgueras Diaz, M. B. (2014). Comportamiento del S, Cl, Na y K durante la combustión de la biomasa. Universidad de Oviedo.

<https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/32379/TFMMariaSuarezGlezRUO.pdf?sequence=6>

Vignote Peña, S. (2016, noviembre). La biomasa: Importancia, tipos y características y formas de preparación. Retrieved 10 26, 2023, from

https://www.researchgate.net/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion