



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**

TEMA:

Estudio de factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel

AUTOR:

Ing. Alexander Ronald Mero Vallas

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Magíster en Electricidad con mención en Energías
Renovables y Eficiencia Energética**

TUTOR:

Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Msc.

Guayaquil, Ecuador

11 de marzo del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por el **Ingeniero Eléctrico Mecánico Alexander Ronald Mero Vallas**, como requerimiento parcial para la obtención del grado Académico de **Magister en Electricidad**.

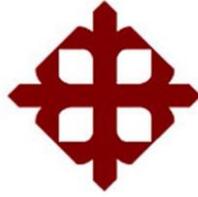
TUTOR

f. _____
Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Msc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____
Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Msc.

Guayaquil, 11 de marzo del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Alexander Ronald Mero Vallas**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Estudio de factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel**, previo a la obtención del grado académico de **Magister en Electricidad**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 11 de marzo del 2022

EL AUTOR

f.

Alexander Ronald Mero Vallas



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Alexander Ronald Mero Vallas**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría, **Estudio de factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 11 de marzo del 2022

EL AUTOR:

f. 
Alexander Ronald Mero Vallas



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f.

MSc. Bayardo Bohórquez Escobar
Tutor

f.

MSc. Bayardo Bohórquez Escobar
Director del Programa

f.

MSc. Manuel Romero Paz
Revisor

f.

MSc. Diana Bohórquez Heras
Revisor

REPORTE URKUND

Correo: LUIS VICENTE VALLEJO | Inicio - ORIGINAL | D119724663 - mettmero22112021 | D119724663 - mettmero22112021

URKUND | Luis Vallejo Samaniego (luis.vallejo)

Documento: mettmero22112021.pdf (D119724663)

Presentado: 2021-11-24 07:11 (-05:00)

Presentado por: luv1962@hotmail.com

Recibido: luis.vallejo.ucs@analysis.urkund.com

4% de estas 32 páginas, se componen de texto presente en 11 fuentes.

| Categoría | Enlace/nombre de archivo |
|-----------|---|
| | https://www.fao.org/3/ae400a/ae400a.pdf |
| | http://www.fao.org/3/ae400a/ae400a.pdf |
| | https://www.olade.org/%E7roticias%E7dele-e-irena-oonen-a-las-ener-gias-recovab... |
| | TESIS DE GRADO-ALEX MORAN CORREA 2020.docx |
| | 713fcb9979352158e9bee2f1761386da9c0b07f0.html |

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN ENERGÍA RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA TEMA: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE BIOGAS EMPLEANDO AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS EN FABRICA DE PAPEL AUTOR: Ing. Alexander Ronald Mero Vallas

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de MASTER EN ELECTRICIDAD TUTOR: Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Msc. Guayaquil, Ecuador 2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN ENERGÍA RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por el Ingeniero Eléctrico Mecánico Alexander Ronald Mero Vallas, como requerimiento parcial para la obtención del grado Académico de Magister en Electricidad. TUTOR f. _____ Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Msc. DIRECTOR DEL PROGRAMA f. _____ Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Msc. Guayaquil, 28 de Julio del 2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN ENERGÍA RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Yo, Alexander Ronald Mero Vallas DECLARO QUE: El Trabajo de Titulación, Estudio de factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fabrica de papel, previo a la obtención del título de Magister en electricidad, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las

Original Report -...pdf | mettmero22112021.pdf | mettmero22112021.pdf | Original Report -...pdf | Mostrar todo

15:37 24/11/2021

Reporte Urkund del Trabajo de Titulación denominado “**Estudio de factibilidad de generación de Biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel**” del Ingeniero **Mero Vallas Alexander Ronald**. Una vez efectuado el análisis antiplagio el resultado indica 4% de coincidencia.

CARRERA: MÁSTER EN ELECTRICIDAD

Informe elaborado por:

f. _____

Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Msc.

AGRADECIMIENTO

El agrado de Dios en seguir dándome bendiciones para poder cumplir metas, alcanzar logros educativos en el transcurso de mi vida profesional, agradecimiento a Él por la salud e inteligencia, a mi Esposa que me ha dado su apoyo, este título también es de ella por sus esfuerzos por soportar la carga, a mis hijos Arianna, Thomas, Dante...por afrontar este peldaño con amor y dedicación, a mis padres por su ayuda incondicional y mis hermanos, este proyecto también queda por agradecer a la empresa en la que laboro que me facilito toda su ayuda para desarrollar el tema...muchas gracias!!!

Dios es bueno y nos da todo en el momento indicado.

Ing.

Alexander Mero Vallas

ÍNDICE

| | | |
|------|--|----|
| 1 | CAPITULO: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO..... | 18 |
| 1.1 | INTRODUCCIÓN | 18 |
| 1.2 | ANTECEDENTES DEL PROBLEMA..... | 19 |
| 1.3 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 20 |
| 1.4 | JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 20 |
| 1.5 | HIPÓTESIS | 20 |
| 1.6 | OBJETIVO GENERAL..... | 20 |
| 1.7 | OBJETIVOS ESPECIFICOS | 21 |
| 1.8 | MÉTODO | 21 |
| 1.9 | VARIABLES..... | 22 |
| 2 | CAPITULO: MARCO TEÓRICO..... | 23 |
| 2.1 | INTRODUCCIÓN | 23 |
| 2.2 | TIPOS DE ENERGÍA. | 23 |
| 2.3 | BIOMASA..... | 24 |
| 2.4 | USO DE LA BIOMASA | 24 |
| 2.5 | TIPOS DE BIOMASA | 25 |
| 2.6 | BIOCOMBUSTIBLE | 25 |
| 2.7 | CLASIFICACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES..... | 26 |
| 2.8 | BIOGÁS ANTECEDENTES | 26 |
| 2.9 | SISTEMAS ANAERÓBICOS EN GENERACIÓN DE BIOGÁS | 27 |
| 2.10 | DIGESTIÓN ANAERÓBICA..... | 27 |
| 2.11 | BIODEGRADABILIDAD | 28 |
| 2.12 | D.B.O (Demanda bioquímica de oxígeno) | 28 |
| 2.13 | D.Q.O (Demanda química de oxígeno)..... | 28 |
| 2.14 | BIOGÁS..... | 28 |

| | | |
|------|--|----|
| 2.15 | BIOABONO | 29 |
| 2.16 | FASES PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS | 30 |
| 2.17 | USO DEL BIOGÁS | 31 |
| 2.18 | IMPACTO BIOGÁS..... | 32 |
| 2.19 | AMÉRICA LATINA | 33 |
| 2.20 | MARCO INSTITUCIONAL..... | 34 |
| 2.21 | BIOCOMBUSTIBLES EN ECUADOR | 34 |
| 2.22 | MARCO REFERENCIAL..... | 35 |
| 2.23 | BIOMASA EN LATINOAMÉRICA..... | 37 |
| 2.24 | BIOGÁS EN EL ECUADOR..... | 39 |
| 3 | CAPITULO: METODOLOGÍA..... | 41 |
| 3.1 | PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAPEL. | 41 |
| 3.2 | PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAPEL | 43 |
| 3.3 | CONSUMO DE AGUA FRESCA 2020 | 44 |
| 3.4 | AGUA RESIDUAL A LOS MOLINOS | 45 |
| 3.5 | PROCESOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES..... | 47 |
| 3.6 | CLARIFICADOR KROFTA SPC 27 | 48 |
| 3.7 | AGUA EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO (KROFTA SPC 27) | 49 |
| 3.8 | ANÁLISIS DEL D.Q.O Y D.B.O EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL. | 51 |
| 3.9 | CLARIFICADOR KROFTA SPC 27 | 51 |
| 3.10 | D.Q.O y D.B.O EN EL REACTOR. | 54 |
| 3.11 | TRATAMIENTO SECUNDARIO..... | 57 |
| 3.12 | LAGUNAS DE OXIDACIÓN..... | 57 |
| 3.13 | LAGUNAS DE OXIDACIÓN DE PLANTA..... | 59 |
| 3.14 | DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE BIOGÁS..... | 60 |
| 3.15 | BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS. | 61 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.16 | CALCULO DE MASA ENERGÍA | 61 |
| 3.17 | CALCULO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS TEÓRICO | 64 |
| 3.18 | FACTOR DE RECUPERACIÓN O EFICIENCIA | 64 |
| 3.19 | PRODUCCIÓN DE BIOGÁS ANUAL | 65 |
| 3.20 | ESTIMACIÓN TEÓRICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. | 66 |
| 3.21 | ENERGÍA CALORÍFICA | 67 |
| 3.22 | ESTIMACIÓN DE VAPOR..... | 67 |
| 4 | CAPITULO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE BIOGÁS. | 69 |
| 4.1 | PLANTEAMIENTO ECONÓMICO. | 69 |
| 4.2 | BASE ECONÓMICA | 70 |
| 4.3 | RENTABILIDAD ECONÓMICA..... | 72 |
| 4.4 | VALOR ACTUAL NETO (VAN)..... | 72 |
| 4.5 | TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)..... | 73 |
| 4.6 | DECISIONES VAN Y TIR..... | 73 |
| | CONCLUSIONES | 76 |
| | RECOMENDACIONES | 78 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 79 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 | |
| Flujograma de Tipos de Energía | 24 |
| Figura 2 | |
| Digestión Anaeróbica Fases | 31 |
| Figura 3 | |
| Residuos DKL | 41 |
| Figura 4 | |
| Residuos OCC | 41 |
| Figura 5 | |
| Salida de Agua Residuales de Molinos | 42 |
| Figura 6 | |
| Diagrama de Flujo Fabricación de Papel | 43 |
| Figura 7 | |
| Porcentaje por Unidad de Producción..... | 44 |
| Figura 8 | |
| Sacabasura Solidos Grueso Primera Etapa..... | 46 |
| Figura 9 | |
| Separador de Solidos Tipo Tornillo | 46 |
| Figura 10 | |
| Filtro Cepillo | 47 |
| Figura 11 | |
| Clarificador Krofta SPC 27 | 48 |
| Figura 12 | |
| Tanque Separador de Solidos..... | 48 |
| Figura 13 | |
| Formación de Lodos | 49 |
| Figura 14 | |
| Disminución de los Solidos Suspendidos..... | 51 |
| Figura 15 | |
| Disminución del D.Q.O en el Clarificador | 52 |

| | |
|---|----|
| Figura 16 | |
| Disminución del D.B.O en el Clarificador | 53 |
| Figura 17 | |
| Diferencia D.Q.O Y D.B.O Clarificador..... | 54 |
| Figura 18 | |
| D.Q.O Entrada y Salida Reactor | 55 |
| Figura 19 | |
| D.B.O entrada y salida Reactor..... | 56 |
| Figura 20 | |
| Diferencia D.Q.O Y D.B.O Reactor | 57 |
| Figura 21 | |
| Muestra de Agua Residual..... | 58 |
| Figura 22 | |
| Tratamiento Secundario Lagunas de Oxidación | 58 |
| Figura 23 | |
| Área de Lagunas de Oxidación | 59 |
| Figura 24 | |
| Tratamiento de Agua Residual..... | 60 |
| Figura 25 | |
| Balance de Materia y Energía Reactor | 61 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 | |
| Característica General del Biogás y su Composición. | 29 |
| Tabla 2 | |
| Comparativo del Biogás con Otras Fuentes Caloríficas. | 32 |
| Tabla 3 | |
| Empresa Emac Energy | 39 |
| Tabla 4 | |
| Consumo Agua Fresca Fábrica de Papel..... | 44 |
| Tabla 5 | |
| Promedio, Máximo, Mínimo Consumo de Agua..... | 45 |
| Tabla 6 | |
| Entrada de Agua Residual al Clarificador..... | 49 |
| Tabla 7 | |
| Sólidos Suspendidos..... | 50 |
| Tabla 8 | |
| Dbo y Dqo en Clarificador | 52 |
| Tabla 9 | |
| Promedio, Máximo, Mínimo de Dbo y Dqo Entrada y Salida en el Clarificador..... | 37 |
| Tabla 10 | |
| Dqo y Dbo en el Reactor | 55 |
| Tabla 11 | |
| Promedio, Máximo, Mínimo de Dbo y Dqo Entrada y Salida en el Reactor..... | 56 |
| Tabla 12 | |
| Detalle de Costos de la Implementación Adicional. | 69 |
| Tabla 13 | |
| Detalle de Valor de los 1000 Lb | 70 |
| Tabla 14 | |
| Costos del Proyecto de Biogas. | 70 |
| Tabla 15 | |
| Detalle de Cálculo de la Inversión..... | 74 |

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es determinar factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel, para la utilización de una nueva fuente de generación energética en el área de calderas o una alternativa adicional en la generación de energía eléctrica. En el tratamiento primario, la disminución D.Q.O y D.B.O de la contaminación en el agua determina una gran eficiencia en el proceso. Se describe la importancia del consumo de agua residual y los valores significativos que representan al momento de minimizarlo dentro del clarificador como en el reactor para poder convertir estos residuos en fuente de energía. Se realizó una ardua investigación y documentación del año 2020 para la ejecución del proyecto y cuanto es su producción promedio de biogás. Se concluyó que el valor está en $200 \frac{m^3}{h}$ a $250 \frac{m^3}{h}$ dependiendo las unidades de producción y la cantidad de agua tratada en la planta de tratamiento de agua residual en conjunto con el reactor anaeróbico, para la producción de biogás en el área de calderas. La misma planta que consta de dos: la primera una CBLE 500 con una generación de $17250 \frac{lb}{h}$ y la segunda CBLE 400 con una generación de $13500 \frac{lb}{h}$. El dato resultante de los cálculos proyectados realizados es una generación de 147.937 BHP (caballos de vapor de calderas) o su equivalente de 5103.83 lb/h. Entonces su capacidad de generación aborda un 46.31% de la generación total, que es un valor de $11020 \frac{lb}{h}$. Adicionalmente para la generación de energía eléctrica se determinó un resultado $Q=1451.40$ kW con la misma cantidad de biogás. Para el análisis económico se estimó valores de la propuesta del proyecto que estipula la inversión de optar por la implementación de la reingeniería para poder utilizar esta fuente de energía en una caldera, que consta de cambiar ciertos parámetros como lo es aire, tipo de combustión y otro tipo de quemador dual que permita trabajar con distintos tipos de combustible como lo es el diésel y biogás para abastecer la demanda existente en la planta. El ahorro económico es evidente por el alto costo del combustible cerca de \$ 1.304 por cada galón esto es un valor fluctuante ya que varía con respecto al precio internacional. Se estima un

ahorro de un valor \$ 268,573 con los cálculos del año 2020. Este de proyecto es fundamental para la conservación del medio ambiente; por ende, es un ejemplo de que una empresa pueda utilizar este tipo de energía verde en sus procesos teniendo valores positivos en la recepción de su capital y su impacto social.

Palabras clave: DQO, DBO, BIOMASA, BIOGÁS, BIODEGRADABILIDAD, BIOABONO

ABSTRACT

The objective of this project is to determine the feasibility of generating biogas using wastewater produced in paper mills, for the use of a new source of power generation in the boiler area or an additional alternative for generating electric power. In the primary treatment, the COD and BOD reduction of water pollution determines high efficiency in the process. The project describes the importance of the wastewater consumption and the significant values that they represent when it is minimized in the clarifier, as in the reactor to convert the waste into an energy source. An arduous investigation and documentation of the year 2020 were carried out in order to implement the project and to quantify the biogas average production. It was concluded that the value is between $200 \frac{m^3}{h}$ and $250 \frac{m^3}{h}$, depending on the production units and how much water is treated in the plant of wastewater treatment, along with the anaerobic reactor for the biogas production in the boiler area. This plant consists of two boilers. The first is a CBLE 500, which generates $17250 \frac{lb}{h}$. The second is a CBLE 400, which generates $13500 \frac{lb}{h}$. The result from the projected calculations is 147.937 BHP, or its equivalent $5103.83 \frac{lb}{h}$. Its generating capacity involves 46.31% of the total generation, which is $11020 \frac{lb}{h}$. Additionally, the generation of electric energy was $Q=1451.40$ kW, and the amount of biogas was the same. For the economic analysis, the value was estimated in accordance with the project proposal that requires investing in a reengineering implementation, in order to use this energy source in a boiler. This reengineering entails changes in certain parameters such as air, type of combustion and another type of dual burner, which allows working with different fuel types, such as diesel and biogas, in order to supply for the existing demand in the plant. The cost saving is evident because of the high estimate for the fuel, approximately \$1.304 per gallon; this cost varies in line with the international price. The total sum amounts to \$ 268,573, according to the calculations of the year 2020. This project is key to the preservation of the environment. Therefore, it shows that

it is possible for a company to use this type of green energy in its processes and, at the same time, to achieve economic profit as well as positive social impact.

Keywords: COD, BOD, BIOMASS, BIOGAS, BIODEGRADABILITY, BIOCOMPOSITION

1 CAPITULO: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad la utilización de energía se ha basado principalmente en el uso de combustible fósil, el mismo que deteriora por completo el ecosistema del planeta si no se toma un camino distinto para su conservación se tendrá muchos problemas en el futuro, se deberá analizar distintas fuentes energéticas para minimizar los impactos ambientales tales como por ejemplo: el calentamiento global, deshielo en los polos, lluvias acidas e impactos negativos en la capa de ozono debido a los gases de efecto invernadero, se tiene que implementar una nueva fuente de energía que reemplace al combustible fósil, en la segunda mitad del siglo XX se ve el nacimiento de fuentes de energía armónicas para el medio ambiente, inagotables y sustentables, entre estas se tiene la energía solar, hidráulica, eólica, mareomotriz y la biomasa. Hoy en día se busca que este tipo de energía sean factibles técnicamente y atractivas en la parte económica (Posso, 2002).

El aprovechamiento de fuentes de energía alternativas basadas en procesos contaminantes hacen este proyecto sustentable para el medio ambiente, ya que cada año en el planeta se aumenta el consumo de energía y hacen viables la utilización de ciertas fuentes de energía alternativa como es el uso del biogás para la generación de energía eléctrica o como fuente de calor sustituyendo la utilización de combustibles procedentes del petróleo que son altamente perjudiciales para el medio ambiente (Horvatovic et al., 2013).

En el Ecuador se está tomando como referencia estas sugerencias para este análisis de la obtención de biogás a partir de un proceso de producción de papel y que su impacto en la actualidad sea de menor en el uso de materiales contaminantes en sus efluentes, mejorando su optimización de recursos renovables.

La industria papelera es una de las fábricas que consumen una grande cantidad de agua en la elaboración de papel, que son fabricados a partir de materia prima 100% reciclada, se utiliza también grandes cantidades de químicos en la obtención de un producto de calidad, generando muchos

contaminantes que son vertidos en los efluentes y se eleva los indicadores en sus aguas al terminar su elaboración, el consumo de agua dependerá de la región en la que se encuentre al hablar de industrias se destinaran un 25% del consumo total (Judd & Judd, 2006).

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

El liderazgo mundial en la producción de biogás se inició dentro de la unión europea, Reino Unido con el 16,2% y Alemania con el 61.2%, en menor porcentaje, pero importante aporte como lo es: Italia, Francia, Holanda y España. Las fuentes de producción de biogás fueron: desgasificación de vertederos con un 26.8%, planta de tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes industriales con un 9.8 % otras plantas de conversión energética a través de la metanización 63.4%, claro ejemplo es el Reino Unido que se enfocó en la producción de biogás a partir de desgasificación de vertederos. China, Bangladés e India utilizan el biogás como fuente de energía en el desarrollo rural en zonas desfavorables que es imposible llegar con la energía convencional (Cerdá, 2012).

En América Latina se ha presentado un aumento en la utilización de este tipo de energía basada en biogás potencias como Brasil, México, Chile lideran el uso de residuos para generar ya sea electricidad u otra forma de energía de calefacción o generación de vapor (Castillo et al., 2020).

En el Ecuador el 51.78% de la energía producida es de energía renovable la más utilizada es la hidráulica con un 49.72% y la energía en análisis muestra un 1.55% biomasa que aún está en crecimiento debido al apoyo de la política de eficiencia energética que impulsa a ciertos grupos sociales a formar parte del cambio a energía limpia (ARCONEL, 2015).

Las industrias de fabricación de papel cumplen un desarrollo importante en una región donde se encuentran ya sean fomentando el trabajo y haciendo crecer es aspecto económico social de su entorno, así mismo estas industrias para desarrollar su producto final utilizan grandes cantidades de agua en su proceso productivo y los contaminantes que desprenden al final de este proceso se lo debe aprovechar al máximo, las emisiones de metano al

ambiente y la gran cantidad de material orgánico emitidos por los efluentes dan paso al aprovechamiento de esta nueva forma de energía por medio de un reactor anaeróbico en la obtención de biogás.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de realizar una evaluación de la factibilidad para la obtención de biogás de un reactor anaeróbico obtenido de efluentes de una fábrica papelera. Los elevados índices de carga orgánica en el agua que son vertidas al medio ambiente se las pueden aprovechar para generar y/o utilizar una nueva forma de energía limpia para el proceso.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El principal inconveniente a nivel mundial es el tratar de minimizar el impacto ambiental que se produce por la contaminación de las aguas residuales que se origina en las industrias que fabrican papel de materia prima virgen y/o Reciclada, y tratar de utilizar este tipo de contaminación para transformarlos en una fuente alternativa de generación de energía basado en biocombustibles como es el BIOGÁS, fuente amigable con el medio ambiente.

Este biocombustible procedente de aguas residuales se lo plantea para sustituirlo de manera gradual o total al bunker, diésel dependiendo del tipo de producción del biogás la capacidad de generación pudiere ser total o en su caso de una manera dual para reducir los niveles de contaminación que son expulsados al medio ambiente por medio de combustión.

1.5 HIPÓTESIS

Con este estudio se determinará la factibilidad económica, ambiental de la utilización de biogás como una fuente de energía alternativa no convencional.

1.6 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar a factibilidad en la obtención de biogás de un reactor anaeróbico obtenido de efluentes de fábrica papelera

1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar documentación existente acerca del biogás y su utilización como fuente de energía alternativa.
- Examinar las principales plantas de biogás en el mundo y Latinoamérica que utilizan residuos para generar energía amigable con el medio ambiente.
- Implementar la metodología para estudiar la minimización de contaminantes en el agua residual obtenidas de fábrica papelera.
- Determinar la factibilidad económica para la implantación de la extensión en la tecnología de la utilización del biogás en las calderas de vapor de la planta industrial.

1.8 MÉTODO

Diseño de investigación:

Para determinar esta propuesta de metodología de la investigación donde se explicará todos los puntos observados en el proceso industrial y cada una de las características y en qué forma aplicar una metodología directa y concreta en este análisis.

Tipo de estudio.

El presente estudio que es de carácter descriptivo cuantitativo, en donde se realizará un análisis de las características de los efluentes generados durante el proceso productivo y la cantidad de biogás obtenido para ser utilizado como una nueva fuente de energía alternativa, mediante la medición de parámetros obtenidos en los informes diarios generados en el clarificador, reactor anaeróbico, y la planta de tratamiento de aguas residuales.

Métodos de investigación

Bibliográficas: Se detallarán algunos comparativos a nivel mundial sobre las plantas existentes con estas tecnologías en el marco contextual recopilando

información para un buen análisis, de informes, documentos de la planta donde se puede deducir la factibilidad del estudio.

Observación: Se tomará este método de investigación debido a los datos obtenidos en cada unidad de producción, ya que no son continuas y sus cambios afectan a la producción de biogás, la toma los datos es directamente proporcional a la producción de cada molino.

Exploratorio: el trabajo de estudio es de este nivel exploratorio en que se busca obtener y tratar de averiguar si en otras industrias del papel existe este tipo de energía alternativa como una mejora en su implementación.

1.9 VARIABLES

Dependientes: Biogás

Independiente: Efluentes, índices de contaminación DQO (Demanda química de oxígeno), DBO (demanda Bioquímica de oxígeno).

2 CAPITULO: MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

La mayoría de los países en el mundo dependen de distintos tipos de combustibles como lo es: el carbón, petróleo y el gas natural que se utilizan como fuente para la obtener energía. Estos combustibles de origen fósil son no renovables, al mismo tiempo son causantes del deterioro al ambiente en tratar de extraerlos y explotarlos. En contraste, muchos tipos de energía como el viento y el sol son renovables, que constantemente se renuevan y por tanto no se terminan en el tiempo. La materia orgánica de las plantas se denomina biomasa, Se lo puede utilizar en algunas ocasiones para producir electricidad, energía térmica, como combustible para la transportación o productos químicos. El uso de la biomasa para cualquier de éstos fines se denomina la bioenergía (Badii et al., 2016).

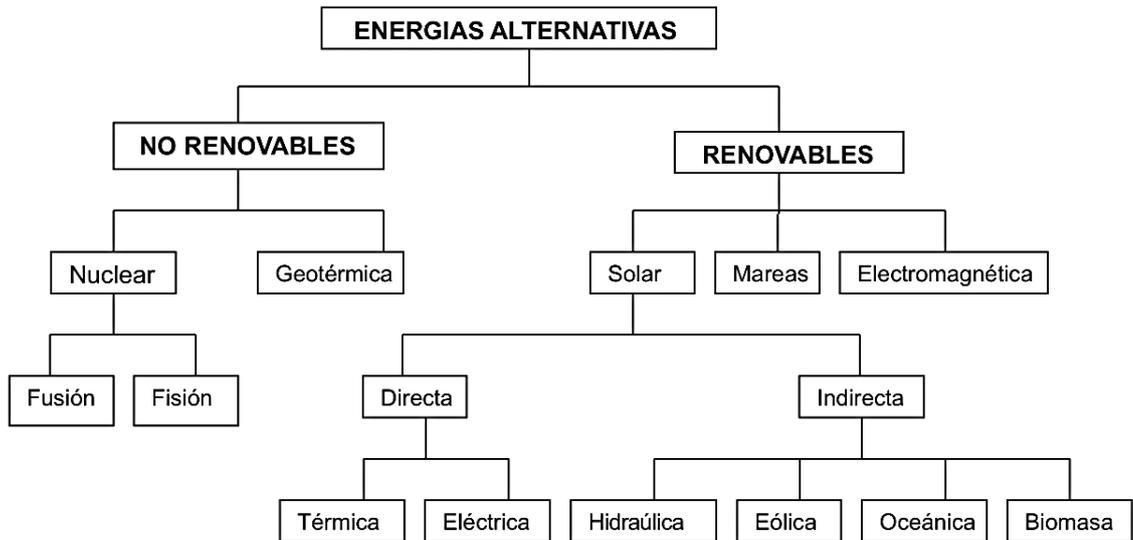
2.2 TIPOS DE ENERGÍA.

Si bien las fuentes de energía pueden clasificarse de variadas formas según el criterio usado, la clasificación más amplia de la misma es en renovables y no renovables. Las primeras son aquellas que se consumen a una mayor velocidad de lo que la naturaleza puede reemplazarlas; tal que la cantidad total disponible es cada vez menor y su posibilidad de reposición remota, en esta categoría se ubican las fuentes fósiles. Las segundas, son fuentes que pueden reponerse al generarse por procesos cíclicos de periodicidad variable (desde horas hasta años) o son inagotables. Se conocen genéricamente como energías alternativas (EA) (Posso, 2002).

Dentro de la clasificación de las energías no renovables son energía que con el transcurso del tiempo se agotaran por ende se debe poner en observación las energías renovables que son fuentes infinitas para poder utilizarlas en distintas maneras en cualquier caso lo fundamental es que se tiene que transformar para poder obtener el mayor beneficio para el planeta y disminuir los índices contaminantes existentes en la actualidad causadas por la quema de combustibles fósiles.

Figura 1

Flujograma de Tipos de Energía



Nota: Energías alternativas (Posso, 2002) clasificación de energías renovables y no renovables.

2.3 BIOMASA

A grandes rasgos, el término biomasa se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que se origine inmediatamente en un proceso biológico y finalmente es básicamente energía solar convertida por fotosíntesis. La madera, los desechos de agricultura y el estiércol animal se ubican en esta categoría. Su uso es de vieja data, la leña fue la primera y única fuente energética utilizada por el hombre para satisfacer sus necesidades domésticas y todavía es una fuente importante en muchos países subdesarrollados (Posso, 2002).

2.4 USO DE LA BIOMASA

La energía producida por la biomasa tiene diferentes usos, entre ellos la calefacción, la refrigeración y producción de agua caliente que se emplea en las viviendas, zonas comerciales y en la ciudad en general; igualmente como calor para procesos de industrias y producción de energía. En conclusión, todas las fuentes de energía pueden tener aplicaciones tanto eléctricas como térmicas; dependiendo de uso final (Cerdá, 2012).

2.5 TIPOS DE BIOMASA

BIOMASA NATURAL

Es la que se produce espontáneamente en la naturaleza, tales como bosques, matorrales, herbazales, etc. No es el más idóneo para un sobresaliente consumo energético porque puede provocar una rápida degradación de los ecosistemas naturales. (Posso, 2002).

BIOMASA RESIDUAL

Es la procedente de actividades agrícolas, ganaderas y forestales. Su uso en principio permite tener visiones interesantes, incluso limitadas, de que generalmente la descontaminación que se produce cuando se eliminan estos residuos es mayor que la energía producida. En un ámbito local, las instalaciones como granjas, industrias papeleras y depuradoras urbanas pueden llegar a ser autosuficientes energéticamente mediante aprovechamiento de sus propios residuos (Posso, 2002).

BIOMASA DE PLANTACIONES ENERGÉTICAS

Los cultivos energéticos son ya una realidad en países como Brasil y Estados Unidos que enfocan la producción de caña de azúcar y maíz, respectivamente, a la obtención de etanol. En el primero, el etanol se utiliza desde 1980 con una producción anual que excede los dos billones de litros y con una eficiencia cercana al 85%; además Brasil tiene cerca de tres millones de Ha. de plantaciones de eucaliptos destinados a la fabricación de carbón vegetal. Si bien hasta ahora el principal incremento en la utilización de la biomasa como fuente de energía se ha basado en la biomasa residual, son los cultivos energéticos los considerados como la alternativa más adecuada y competitiva (Posso, 2002).

2.6 BIOCOMBUSTIBLE

La biomasa, es el término genérico que se refiere al conjunto de la materia biológicamente renovable (árboles, cultivos), de la que se puede obtener biocombustibles como el biodiesel, obtenido de aceites de plantas o algas, y el bioetanol. Actualmente hay un gran interés por la producción de grandes

cantidades de este como alternativa a los combustibles fósiles en todo el mundo. Una alternativa es el uso de biocombustibles, definidos como combustibles líquidos o gaseosos potencialmente renovables, que pueden utilizarse para la generación de electricidad, calor y energéticos. Los biocombustibles como: bioetanol, butanol, biodiesel, hidrógeno y metano, son sintetizados a partir de fuentes biológicas. Particularmente, el biodiesel es una interesante alternativa para cubrir parte de la demanda energética de combustibles derivados de petróleo destinados al transporte (Fernández-Linares et al., 2012).

2.7 CLASIFICACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES.

Tras los impactos al medio ambiente, recientemente se vienen buscando estrategias y métodos para elaborar biocombustibles a partir de materia prima renovable. Los biocombustibles se clasifican en primera, segunda, tercera y cuarta generación; la primera es la que se obtiene con aceites de cocina o azúcares de maíz, girasol o caña de azúcar; los de segunda generación se obtiene con materiales que no son para consumo humano, como productos forestales, lodos de depuradora, aceites usados, subproductos agrícolas u otro tipo de residuos industriales (Cortés-Sánchez et al., 2019).

2.8 BIOGÁS ANTECEDENTES

Algunos registros muestran que la producción de biogás por digestión anaeróbica de materia orgánica se utilizó ya en Asiria en el siglo X a.C. y en Persia en el siglo XVI a.C. En el siglo XVII, Jan Baptist van Helmont fue el primero en establecer y documentar que se puede obtener biogás durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. En 1776, Alessandro Volta estableció la relación entre la cantidad de sustancias descompuestas y la cantidad de biogás obtenido. En 1808, Humphry Davy identificó la necesidad de la digestión anaeróbica de materia orgánica para producir biogás. La primera planta de biogás documentada se construyó en Bombay, India en 1859. Más investigaciones en la historia llevaron al primer uso importante, en 1895 en Exeter, Inglaterra, se encendieron las primeras lámparas de gas que usaban biogás. Arthur Buswell durante 1930, investigó los organismos anaeróbicos y las condiciones en las que desarrollan el

biogás. En 2000, el Reino Unido era el principal productor de energía útil a partir de biogás con 897 ktep (ktep = tonelada equivalente de petróleo) o el 39% de la producción europea. Esta energía se obtuvo de más de 400 plantas. A principios de 2000, Alemania ocupaba el segundo lugar con 525 ktep mientras que Francia ocupaba el tercer lugar con 167 ktep de producción anual (Horvatović et al., 2013).

2.9 SISTEMAS ANAERÓBICOS EN GENERACIÓN DE BIOGÁS

El biogás es un tipo de energía de biomasa, que se obtiene producto de la digestión anaeróbica o fermentación de la materia orgánica (residuos animales y vegetales) y que puede presentar diferentes usos energéticos, como calefacción, alumbrado o electricidad. Esta mezcla gaseosa, combustible, está compuesta por metano (55-70%), anhídrido carbónico (30-45%), más otros elementos traza tales como, oxígeno (200 ppm - 1%), nitrógeno (menor a 5%), vapor de agua y sulfuro de hidrógeno (50 ppm – 3%). La concentración de los distintos gases en el biogás dependerá de la composición de las materias primas, las condiciones de descomposición, tiempo de retención hidráulica en el biodigestor, entre otros (Varnero et al., 2012).

2.10 DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaeróbica hace referencia a un proceso biológico y de descomposición, en donde la materia orgánica se convierte en biogás (combinación de dióxido de carbono y metano, con otras impurezas). Por medio de este proceso es posible transformar los desechos, el estiércol, las aguas residuales, en subproductos útiles. Durante la digestión más del 90% de la energía, tras una oxidación directa, se convierte en metano; y con solo el 10% de la energía consumida para el crecimiento bacteriano en comparación con el 50% de la energía consumida en el sistema aeróbico (Varnero, 2011).

A lo largo de esta digestión, los microorganismos productores de metanol actúan como enzimas respiratorias y forman una cadena alimentaria con las bacterias no gaseosas, vinculándose con las cadenas enzimáticas de las

células aerobias. No obstante el biogás obtenido, en la mayoría de los casos se encuentra contaminado con diferentes componentes que complican el uso, la aplicación y la manipulación del mismo (Varnero, 2011).

2.11 BIODEGRADABILIDAD

La determinación de la biodegradabilidad anaerobia de un agua residual permite estimar la fracción de D.Q.O (demanda química de oxígeno) que puede ser eliminada por medio de la digestión anaerobia (Pérez et al., 2000).

2.12 D.B.O (Demanda bioquímica de oxígeno)

La materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada, la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar residuos orgánicos de modo aerobio se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia en condiciones normales de laboratorio, la D.B.O se determina a una temperatura de 20°C en un tiempo de 5 días, siendo expresado en $\frac{mg}{l} O_2$ y es conocido como D.B.O. Este procedimiento fue adoptado en 1936 por la Asociación Americana de Salud Pública, y desde entonces ha permanecido como un indicador de la contaminación (Raffo & Ruiz, 2014).

2.13 D.Q.O (Demanda química de oxígeno)

(DQO) Demanda química de oxígeno: la medición de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de las concentraciones de materia orgánica en las aguas residuales (Villanueva et al., 2013).

2.14 BIOGÁS

Cuando se habla de biogás, se está haciendo referencia a la combinación de gases compuesta por metano, dióxido de carbono y unas cuantas impurezas; se resalta que dicha composición varía de acuerdo al tipo de material que se

pone a descomponer y del mismo proceso. Este biogás cuando supera el 45% es inflamable (Varnero, 2011), además cuenta con características específicas que se registraron en la Tabla 1.

2.15 BIOABONO

Las propiedades de los biofertilizantes dependen en gran medida de las materias primas y del tipo de tecnología manejada para la digestión. A través del proceso anaeróbico, los fragmentos de materia orgánica (compuestos por organismos vivos o sus desechos) se convierten en metano y otros componentes como se muestra a continuación, y luego el contenido de materia orgánica es menor que el de las materias primas. Una gran cantidad de materia orgánica en este producto está mineralizada, por lo que el contenido total de nitrógeno amoniacal aumenta y el nitrógeno orgánico disminuye (Varnero, 2011).

Tabla 1

Característica General del Biogás y su Composición.

| Característica | Descripción. |
|-----------------------------------|---|
| Composición | 55 – 70% metano (CH_4) 30 – 45% dióxido de carbono (CO_2) Trazas de otros gases |
| Contenido energético | 6.0 – 6.5 kW h m^{-3} |
| Equivalente de combustible | 0.60 – 0.65 L petróleo/ m^3 |
| Límite de explosión | 6 – 12 % de biogás en el aire |
| Temperatura de ignición | 650 – 750°C (con el contenido de CH_4) |
| Característica | Descripción. |
| Presión crítica | 74 – 88 atm |
| Temperatura crítica | -82,5 °C |
| Densidad normal | 1.2 kg m^{-3} |
| Olor | Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible) |
| Masa molar | 16.043 kg $kmol^{-1}$ |

Nota. Resultados tomados de (Varnero, 2011) en pruebas realizadas al biogás.

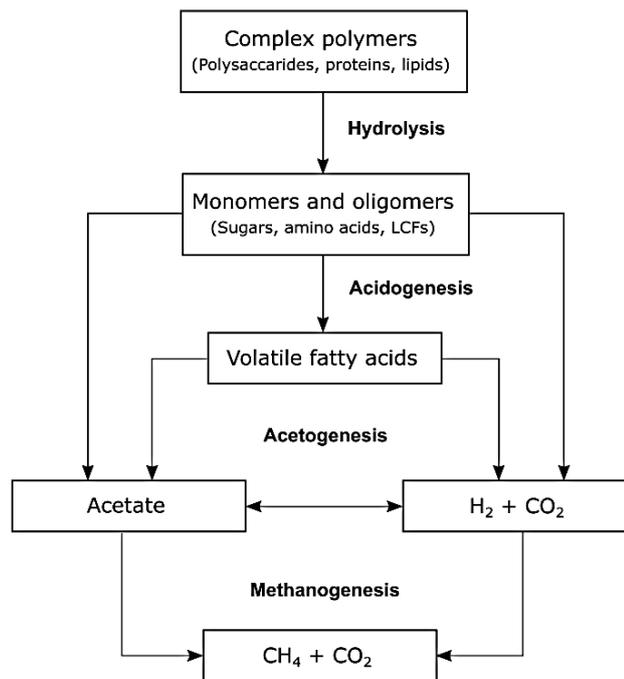
2.16 FASES PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La digestión anaeróbica es la degradación microbiana de la materia orgánica en ausencia de aceptores de electrones terminales (excepto el dióxido de carbono), lo que da como resultado la formación de biogás. En general, la ruta de degradación comienza con la hidrólisis, seguida de la acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Cada paso de degradación es llevado a cabo por diferentes grupos de microorganismos que dependen en parte unos de otros para la entrega de sustratos y el consumo de productos de degradación. Los primeros pasos, hidrólisis y acidogénesis, los llevan a cabo los microorganismos hidrolizantes y fermentadores. Atacan el sustrato (es decir, polisacáridos, proteínas y lípidos) para producir productos de fermentación como ácidos grasos volátiles (AGV), acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. A menudo se considera que la hidrólisis es el paso limitante de la velocidad en la cadena de degradación de DA (digestión anaeróbica), particularmente para materiales complejos como material lignocelulósico y lodos biológicos. La mayoría de los productos de fermentación se oxidan a acetato, CO_2 e hidrógeno. El paso final es la utilización de acetato y/o H_2 y CO_2 por los metanógenos para formar biogás (CO_2 y CH_4).

Los diferentes grupos microbianos funcionan de manera estrechamente interrelacionada, y si, por ejemplo, los metanógenos no pueden seguir el ritmo del consumo de acetato y la concentración de ácido aumenta en el digestor, el pH (Potencial de Hidrógeno) cae y el proceso puede inhibirse o fallar. Esta situación puede surgir si el proceso está sujeto a una sobrecarga (Tasa de Carga Orgánica OLR demasiado alto) o si los metanógenos son inhibidos por compuestos en el sustrato, y hace que el pH y la concentración de AGV sean parámetros importantes del proceso a monitorear. Otros parámetros importantes del proceso a monitorear son la composición del gas, la producción de metano y la eficiencia de degradación (reducción de VS[sólidos volátiles]) del sistema (Ekstrand, 2019).

Figura 2

Digestión Anaeróbica Fases

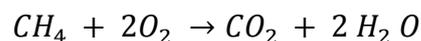


Nota. Distintas fases del proceso de obtención de biogas (Ekstrand, 2019).

2.17 USO DEL BIOGÁS

Principios de la combustión

La combustión es una reacción química en la que se produce un rápido enriquecimiento / oxidación del oxígeno del biogás; la combustión completa se puede expresar mediante la siguiente ecuación química:



El requerimiento mínimo de aire es del 21%, pero este número debe aumentarse para lograr una buena combustión. La relación aire-gas se puede optimizar aumentando la presión del aire y aumentando la apertura de la válvula dosificadora de gas (la apertura del biogás debe ser de 2 a 3 veces mayor que la del metano puro, y la geometría del aire que pasa del exterior debe modificarse).

En cuanto al uso de biogás, la presión varía entre 7 y 20 mbar. Se debe calcular la caída de presión a la salida del caudalímetro (contador de gas), en el caso de caudalímetros flotantes, se debe colocar un contrapeso para medir correctamente (Varnero, 2011).

Tabla 2

Comparativo del Biogás con Otras Fuentes Caloríficas.

| Valores | Biogás | Gas Natural | Gas Propano | Gas Metano | Hidrog. |
|---|--------|-------------|-------------|------------|---------|
| Valor Calorífico (Kwh/m ³) | 7.0 | 10 | 26 | 10 | 3 |
| Densidad (t/m ³) | 1.08 | 0.7 | 2.01 | 0.72 | 0.09 |
| Densidad con respecto al aire | 0.81 | 0.54 | 1.51 | 0.55 | 0.07 |
| Límite de explosión (% de gas en el aire) | 6-12 | 5-15 | 2-10 | 5-15 | 4-80 |
| Temperatura de encendido | 687 | 650 | 470 | 650 | 585 |
| Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s) | 0.31 | 0.39 | 0.42 | 0.47 | 0.43 |
| Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³) | 6.6 | 9.5 | 23.9 | 9.5 | 2.4 |

Nota. Datos (Varnero, 2011).

2.18 IMPACTO BIOGÁS

El biogás reduce la liberación de metano orgánico y CO_2 en la atmósfera, y se puede utilizar para generar electricidad y como biocombustible para vehículos, reemplazando al diésel. Cuando se quema, el biogás transforma el metano en CO_2 y agua, y también se puede utilizar como alternativa al gas natural. Este gas se genera a partir de la descomposición de residuos orgánicos depositados en biodigestores, que tienen al metano (CH_4) como principal componente la biomasa se define como cualquier material que tiene la propiedad de descomponerse por efecto biológico, es decir, por la acción de diferentes tipos de bacterias (Vieira & Polli, 2020).

Las emisiones de contaminantes, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, en la mayoría de los casos son bajas para la biomasa que para el carbón y el diésel; como lo registro el IPCC (2011) en el informe de Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Cerdá, 2012).

2.19 AMÉRICA LATINA

“Según (Olade, 2020), La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) reforzaran sus convenios para que el cambio de matriz energética sea impulsada por las nuevas energías renovables.

En la estrategia a largo plazo de Estados Unidos para abordar la desigualdad social, el acceso a la energía y la seguridad energética; resaltaron que la energía renovable también puede promover el crecimiento en el uso de tecnologías de energía limpia en la industria, la agricultura, la manufactura y el transporte. Para el 2030, las emisiones de carbono de la región se reducirán en un 21% en comparación con el nivel actual, contribuyendo así a la reducción del carbón a nivel global en línea con el Acuerdo de París.

Olade (2020) señaló que la "Declaración de Lima" adoptada en la reunión Ministerial XLIX de OLADE en noviembre de 2019 colocó la sustitución e integración de energía como una prioridad regional, así mismo promovió la producción de energía y creó y revitalizó los mercados regionales de energía, incluida la energía renovable; la declaración reafirma el compromiso de los estados miembros de OLADE para alinear la transición energética con su crecimiento económico y la agenda de desarrollo sostenible antes de 2030 dentro del marco de cambio climático de la ONU, para minimizar los gases de efecto invernadero.

América Latina cuenta con un enorme potencial de energía renovable sin explotar; además, algunos países de la región han desarrollado mercados de energía sólidos, lo que los convierte en destinos atractivos para los desarrolladores de proyectos de energía renovable e inversores que buscan oportunidades, geografía y energías limpias diversificadas. En los últimos años, países como Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, México y Uruguay han aumentado significativamente su capacidad de producción de energía renovable. En 2019, la capacidad instalada total de la región aumentó en unos 12 gigavatios (GW), y el reciente informe de IRENA sobre el "Futuro de la Energía Solar Fotovoltaica" indicó que para el 2050, la capacidad solar instalada de la región podría aumentar en 40 veces.

En septiembre del año pasado, Colombia lideró una iniciativa regional denominada Energías Renovables en América Latina y el Caribe (RELAC), que apunta a incrementar las energías renovables en un 70% para 2030. Diez países se han sumado a la iniciativa y algunas organizaciones han confirmado su apoyo; siendo este movimiento el que proporciona más espacio para la cooperación entre OLADE e IRENA

2.20 MARCO INSTITUCIONAL

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables de la República del Ecuador (MERNNR) fue la su fusión con el ministerio de energía de recursos renovables (MEER) en al año 2018. Es una entidad que opera principalmente en el sector Energía, Eléctrica, Petróleo y Gas encargada de formulación de normativas, políticas sectoriales, planes de desarrollo, uso eficiente de recursos y participación social y protección ambiental (MERNNR, 2018).

2.21 BIOCOMBUSTIBLES EN ECUADOR

El ministro de recursos naturales no renovables, Considerando:

Que el artículo 68 de la Ley de Hidrocarburos señala que el almacenamiento, distribución y venta al público en el país, o una de estas actividades, de los derivados de los hidrocarburos será realizada por PETROECUADOR o por personas naturales o por empresas nacionales o extranjeras, de reconocida competencia en esta materia y legalmente establecidas en el país.

ALCANCE Y DEFINICIONES

Art. 1.- Alcance: este reglamento se aplicará a nivel nacional a la comercialización de mezclas de combustibles líquidos derivados de hidrocarburos con biocombustibles, por parte de personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras.

Para efectos de este reglamento, la comercialización de mezclas de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos con biocombustibles comprende las actividades de importación, exportación, almacenamiento, transporte, distribución y venta.

Art. 2.- Definiciones:

Biocombustibles: Son alcoholes, éteres, ésteres, aceites y otros compuestos producidos a partir de biomasa, como plantas herbáceas, oleaginosas y leñosas, residuos agrícolas y forestales, silvicultura y gran cantidad de residuos industriales, como residuos y productos. (Ministerio de Recursos Naturales no Renovables, 2010).

2.22 MARCO REFERENCIAL

Se describe algunas las distintas plantas a nivel mundial de la producción de biogás, esta es una nueva propuesta al cambio de matriz energética y optar por más energía limpia para el medio ambiente.

PLANTAS DE BIOMASA EN EL MUNDO

Se han venido desarrollando diferentes proyectos con biomasa por medio de la división de Bioenergía de la Agencia Internacional de Energía (AIE); esta a su vez estima que la décima parte de energía primaria del mundo es generada por este tipo de fuentes, incluyendo las energías con biocombustibles líquidos y el biogás; lo que dio nacimiento a las siguientes 10 empresas de biogás más grandes del mundo (Roca, 2016):

IRONBRIDGE. 740 MW. REINO UNIDO

La central eléctrica de biomasa de Ironbridge, ubicada en SevernGorge, Reino Unido, con una capacidad instalada de 740 MW, es una central eléctrica de biomasa pura, que en sus inicios como una planta de generación de energía a partir de carbón y desde 2013 ha sido reconstruida para quemar un pallet de madera para obtener biogás.

ALHOLMENS KRAFT. 265 MW. FINLANDIA

La fábrica de papel AlholmensKraft de 265 MW está ubicada en Alholmen, Jakobstad, Finlandia, en las instalaciones de la fábrica de papel

UPMKymmene. La planta funciona desde enero del 2002, con una capacidad de 100 MW de calor para la industria papelera y 60 MW de calor para la zona residencial más cercana.

TOPPILA. 210 MW. FINLANDIA

En Oulu, Finlandia esta ubicada otra planta de biomasa de Toppila; en donde usan Turba como combustible y tiene disponible una capacidad de 210 MW de potencia eléctrica y 340 MW de potencia térmica; sus instalaciones incluyen dos unidades (75 y 145 MW).

POLANIEC. 205 MW. POLONIA

La planta de biomasa de Polaniec tiene una capacidad instalada de 205 MWU; se encuentra ubicada en el condado de Staszów en el sureste de Polonia, la planta entró en operación comercial en noviembre de 2012 y utiliza principalmente subproductos agrícolas y de madera para operar. Como principal resultado, la planta genera suficiente electricidad para satisfacer las necesidades de 600.000 hogares, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono en 1,2 millones de toneladas por año.

KYMIJÄRVI II. 160 MW. FINLANDIA.

La planta Kymijärvi II de 160 MW en Lahti, Finlandia, es una planta de gasificación que utiliza combustibles sólidos recuperados (CSR), como plástico, papel, cartón y madera. La planta inició operaciones comerciales en mayo de 2012 y está equipada con un gasificador que convierte el combustible de los desechos en gas. La central eléctrica de Kymijärvi II genera 300 GWh de electricidad y 600 GWh de calefacción urbana. La electricidad se transmite a la red nacional a través del enlace de 110 kV de la subestación Kymijärvi.

VAASA. 140 MW. FINLANDIA

La planta de gasificación de biomasa ubicada en Vaasa, Finlandia, con una capacidad instalada de 140 MW, entró en funcionamiento por primera vez en marzo de 2013 tras la finalización de la construcción por parte de VaskiluodonVoimaOy, con una inversión total de 40 millones de euros. Las materias primas para la producción de biogás son: madera, principalmente de

residuos forestales, que se transforma para producir calor y energía. La instalación incluye un gasificador CFB avanzado y la modificación de la caldera de carbón existente de la antigua planta.

WISAPOWER. 140 MW. FINLANDIA

La fábrica de Wisapower está ubicada en Pietarsaari, Ostrobotnia, Finlandia, cerca de las fábricas de papel de UPM. Ha tenido una capacidad de generación de electricidad de 140 MW desde su inicio en 2004. La planta utiliza alcohol negro como combustible principal.

FLORIDA CRYSTALS. 140 MW. ESTADOS UNIDOS

Planta de Biomasa de Cristales de Florida, ubicada en el Estado de Florida (USA); tiene una capacidad instalada de 140 MW. La planta de Florida Crystals utiliza fibra de caña de azúcar (bagazo), así como madera municipal reciclada, para generar electricidad, proporcionando la energía necesaria para procesar la caña de azúcar y generar electricidad para unos 60.000 hogares.

KAUKAANVOIMA. 125 MW. FINLANDIA

La planta de energía de biomasa KaukaanVoima ubicada en Lappeenranta, Finlandia, tiene una capacidad instalada de 125 MW; fue inaugurada en mayo de 2010, el proceso de construcción duró 3 años con una inversión de 240 millones de euros, la planta utiliza madera y turba para producir energía y calentar la zona.

SEINÄJOKI. 125 MW. FINLANDIA

La planta de energía de biomasa de Seinäjoki ubicada en la ciudad de Seinäjoki en el sur de Ostrobotnia, Finlandia, tiene una capacidad instalada de 125 MW; entró en funcionamiento en 1990, produciendo electricidad y calentando el distrito a partir de astillas de madera y turba como combustible principal.

2.23 BIOMASA EN LATINOAMÉRICA

Los combustibles fósiles representaron el 79,9%, la nuclear el 2,2% del consumo mundial de energía en 2018, mientras que las renovables

contribuyeron con el 17,9%. Entre las energías renovables, la energía generada por biomasa supone el 6,9% del consumo mundial (Renewables 2020 Global Status Report, 2020).

Además, las energías renovables representaron 27.3% de la generación mundial de electricidad en 2019, dentro de este grupo, la energía a partir de biomasa registró una participación de 2.2% ese mismo año.

En 2018, se generaron 26730 TWh de electricidad a nivel mundial y las energías renovables con su aprovechamiento del 25,8%, impulsado principalmente por el aumento del uso de energía solar y eólica, así como una contribución significativa de energía hidroeléctrica y biomasa. El sector ha mostrado un crecimiento impresionante con un crecimiento anual tasa de más del 4.8% durante 2000 - 2018, que fue más alta que cualquier otra fuente de energía, incluidos el carbón y el gas. La tasa de crecimiento fue superior a la tasa de crecimiento total del sector eléctrico al 3,1% (World Bioenergy Association, 2020).

BRASIL

Celulose: Esta planta tiene una capacidad de 330 MW y produce electricidad a partir del vapor generado por las calderas de licor negro. Su operador es Klabin, el mayor productor y exportador de papel de Brasil.

Porto das aguas: esta planta opera a partir de bagazo, con una capacidad de 160 MW y es administrada por Cerradinho Bioenergía, empresa del Grupo Cerradinho especializada en la producción de azúcar, etanol y energía.

URUGUAY

UPM La planta, dirigida por la Administración Nacional de Transmisiones y Centrales Eléctricas (UTE), tiene una capacidad de 161 MW para producir energía a partir de residuos forestales.

CHILE

Valdivia La planta de 61 MW es administrada por Arauco Bioenergía, una de las empresas forestales más grandes de América Latina. Arauco planea utilizar los productos de madera de la planta para fabricar celulosa textil.

2.24 BIOGÁS EN EL ECUADOR

PROYECTO DE BIOGÁS PICHACAY

En la provincia de Azuay, el proyecto Picacay se ubica a 21 km de la ciudad de Cuenca y abastece las necesidades energéticas nacionales gracias al sistema de biogás aplicado al relleno sanitario de Picacay, con una capacidad de 2 MW, su construcción ofrece la capacidad para perforar 30 pozos profundos para extraer el biogás y dirigirlo a su sistema de remoción de humedad, que luego transfiere el producto a través de un ducto de polietileno de alta densidad, conectado a dos generadores con una capacidad de 1 MW por motor. A partir de su activación en 2015, el proyecto beneficiará a los residentes locales promoviendo el desarrollo local y contribuyendo a la educación y la salud de la zona (ARCONEL, 2019).

Tabla 3

Empresa Emac Energy

| | |
|-----------------------------|---|
| Empresa | EMAC BGP – ENERGY CEM |
| Contrato tipo | Generador |
| Energía Media Anual | 7.013 MWh-año |
| Subestación | Tipo convencional junto a Casa de máquinas 0,480 kV– 22 kV hacia la EERCS CA. |
| Línea de Transmisión | 22 kV |

Nota. Características central biogás cuenca (ARCONEL, 2019).

La planta cuenta con la capacidad de producir energía para más de 7.300 hogares de Ecuador, e igualmente eliminará 70.000 ton de metano aproximadamente, de la atmosfera; lo que proporcionará electricidad limpia,

reduciendo significativamente las emisiones y la percepción de residuos sólidos. “El impacto ambiental, haciendo una simulación, equivale a sacar de circulación 10.000 vehículos de tamaño medio en un año”. En este punto son generadores, comercializando el suministro eléctrico a \$ 0,11 por kilovatio, lo que ha demostrado que la respuesta de este proyecto es social y económicamente sostenible (El Telegrafo, 2017).

EMGIRS

Desde febrero de 2016, la Ciudad de Quito, a través del Consorcio Público Urbano para la Gestión Total de Residuos Sólidos (EMGIRSEP), viene trabajando con inversiones privadas para construir su primera planta de producción eléctrica a partir de biogás generado a partir de la descomposición de residuos municipales. En la primera fase, con 2MW y en la segunda fase, en marzo de 2017, con 3MW adicionales, para un total de 5MW para abastecer a más de 25.000 hogares. La fábrica está ubicada dentro del relleno sanitario El Inga, ubicado en la calle PifoAmaguaña sobre la vía E35 en la nueva zona industrial, Km 14.5, Quito genera 2,000 toneladas de residuos por día, incluidas 1000 toneladas de materia orgánica por compostaje. produce biogás. Este biogás tiene una composición de 50% metano, provocando más contaminación que el CO₂, la planta ya no emite 26 millones de metros cúbicos de biogás, ni 250.000 toneladas de dióxido de carbono (CO₂). La ciudad no gastó ni un centavo, pero también recibió 500.000 certificados de carbono (compensación ambiental) por la reducción de contaminantes y recibió dos megavatios de calor para uso interno del relleno sanitario. Si la planta no existiera, tal vez 250.000 automóviles nuevos podrían unirse a la flota de la ciudad cada año. (Secretaria del Ambiente, 2017).

3 CAPITULO: METODOLOGÍA

3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAPEL.

El proceso de elaboración de papel dependerá del tipo de materia prima que se está trabajando si es netamente virgen o reciclada, para el caso de estudio es materia prima 100% reciclada dividida en dos tipos, la primera es de residuos recolectados de cartón llamados OCC (Old Corrugated Containers) y el segundo de residuos de empresas corrugadoras llamados DKL (Double Kraft Liner) que sirven para elaboración el papel kraft en la figura a continuación se muestra los distintos materiales y/o tipos.

Figura 3

Residuos DKL



Figura 4

Residuos OCC



Este material es llevado al siguiente proceso donde es mesclado la materia prima ya sea OCC o DKL se los realiza en tanques llamados hidropulper por un tiempo determinado hasta llegar a una disolución homogénea con agua fresca, en este proceso la temperatura oscila de entre 45 a 50 grados centígrados este material tiene que llegar a deshilacharse para pasar al siguiente tratamiento que consta de una serie de limpiadores donde se extrae aún más fibra antes de la formación de la hoja en papel, el agua es medio de transporte de esta fibra a lo larga de todo su proceso de aquí es donde se estima que la empresas papeleras son unas de las empresas que más consumo de agua necesitan durante su fabricación, en la **figura**, siguiente se muestra la salida de aguas residual de los molinos.

Figura 5

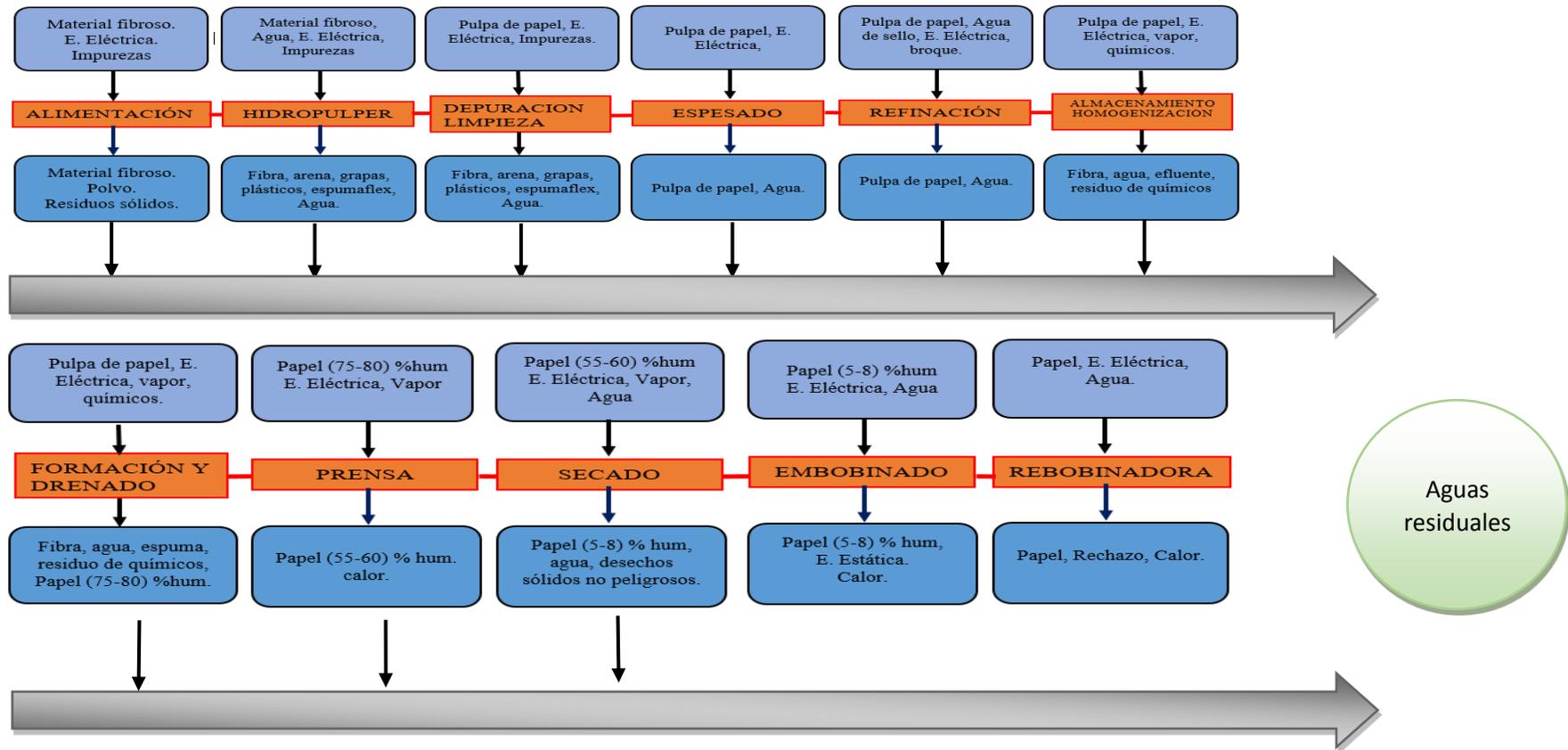
Salida de Agua Residuales de Molinos



3.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAPEL

Figura 6

Diagrama de Flujo Fabricación de Papel



3.3 CONSUMO DE AGUA FRESCA 2020

Los principales consumos de agua fresca de una planta de papel se evidencia los mayores consumos son efectivamente sus unidades de producción por ende las empresas fabricantes de papel tienen un elevado consumo de agua fresca.

Tabla 4

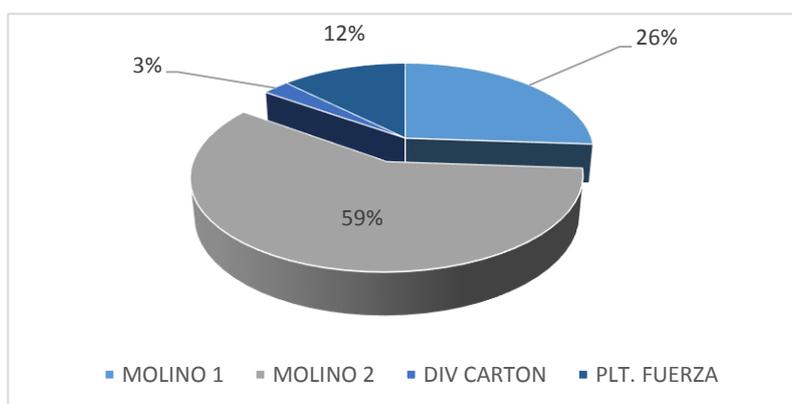
Consumo Agua Fresca Fábrica de Papel

| Agua 2020 (m3) | | | | | |
|----------------|---------------|---------------|--------------|------------------|----------------|
| Mes | Molino 1 | Molino 2 | Div. Cartón | Planta de Fuerza | Total |
| Ene | 24492 | 55908 | 2311 | 20993 | 103703 |
| Feb | 26938 | 51613 | 2018 | 25459 | 106028 |
| Mar | 27129 | 60980 | 2370 | 18972 | 109450 |
| Abril | 26521 | 64675 | 2547 | 16623 | 110366 |
| May | 28107 | 62451 | 2242 | 11938 | 104739 |
| Jun | 26631 | 55026 | 2525 | 8284 | 92466 |
| Jul | 21246 | 50458 | 2690 | 5380 | 79774 |
| Agos | 16386 | 42821 | 2854 | 3499 | 65559 |
| Sept | 20284 | 52932 | 2575 | 5075 | 80867 |
| Oct | 27876 | 63823 | 2955 | 10515 | 105169 |
| Nov | 27008 | 58491 | 2961 | 7605 | 96065 |
| Dic | 27638 | 56727 | 2883 | 9428 | 96675 |
| Total | 300255 | 675905 | 30930 | 143771 | 1150861 |
| % | 26,09 | 58,73 | 2,69 | 12,49 | 100 |

Nota. Elaboración propia (Alexander Mero, 2021).

Figura 7

Porcentaje por Unidad de Producción



Nota. Elaboración Propia (Alexander Mero, 2021).

Tabla 5

Promedio, Máximo, Mínimo Consumo de Agua

| Agua 2020 | | | | |
|-----------|----------|----------|-------------|------------------|
| Promedio | Molino 1 | Molino 2 | Div. Cartón | Planta de Fuerza |
| Anual | 25021 | 56325 | 2578 | 11981 |
| Máximo | 28107 | 64675 | 2961 | 25459 |
| Mínimo | 16386 | 42821 | 2018 | 3499 |

Nota. Eleboracion propia (Alexander Mero, 2021).

3.4 AGUA RESIDUAL A LOS MOLINOS

El agua residual es llevada por medio de canales de molino # 1 y molino # 2 hacia una central la cual por medio de elementos ya sean mecánicos o electromecánicos sacan desperdicios de mayor magnitud así se tienen los elementos siguientes:

- Sacabasura estos elementos terminan sacando los sólidos de mayor tamaño antes de iniciar su proceso primario, posteriormente
- Tornillo separador de solidos gruesos
- Filtro brush que atrapa los sólidos finos
- Sedimentadores de arena
- Pozo de decantación de lodos
- Clarificador krofta SPC 27, se inicia el procedimiento de tratamiento primario aquí se reducen los sólidos suspendidos
- Reactor anaeróbico
- Lagunas de oxidación.

Representa la forma de como un elemento eléctrico mecánico separa los materiales de mayor tamaño y los deposita en una plataforma para ser trasportados y darles disposición final.

Figura 8

Sacabasura Solidos Grueso Primera Etapa



El material ya separado de elementos contaminantes de mayor tamaño continua su recorrido por el siguiente sistema que consta de un tornillo ascendente con desplazamiento positivo conectado a un motor el cual separa de partículas de menor tamaño que el anterior proceso no se logró dividir del agua y residuos, esta maquinaria es el más antigua utilizado en las plantas de papel en disgregar solidos como se aprecia en la figura.

Figura 9

Separador de Solidos Tipo Tornillo



El agua residual con algunas partículas de menor tamaño el cual se los separa con un filtro cepillo rotativo como en la figura. La misma gira en dirección a las manillas del reloj y las aspás recogen el material residual y lo coloca en un recipiente para su posterior recolección.

Figura 10

Filtro Cepillo



3.5 PROCESOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las empresas papeleras constan de dos fases en la obtención de papel, en el caso de estudio cuenta con 2 unidades de producción Molino #1 y Molino #2 con un total de consumo de agua de $3200 \frac{m^3}{dia}$, su promedio de porcentaje de utilización este alrededor del 28.2 % y 61.1 % respectivamente.

El efluente continuó su proceso de la elaboración de papel y sus salidas están conectadas a una fuente de tratamiento primario el clarificador Krofta SPC 27 **Figura** por burbujas de aire, con una efectividad promedio del 94% en la remoción de solidos suspendidos posteriormente será llevados los contaminantes al reactor anaeróbico y finalmente a las lagunas de oxidación

que se encuentran ubicadas a una distancia aproximada de 1500m desde la planta.

Figura 11

Clarificador Krofta SPC 27

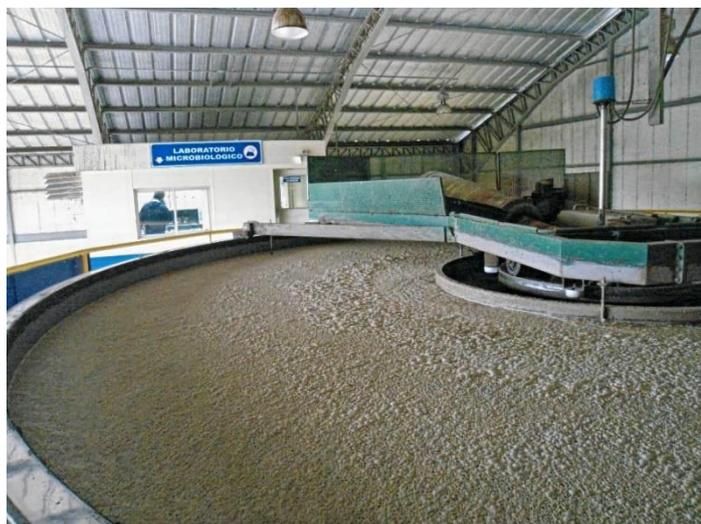


3.6 CLARIFICADOR KROFTA SPC 27

El inicio del tratamiento primario donde ingresa el agua a tratar en un tanque en el cual se produce una combinación con mezclas de químicos: coagulante y floculantes los mismos que por su composición químico hacen precipitar a los sólidos suspendidos al fondo donde por medio de este tanque cónico se los purga, este mismo tiene una capacidad de 1100 gpm.

Figura 12

Tanque Separador de Sólidos



Los sólidos separados del clarificador krofta SPC 27 son trasportados al tanque de lodo y llevados por medio de rodillos al prensado donde se extrae la mayor cantidad de humedad hasta un secado optimo y este material producto de los sólidos suspendidos del tratamiento primario lo puede utilizar como abono fertilizante o relleno sanitario.

Figura 13

Formación de Lodos



3.7 AGUA EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO (KROFTA SPC 27)

Los datos de los promedios mensuales de las entradas de agua residual son en m^3 , para iniciar su tratamiento primario en el área del clarificador KROFTA SPC 27 para disminuir los sólidos suspendidos.

Tabla 6

Entrada de Agua Residual al Clarificador

| Generación Agua Residual | | | | |
|--------------------------|------------|-------------|----------------------|---------------------|
| Mes | Molino 1 | Molino 2 | Ingreso Clarificador | Salida Clarificador |
| | m^3/dia | m^3/dia | m^3/dia | m^3/dia |
| Enero | 762 | 1665 | 3822 | 2075 |
| Febrero | 857 | 1600 | 4533 | 2251 |
| Marzo | 740 | 1768 | 3994 | 2545 |
| Abril | 722 | 1938 | 4165 | 2736 |
| Mayo | 669 | 1806 | 4381 | 2423 |
| Junio | 643 | 1793 | 4259 | 2458 |
| Julio | 718 | 1596 | 3968 | 2166 |
| Agosto | 694 | 1212 | 4401 | 2026 |
| Septiembre | 705 | 1597 | 4366 | 2296 |
| Octubre | 733 | 1850 | 4792 | 2641 |
| Noviembre | 687 | 1748 | 4920 | 2421 |
| Diciembre | 674 | 1645 | 4565 | 2193 |
| Promedio | 717 | 1685 | 4347 | 2352 |

Nota: Entrada y salida agua residual clarificador elaboracion propia (Alexander Mero, 2021).

El agua que ingresa al clarificador sufre una transformación físico químico en el cual se retiran los de solidos suspendidos (SS) que ingresan al clarificador con un valor promedio anual de $558 \frac{mg}{l}$ que se eliminan hasta un valor del $28 \frac{mg}{l}$ al final del tratamiento, con una eficiencia del procedimiento en un 94.8% los datos son mostrados de la siguiente manera.

Tabla 7

Solidos Suspendidos

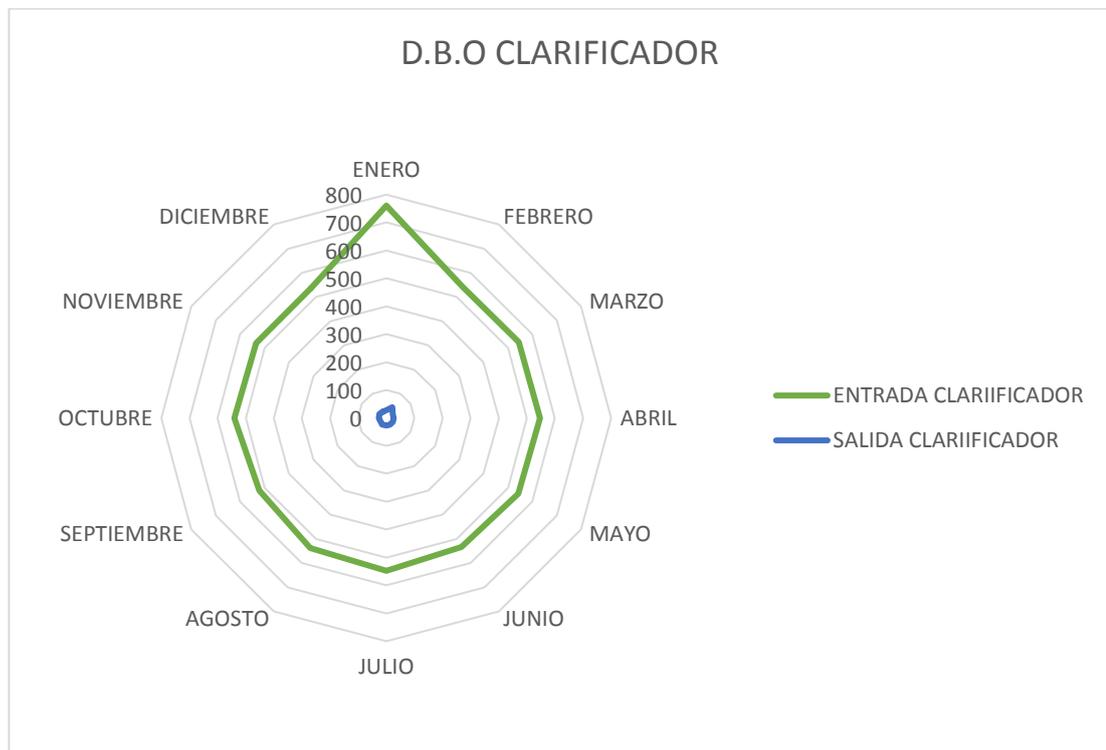
| SS (mg/l) | | |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Mes | Ingreso al clarificador | Salida del clarificador |
| Enero | 761 | 28 |
| Febrero | 543 | 44 |
| Marzo | 545 | 27 |
| Abril | 547 | 26 |
| Mayo | 542 | 27 |
| Junio | 533 | 28 |
| Julio | 548 | 27 |
| Agosto | 539 | 28 |
| Septiembre | 522 | 24 |
| Octubre | 540 | 27 |
| Noviembre | 535 | 28 |
| Diciembre | 536 | 26 |
| Promedio | 558 | 28 |

Nota: Datos de entrada y salida de solidos suspendidos (SS) en el clarificador en **mg/l** (Alexander Mero, 2021).

Los sólidos suspendidos en el agua mediante este procedimiento primario en el clarificador es el principal paso para la eliminación de los sólidos suspendidos y así las partículas que llegan al agua son precipitadas al fondo y evacuadas en forma de lodos el mismo que se lo prensa por medios de elementos mecánicos para poder adsorber la mayor cantidad de humedad y así poder utilizarlo como relleno sanitario natural.

Figura 14

Disminución de los Sólidos Suspendedos



Nota. Elaboracion Propia (Alexander Mero, 2021).

3.8 ANÁLISIS DEL D.Q.O Y D.B.O EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

3.9 CLARIFICADOR KROFTA SPC 27

Dentro del tratamiento primario uno de los datos de entrada importantes son la cantidad de D.Q.O Y D.B.O para saber el estado del agua residual obtenido de las fuentes de producción que son molino # 1 y Molino # 2 en el proceso de elaboración de papel, ingresa al clarificador luego se hace una medición de parámetros en el laboratorio para determinar la medida de entrada y salida en $\frac{mg}{l} O_2$ (miligramo de oxígeno por cada litro de agua) este proceso se repite durante todos los días y se los hace 2 veces.

Tabla 8

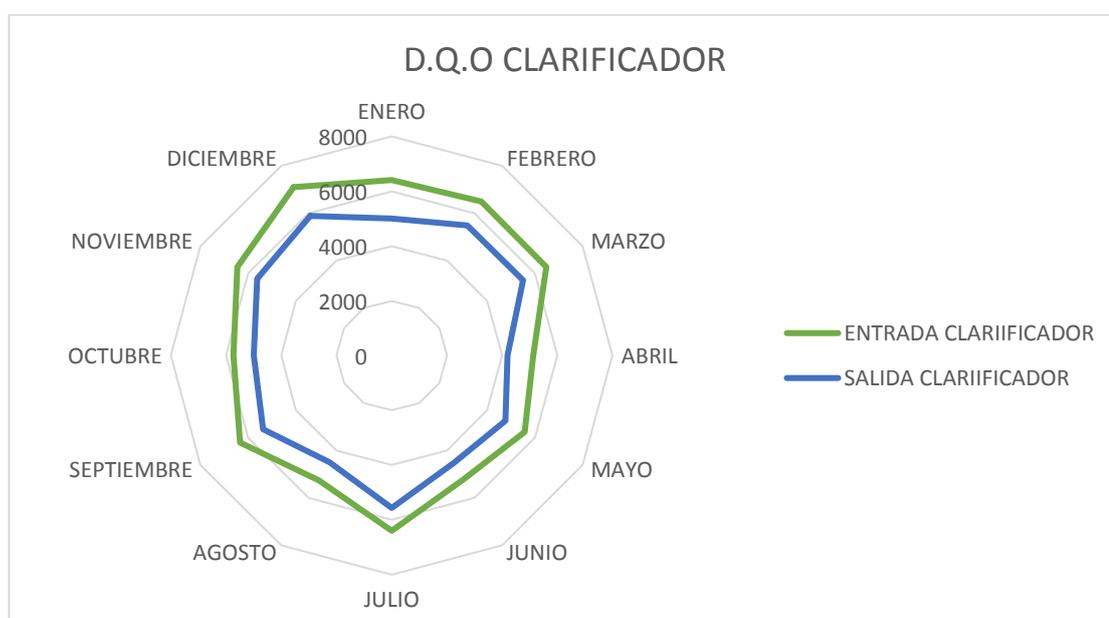
Dbo y Dqo en Clarificador

| Mes | D.Q.O | | D.B.O | |
|------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | Entrada Clarificador (mgO2/l) | Salida Clarificador (mgO2/l) | Entrada Clarificador (mgO2/l) | Salida Clarificador (mgO2/l) |
| Enero | 6407 | 4998 | 2585 | 1937 |
| Febrero | 6498 | 5494 | 2443 | 2018 |
| Marzo | 6471 | 5500 | 2981 | 2462 |
| Abril | 5135 | 4197 | 2139 | 1776 |
| Mayo | 5572 | 4756 | 2236 | 1912 |
| Junio | 5215 | 4514 | 2162 | 1843 |
| Julio | 6397 | 5562 | 2695 | 2314 |
| Agosto | 5265 | 4507 | 2124 | 1533 |
| Septiembre | 6346 | 5371 | 3137 | 1885 |
| Octubre | 5733 | 4996 | 2380 | 1986 |
| Noviembre | 6451 | 5618 | 2665 | 2153 |
| Diciembre | 7091 | 5887 | 2937 | 1985 |

Nota: Datos de reduccion de DBO y DQO en el clarificador medida en $\frac{mg}{l} O_2$, elaboracion propia (Alexander Mero, 2021)

Figura 15

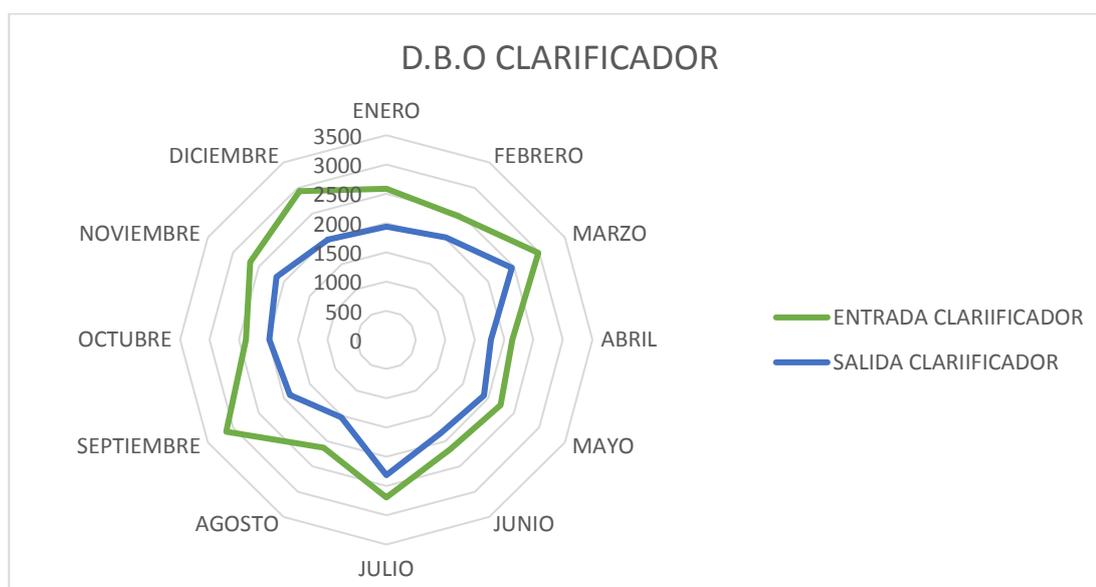
Disminución del D.Q.O en el Clarificador



Nota: Elaboración Propia (Alexander Mero, 2021)

Figura 16

Disminución del D.B.O en el Clarificador



Nota: Elaboración Propia (Alexander Mero, 2021)

Verificando lo datos obtenidos en la siguiente tabla demuestra La cantidad de disminución del D.Q.O Y D.B.O en un porcentaje del 17% Y 24% respectivamente este proceso de aguas residuales es efectivamente eficiente.

Tabla 9

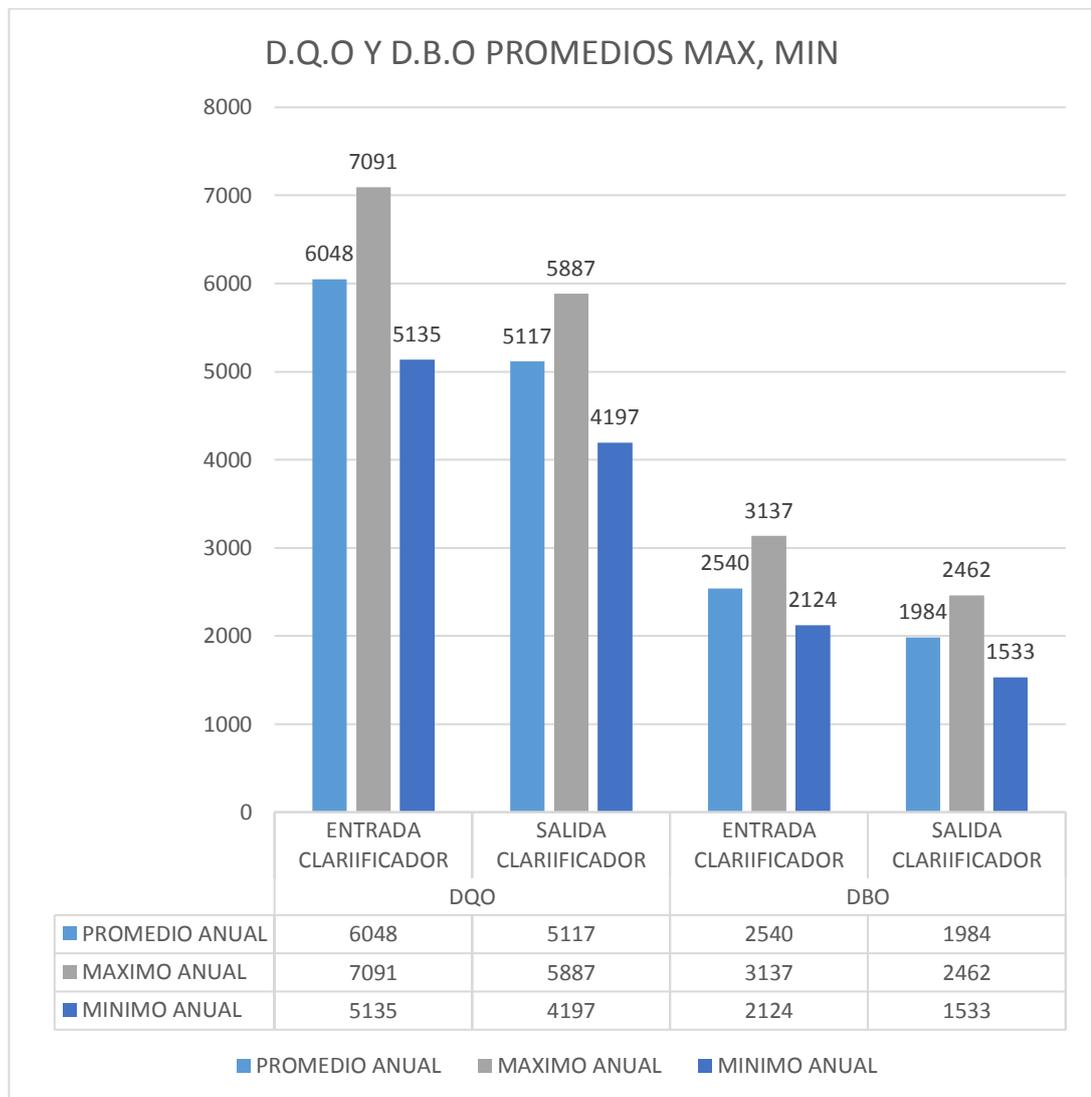
Promedio, Maximo, Minimo de Dbo y Dqo Entrada y Salida en el Clarificador

| | DQO | | | DBO | | |
|-------------|---|--|-------|---|--|-------|
| | Entrada Clarifica (mgO ₂ /l) | Salida Clarifica (mgO ₂ /l) | % | Entrada Clarifica (mgO ₂ /l) | Salida Clarifica (mgO ₂ /l) | % |
| PROM. ANUAL | 6048,24 | 5116,56 | 15,40 | 2540,22 | 1983,54 | 21,91 |
| MAX. ANUAL | 7090,97 | 5886,50 | 16,99 | 3137,00 | 2461,75 | 21,53 |
| MIN. ANUAL | 5134,74 | 4196,84 | 18,27 | 2124,00 | 1533,00 | 27,82 |

Nota: Datos anuales D.Q.O y D.B.O (mgO₂/l) (Alexander Mero, 2021).

Figura 17

Diferencia D.Q.O Y D.B.O Clarificador



Nota: Elaboración Propia (Alexander Mero, 2021)

3.10 D.Q.O y D.B.O EN EL REACTOR.

La entrada de agua residual siguiendo el tratamiento de la misma en el clarificador krofta de las unidades de producción la tabla a continuación muestra los valores de D.Q.O y D.B.O durante el año 2020 en la entrada y salida del reactor en $\frac{mg}{l} O_2$.

Tabla 10

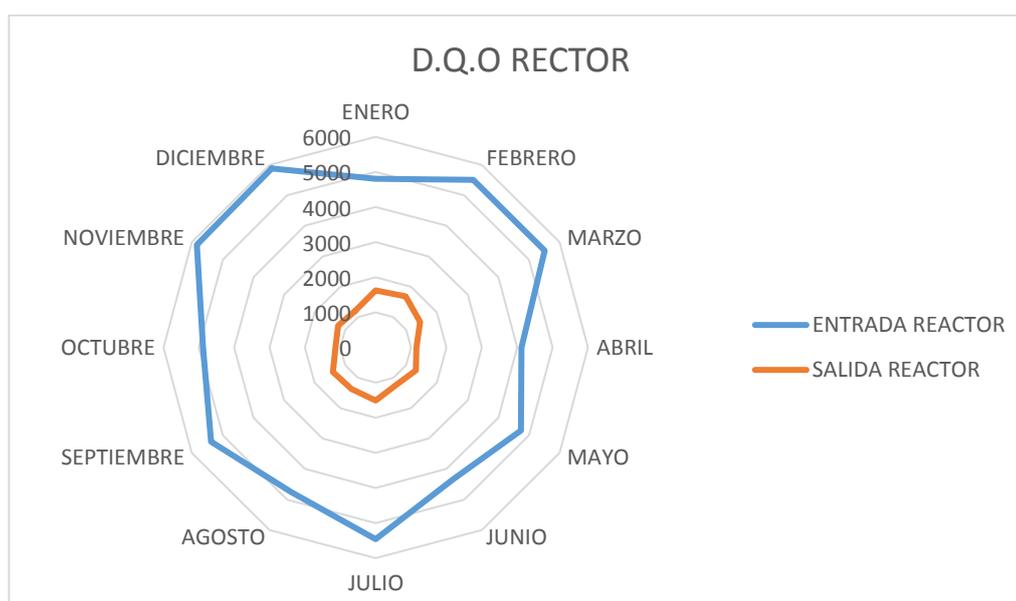
Dqo y Dbo en el Reactor

| | D.Q.O Reactor | | D.B.O Reactor | |
|------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | Entrada Reactor (mgO ₂ /l) | Salida Reactor (mgO ₂ /l) | Entrada Reactor (mgO ₂ /l) | Salida Reactor (mgO ₂ /l) |
| Enero | 4807 | 1625 | 1916 | 607 |
| Febrero | 5515 | 1686 | 2157 | 587 |
| Marzo | 5516 | 1449 | 2430 | 606 |
| Abril | 4120 | 1150 | 1697 | 446 |
| Mayo | 4739 | 1314 | 1858 | 512 |
| Junio | 4351 | 1218 | 1821 | 500 |
| Julio | 5461 | 1512 | 2272 | 608 |
| Agosto | 4768 | 1363 | 1997 | 441 |
| Septiembre | 5371 | 1398 | 2443 | 562 |
| Octubre | 4889 | 1145 | 2002 | 458 |
| Noviembre | 5841 | 1230 | 2299 | 480 |
| Diciembre | 5887 | 1186 | 2519 | 489 |

Nota. Entrada y salida D.Q.O y D.B.O Reactor (mgO₂/l) (Alexander Mero, 2021).

Figura 18

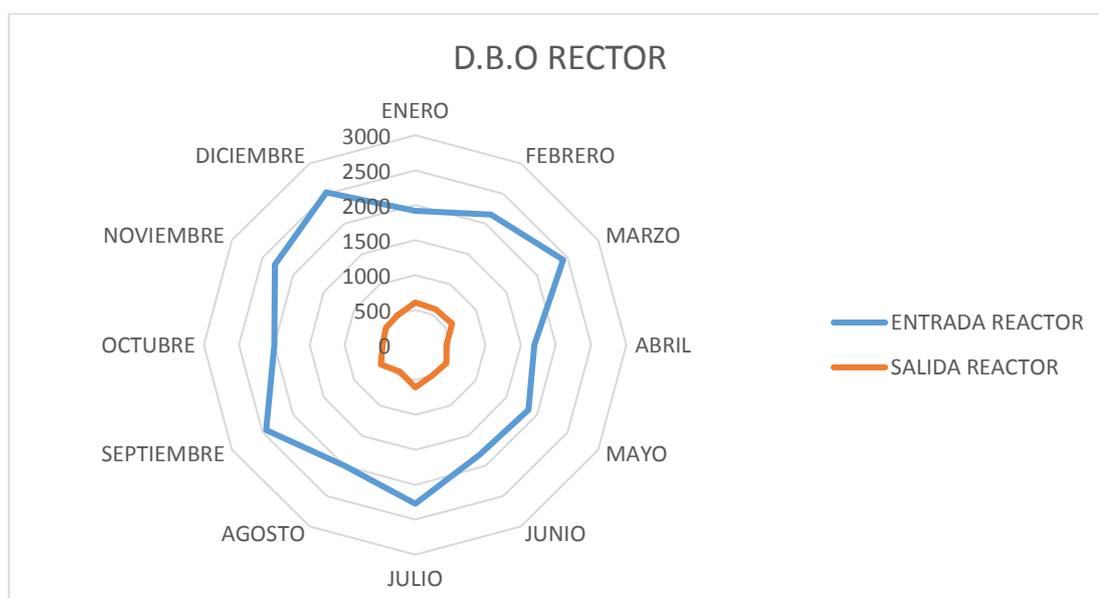
D.Q.O Entrada y Salida Reactor



Nota: Elaboración Propia (Alexander Mero, 2021)

Figura 19

D.B.O entrada y salida Reactor



Nota: Elaboración Propia (Alexander Mero, 2021)

Los resultados promedios obtenidos en el reactor durante el año 2020 muestran una reducción del 72% de D.Q.O, y una reducción de D.B.O de un 75%.

Tabla 1

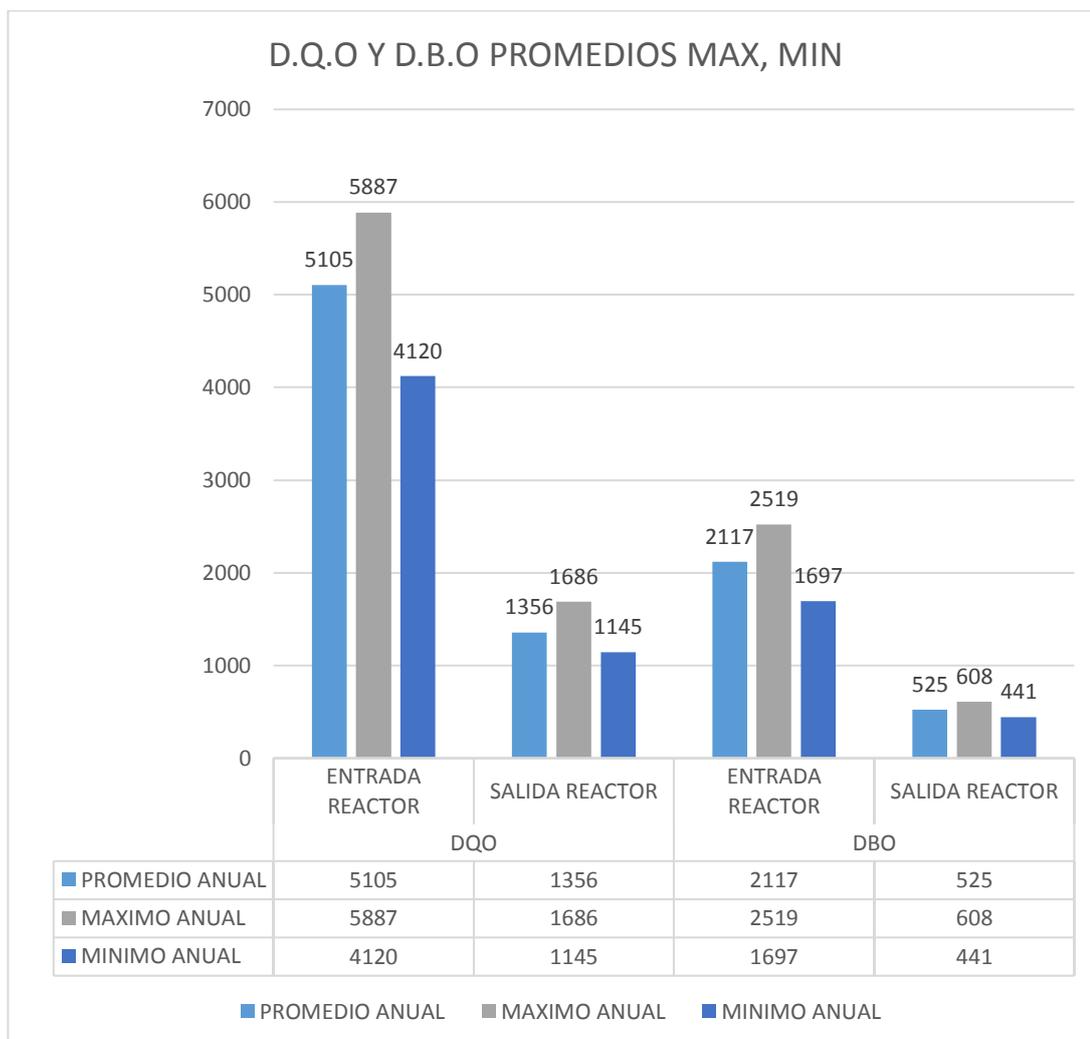
Promedio, Máximo, Mínimo de Dbo y Dqo Entrada y Salida en el Reactor

| | D.Q.O | | | D.B.O | | |
|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------|---------------------------------------|--------------------------------------|------|
| | Entrada Reactor (mgO ₂ /l) | Salida Reactor (mgO ₂ /l) | % | Entrada Reactor (mgO ₂ /l) | Salida Reactor (mgO ₂ /l) | % |
| PROMEDIO ANUAL | 5105 | 1356 | 73,4 | 2117 | 525 | 75,2 |
| MÁXIMO ANUAL | 5887 | 1686 | 71,4 | 2519 | 608 | 75,9 |
| MÍNIMO ANUAL | 4120 | 1145 | 72,2 | 1697 | 441 | 74,0 |

Nota. Datos D.Q.O y D.B.O reactor (mgO₂/l) (Alexander Mero, 2021).

Figura 20

Diferencia D.Q.O Y D.B.O Reactor



Nota: Elaboración Propia (Alexander Mero, 2021)

3.11 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

3.12 LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

El tiempo que las lagunas tienen que estar para ser eficiente oscila de los 4 días como mínimo a 8 días como máximo, con un resultado promedio menor a $200 \frac{mg}{l}$, este proceso aeróbico se les añade bacterias para degradar la materia orgánica las mismas a las cuales se les induce oxígeno o aire de manera natural o artificialmente (blower).

El agua residual que ingresa a estas lagunas de oxidación como parte del tratamiento secundario se presenta de la siguiente figura.

Figura 21

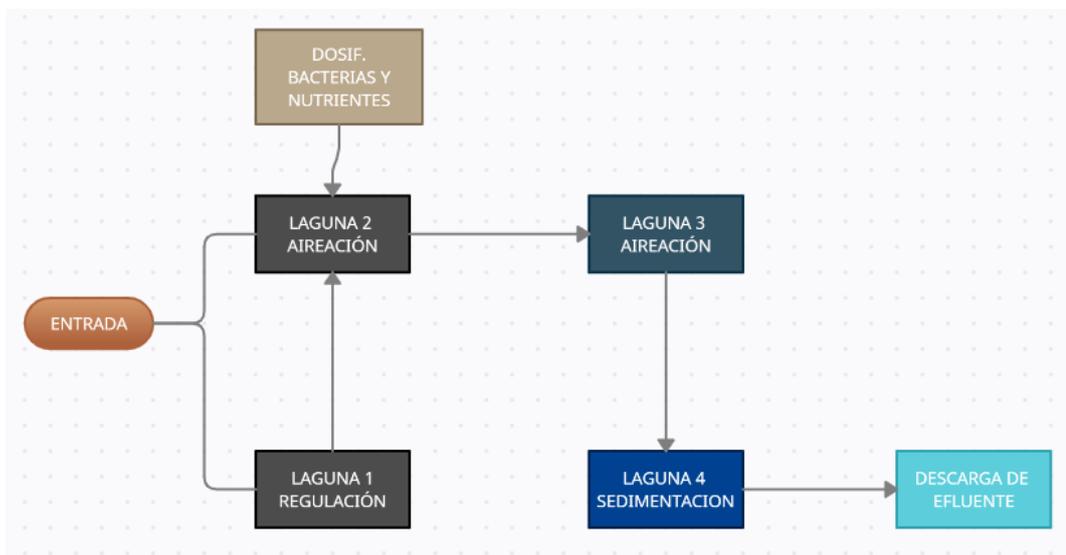
Muestra de Agua Residual



Diagrama de flujo de la distribución de las lagunas de oxidación en un tratamiento de aguas residuales de una fábrica de papel Figura.

Figura 22

Tratamiento Secundario Lagunas de Oxidación



3.13 LAGUNAS DE OXIDACIÓN DE PLANTA.

Figura 23

Área de Lagunas de Oxidación



Entrada de agua residual



Laguna # 1



Laguna # 2



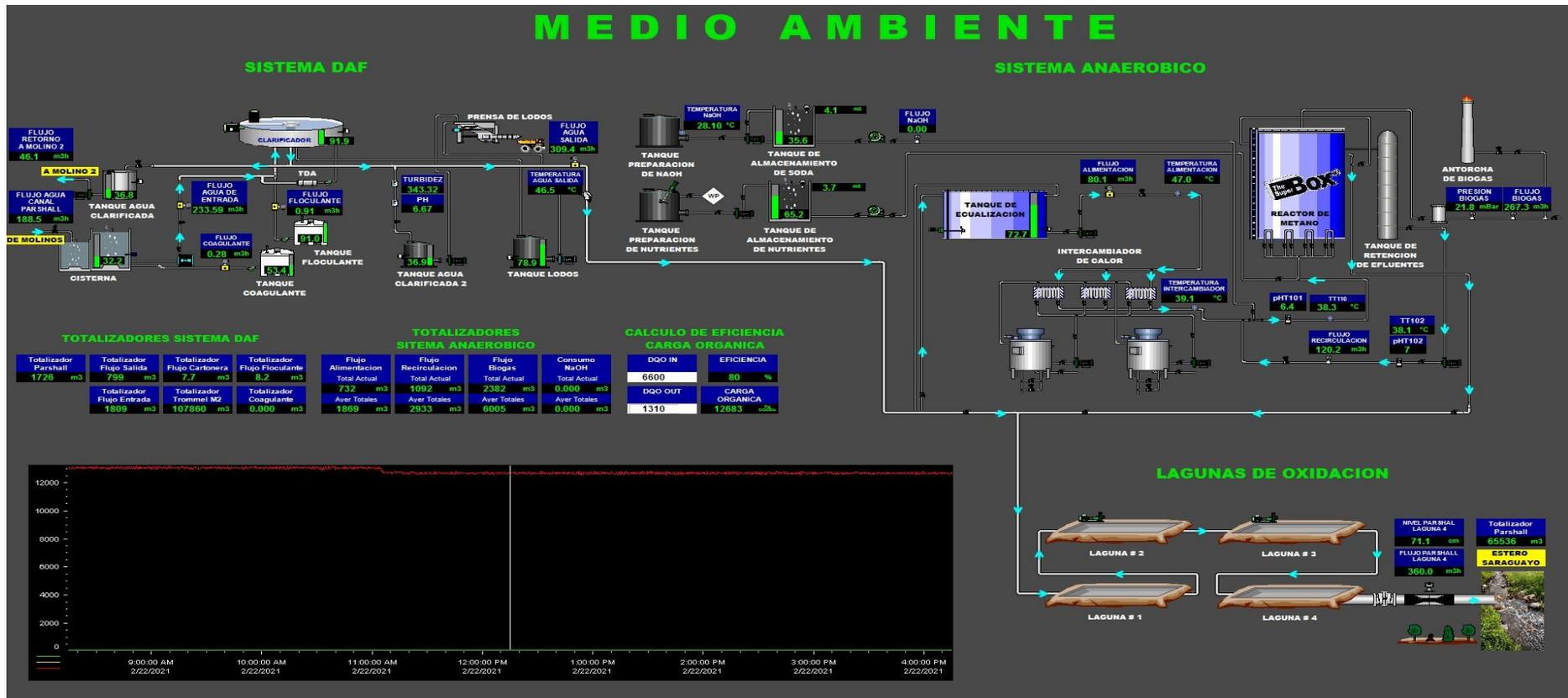
Laguna # 3



3.14 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE BIOGÁS

Figura 24

Tratamiento de Agua Residual

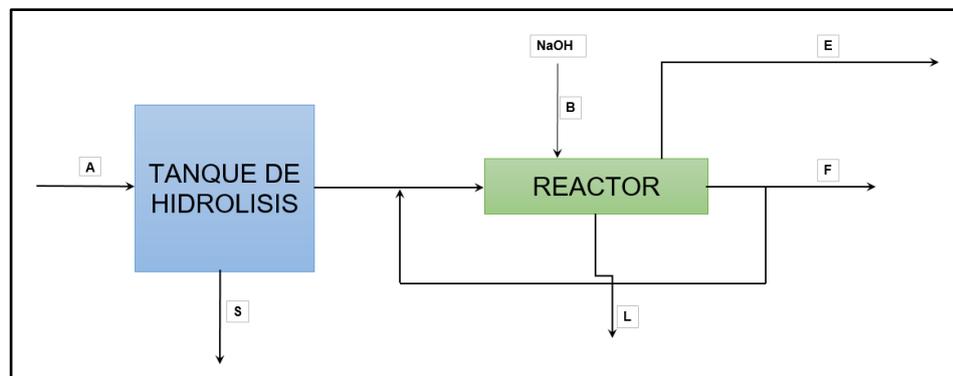


3.15 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS.

Para realizar un balance de masa y energía en la figura. Correspondiente se utilizarán los datos de caudales de agua en (m^3/h) y la demanda química de oxígeno tomada en su gran parte del tratamiento primario en una planta o área, que comúnmente lo maneja medio ambiente con esta información recolectada en este estudio del año 2020 de enero a diciembre se realizó las tablas correspondientes promedios de todos los datos obtenidos más los máximos y mínimos.

Figura 25

Balance de Materia y Energía Reactor



3.16 CALCULO DE MASA ENERGÍA

Cálculo correspondiente al análisis masa vs energía en la entrada del reactor de una manera muy referencial:

Datos:

A.- Entrada de agua del $80m^3$, con un D.Q.O promedio de entrada de $6048 \frac{mg}{l}$.

B.- porcentaje de concentración del NaOH (hidróxido de sodio) es en un promedio del 30%

E.- la cantidad promedio de generación de biogás en la central del reactor es un $200m^3$, con una densidad de $1,2 kg/m^3$.

F.- Entrada de agua del $78.45m^3$, con un D.Q.O promedio de salida de $182\frac{mg}{l}$.

- Eficiencia de Remoción de D.Q.O del Sistema

$$Ef = \frac{DQO_e - DQO_s}{DQO_e}$$

$$Ef = \frac{6048mg/l - 182mg/l}{6048 mg/l}$$

$$Ef = 96.98 \%$$

- Balance de masa total

$$A + B = E + F + L + S$$

- Cálculo de B.

Para el cálculo en este punto se tomará en cuenta que el porcentaje de concentración del NaOH es en un promedio del 30%

NaOH (Soda caustica)

1800 kg/mes A un porcentaje del 30%

$$\frac{1800kgNaOH}{mes} * \frac{100kg Solucion}{30kgNaOH} * \frac{1mes}{720h} * 1h$$

$$MB = 8.33 \text{ Kg}$$

- Cálculo de A

Entrada de agua = $80 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\frac{80 \text{ m}^3}{\text{h}} * \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1 \text{ h}$$

$$MA = 80 \text{ Kg}$$

- Cálculo de F

Entrada de agua = $78.45 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\frac{78.45}{\text{h}} * \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1 \text{ h}$$

$$MF = 78.45 \text{ Kg}$$

- Cálculo de E

Para el cálculo en este punto se deberá considerar que la cantidad promedio de generación de biogás en el reactor es un 200 m^3 , con una densidad de $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$.

$$m = \partial Q$$

$$m = \frac{1,2 \text{ kg}}{\text{m}^3} * \frac{200 \text{ m}^3}{\text{h}} * 1 \text{ h}$$

$$ME = 240 \text{ Kg}$$

- Cálculo L+S

$$A + B = E + F + L + S$$

$$A + B - E - F = L + S$$

$$L + S = 230.12 \text{ kg}$$

3.17 CALCULO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS TEÓRICO

$$P_{Biogas} = 0.35 * ef * Q_{alim} * DQO_{entrada}$$

Producción de biogás.

- $P_{Biogas} = V_{CH_4}$ = Volumen de metano producido a condiciones estándar (0 °C y 1 atm).
- 0.35 = Factor de conversión teórico para la cantidad de metano producido.
- Q_{alim} = flujo o caudal
- $DQO_{entrada}$ = Demanda química de oxígeno entrada mg/l.

$$P_{Biogas} = 0.35 * 0.09699 * 80 * DQO_{entrada}$$

$$P_{Biogas} = 0.35 * 0.9699 * \frac{80 \text{ m}^3}{h} * 6.048 \frac{kg}{\text{m}^3}$$

$$P_{Biogas} = 164.24 \frac{\text{m}^3 \text{ biogas}}{h}$$

3.18 FACTOR DE RECUPERACIÓN O EFICIENCIA

La planta de generación de biogás opera a un promedio diario de $200 \text{ m}^3/h$.

$$F. recuperacion = \frac{P_{bio.real}}{P_{bio.teor}}$$

$$F. recuperacion = 1.21$$

3.19 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS ANUAL

Para el cálculo correspondiente se ha estimado 312 días en el transcurso del año con una producción promedio, en las que consta de turnos rotativos durante todo este periodo trabajando 24/7.

Datos:

312 días= 7488 horas

Se tiene el dato del biogás:

$$\frac{200m^3}{h} * 7488h$$

$$\frac{m^3 biogas}{anual} = 1497600$$

Poder calorífico y energía entregada por el biogás

$$\rho_{biogas} = 1.2 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho_{biogas} = 1.2 \frac{Kg}{m^3} * \frac{2.2 lb}{1 kg} * \frac{1 m^3}{35.3147 pie^3}$$

$$\rho_{biogas} = 0.074 \frac{lb}{pie^3}$$

$$PC = 5200 kcal/kg$$

$$PC = 5200 \frac{kcal}{kg} * \frac{1Btu}{0.252 Kcal} * \frac{1 kg}{2.2lb}$$

$$PC = 9379.50 \frac{Btu}{lb}$$

Trasformación de unidades de energía

$$9379.50 \frac{Btu}{lb} * 0.074 \frac{lb}{pie^3} = 701.17 \frac{Btu}{pie^3}$$

$$701.17 \frac{Btu}{pie^3} * \frac{1 kcal}{3.968 Btu} * \frac{35.3147 pie^3}{1 m^3} * \frac{(4.1868 \times 10^{-3}) MJ}{1 kcal}$$

$$E = 26.12 \frac{MJ}{m^3}$$

3.20 ESTIMACIÓN TEÓRICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Con los datos obtenidos con anterioridad se puede estimar la generación de energía eléctrica en base a su poder calorífico vs energía, mediante un generador de combustión a biogás.

Datos:

Caudal de biogás promedio

$$Q = \frac{200 m^3}{h}$$

Transformando a pie cúbico por hora se tiene

$$Q = \frac{200 m^3}{h} * \frac{35.3147 pie^3}{m^3}$$

$$Q = 7062.93 \frac{pie^3}{h}$$

Cálculo de contenido energético

$$7062.93 \frac{pie^3}{h} * 701.17 \frac{Btu}{pie^3} = 4,952,376.04 \frac{Btu}{h}$$

Potencia entregada por el biogás (teórica)

$$4,952,376.04 \frac{Btu}{h} * \frac{1055.06 J}{1 Btu} * \frac{1 h}{3600 seg} * \frac{1 W}{1 \left(\frac{J}{s}\right)} * \frac{1 kW}{1000 W}$$

$$Q = 1451.40 kW$$

Este resultado se deberá tomar en cuenta en escoger el equipo que será adecuado para la generación de electricidad y satisfacer las necesidades de

esta planta, adicionalmente con el dato de la energía entregada calculada con anterioridad,

$$E = 26.12 \frac{MJ}{m^3}$$

3.21 ENERGÍA CALORÍFICA

La empresa cuenta con 2 unidades de generación de vapor Cleaver Brooks, con códigos de fabricación CBLE 500, CBLE 400 para satisfacer la demanda de vapor interna de la unidad de producción # 3.

$$1BHP(Boiler Horse Potency) = 8.436 \text{ kCal/h} = 34,5 \text{ lbvapor/h}$$

Energía calorífica que entrega en biogás.

$$4,952,376.04 \frac{Btu}{h} * \frac{0.252kcal}{1Btu} * \frac{1BHP}{8.436 \left(\frac{kcal}{h}\right)} = 147.937 \text{ BHP}$$

3.22 ESTIMACIÓN DE VAPOR

$$147.937 \text{ BHP} * \frac{34.5 \frac{lbvapor}{h}}{1BHP} = 5103.83 \frac{lb}{h}$$

Generación de vapor en sala de calderas.

La sala de calderas en la unidad de producción # 3 donde se va a determinar el proyecto dentro de la industria, es objeto de estudio, es la que receipta los parámetros de energía, vapor generación de aire comprimido, químicos etc., el presente análisis está destinado al estudio de factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel, es necesario conocer los datos teóricos de la producción de biogás su porcentaje a utilizar y si abastece la necesidad de la unidad de producción.

Sala de calderas.

La planta consta de 2 unidades de generación de vapor cada una funciona escalonadamente cada mes, las unidades son CBLE 500, CBLE 400.

Cada caldera operaba continuamente durante 1 mes los mantenimientos son anuales de los mismos, estas calderas están a una capacidad del 60-80% de generación en la actualidad.

A continuación, se calculará la demanda máxima de cada caldero para tener una referencia en comparación con los resultados obtenidos en la obtención de biogás.

CBLE 500

$$500BHP * \frac{34.5 \left(\frac{lbvapor}{h} \right)}{1BHP} = 17250 lb \frac{vapor}{h}$$

CBLE 400

$$400BHP * \frac{34.5 \left(\frac{lbvapor}{h} \right)}{1BHP} = 13800 lb \frac{vapor}{h}$$

La eficiencia real de cada caldera en cuestión a su generación.

Vapor consumido=11020lb/h

Para la caldera CBLE 500

$$\frac{\left(11020 \left(\frac{lbvapor}{h} \right) * 100 \right)}{17250 \left(\frac{lbvapor}{h} \right)} = 63.88 \%$$

En la caldera CBLE 400

$$\frac{\left(11020 \left(\frac{lbvapor}{h} \right) * 100 \right)}{13800 \left(\frac{lbvapor}{h} \right)} = 79.85 \%$$

4 CAPITULO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE BIOGÁS.

Para este análisis de factibilidad se tomara en cuenta los valores de inversión del proyecto para poder utilizar el biogás como fuente alternativa de energía dentro de una empresa papelera detalles de inversión y el comparativo económico en la sustitución de biogás vs diésel en la área de fuerza calderas, se va determinar el valor del dinero con respecto al tiempo mediante el VAN (valor actual neto) y el TIR (tasa interna de retorno) con el fin de determinar si el proyecto es factible o no económicamente.

4.1 PLANTEAMIENTO ECONÓMICO.

Se estimará el valor de una propuesta económica para la implementación de limpieza de biogás y adaptación de los quemadores en el área de fuerza calderas detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 2

Detalle de Costos de la Implementación Adicional.

| Características De Montaje | | | | | |
|----------------------------|---|----------|----------------|----------------|----------------|
| PROYECTO: | BIOGÁS | | | | |
| ÁREA DE APLICACIÓN: | CALDERAS | | | | |
| FECHA: | 06/03/2021 | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | Cantidad | Unidad | Valor Unitario | VALOR USD |
| 1 | EQUIPO E INSTALACIÓN | | | | |
| | UTILIZACIÓN DE BIOGÁS EN CALDERO | | | | |
| | INSTRUMENTACIÓN, TUBERÍAS, PANEL DE CONTROL, MONTAJE, INSTALACIÓN, OBRA CIVIL | 1 | GLOBAL | 268,054 | 268,054 |
| | CONVERSIÓN A CALDERAS PARA QUEMAR DIÉSEL Y BIOGÁS | 1 | CLEAVER BROOKS | 30,346 | 60,692 |
| | TOTAL | | | 298,400 | 328,746 |

Nota. Detalle de valores totales (Alexander Mero, 2021).

El monto total de la inversión es de \$ 328,746 dólares americanos para esta implementación de la limpieza y preparación de calderos para poder utilizar el biogás como fuente energética.

4.2 BASE ECONÓMICA

En fundamento de este proyecto es poder sustituir al sistema de combustión interna de la caldera que es a base de diésel en un 100% con un costo promedio por galón \$1.34 dólares americanos, teniendo en cuenta que este valor varía en función de Petroecuador y las distribuidoras de combustible con el precio internacional.

El vapor varía en función a costo del combustible, en la tabla se muestra un valor promedio de las 1000 lb de vapor para realizar el análisis económico estimado.

Tabla 13

Detalle de Valor de los 1000 Lb

| Costo (Usd) | | | | | | |
|---------------|----------------------|------------------|-----------|-------------------|-------------------------|----------------|
| Mes | Consumo comb. (gl) | Gen. Vapor (lbs) | Comb. Gal | Vapor (1000 lbs) | Costo total combustible | Costo comb+aux |
| ENERO | 36.867 | 4.241.869 | 1,340 | 17,88 | 49.402 | 75.828 |

El punto importante se dará a conocer que se hace un estimado comparativo del año 2020 para una proyección del 2021 del mismo escenario para tener valores reales de producción en función de generación de vapor y consumo de combustible según la eficiencia de la caldera.

Tabla 14

Costos del Proyecto de Biogás.

| Cálculo Del Beneficio De La Inversión | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------|-----------|
| PROYECTO: | BIOGÁS | | |
| ÁREA DE APLICACIÓN: | CALDERAS | | |
| FECHA: | 26-feb-21 | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | VALOR USD |
| | AÑO 2020 CAMBIO DE COMBUSTIBLE | | |
| 1 | AHORRO PROMEDIO | | |
| | DIÉSEL | | |
| | GENERACIÓN DE VAPOR CARTONERA | | |

| | | |
|--|----------|----------------------|
| AÑO | LBS/AÑO | 50.902.428 |
| PROMEDIO MENSUAL | LBS/MES | 4.241.869 |
| PROMEDIO DÍA | LBS/DÍA | 163.149 |
| PROMEDIO HORA | LBS/HORA | 6.798 |
| COSTOS 1000 LBS DE VAPOR | USD | 17,88 |
| DÍAS DE LABORES ANUAL | | 312 |
| COSTOS EN GENERACIÓN VAPOR ACTUAL POR HORA | USD | 121,55 |
| COSTOS EN GENERACIÓN VAPOR ACTUAL POR DÍA | USD | 2.917 |
| COSTOS ANUAL GENERACIÓN VAPOR | USD | 910.135 |
| <u>TOTAL GENERACIÓN DE BIOGÁS ANUAL</u> | | |
| PRODUCCIÓN DIARIA BIOGÁS REACTOR | M3/DÍA | 5.500,0 |
| FUEL OÍL $V=0,170\text{gln}$ | Gal | 935,0 |
| VAPOR PROYECTADO | LBS/DÍA | 115.005,0 |
| | LBS/MES | 2.990.130,0 |
| | LBS/AÑO | 35.881.560,0 |
| TOTAL AHORRO VAPOR ANUAL | | 15.020.868,5 |
| | | 268.573,1 |
| AHORRO ANUAL COSTOS | USD/AÑO | 268.573 |
| BENEFICIO PRODUCTOR DE BIOGÁS | | 268.573 |
| FACTOR DE UTILIZACIÓN | | 70,49 |
| TOTAL, AHORRO | | \$ 268.573,00 |

Tabla 14. Beneficio de inversión (Alexander Mero, 2021).

Todos los datos obtenidos en esta tabla indican el valor total del ahorro en la sustitución de diésel en el área de calderas en donde este análisis se está desarrollando teniendo un valor de \$268,573 dólares americanos, el valor de producción de biogás es un valor promedio de haber hechos los análisis realizados en función a la investigación de campo durante el año 2020 con un valor de $5500 \frac{m^3}{\text{dia}}$ que en función al consumo de combustible con un estimado según su poder calorífico de valor por cada m^3 se obtiene 0.170 galones de diésel así el resultado según la generación de biogás fue de 935 galones y

para el cálculo se tomó una generación de vapor de $6978 \frac{lb}{h}$ la eficiencia real de la caldera es un valor $123 \frac{Lbvap}{galon}$.

4.3 RENTABILIDAD ECONÓMICA

Para realizar un análisis de rentabilidad económica para este proyecto de inversión es para determinar si al final se obtiene una ganancia por la inversión inicial generando incentivos económicos, sociales y lo principal mejorar el impacto ambiental y transformarse en una industria verde.

En el presente estudio se tomará en cuenta en valor que tiene el dinero con respecto al tiempo VAN (valor actual neto) y el TIR (tasa interna de retorno) las mismas que se utilizar para saber el tiempo en el que se recuperara la inversión y determinara si el proyecto es económicamente rentable.

4.4 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

VAN (Valor Actual Neto o Valor Presente Neto) son términos que proceden de la expresión inglesa Net present value. El acrónimo es NPV en inglés y VAN en español. Es un indicador financiero que mide los flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, queda una ganancia.

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros (ingresos menos egresos). El método, además, descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado (Muñoz, 2010).

- VAN > 0; Genera beneficio
- VAN = 0; No hay beneficio ni pérdidas se pierde a más tiempo
- VAN < 0; Genera pérdidas.

VAN es un indicador de la eficiencia económica de un proyecto, estable una relación entre Flujos, Tasa de rentabilidad e Inversión.

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{FCNi}{(1+r)^i}$$

FCN = Flujo de Caja Neto.

r = Tasa de Descuento o de Costo de Capital del proyecto (incluye el riesgo).

n = Períodos de la Evaluación (*Evaluación de Proyectos Temario*, 2018).

4.5 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Corresponde a la tasa en donde el VAN tiene valor cero y es importante conocer la TIR del proyecto, pues indica cual es la rentabilidad máxima del proyecto.

$$VAN = 0 = \sum_{i=1}^n \frac{Fi}{(1+TIR)^i}$$

4.6 DECISIONES VAN Y TIR

Por lo general la TIR y el VAN se utilizan en conjunto para decidir si el proyecto en análisis es rentable o no económicamente.

- Si el VAN > 0 y TIR > tasa descuento, entonces se acepta el proyecto.
- Si el VAN = 0 y TIR = tasa descuento, entonces se acepta el proyecto.
- Si el VAN < 0 y TIR < tasa descuento, entonces el inversionista no gana lo que desea y no se acepta el proyecto (*Evaluación de Proyectos Temario*, 2018).

Tabla 15

Detalle de Cálculo de la Inversión.

| Análisis De Inversión | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------|---|----------------|----------------------|----------------|
| PROYECTO: | BIOGÁS | | | | | |
| ÁREA | PLANTA DE FUERZA PAPEL | | | | FECHA: | 6/3/2021 |
| | | | | | PRESUPUESTO APROBADO | 250.000 |
| 1 | Datos para el Análisis | | | | | |
| Inversión | 328.746 | Años | | | | |
| | Inversión | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Flujo de Caja Neto | -328.746 | 268.573 | 268.573 | 268.573 | 268.573 | 268.573 |
| Depreciación | 5 Años | -65.749 | -65.749 | -65.749 | -65.749 | -65.749 |
| Utilidad Antes de Impuestos | | 202.824 | 202.824 | 202.824 | 202.824 | 202.824 |
| Impuestos | 22% | -37.928 | -37.928 | -37.928 | -37.928 | -37.928 |
| Utilidades Trabajadores | 15% | -30.424 | -30.424 | -30.424 | -30.424 | -30.424 |
| Utilidad Después de Impuestos | | 134.472 | 134.472 | 134.472 | 134.472 | 134.472 |
| Devolución Depreciación | | 65.749 | 65.749 | 65.749 | 65.749 | 65.749 |
| FLUJO NETO | -328.746 | 200.221 | 200.221 | 200.221 | 200.221 | 200.221 |
| FLUJO NETO VP | -328.746 | 178.769 | 159.615 | 142.514 | 127.244 | 113.611 |
| FLUJO NETO ACUMULADO VP | -328.746 | -149.977 | 9.638 | 152.152 | 279.397 | 393.008 |
| RETORNO MODIFICADO VP | | 1,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | Cálculos del VAN y el TIR | | | | | |
| | Tasa de descuento | 12% | | | | |
| | VAN a cinco Años | \$393.008 | Valor Positivo, Inversión en (principio) Factible | | | |
| | TIR a cinco años | 53,8% | Valor superior a la Tasa, en (principio) Factible | | | |
| 3 | Retorno de la Inversión (años) | | | | | |
| | Valor Presente de FCO | \$178.769 | \$159.615 | \$142.514 | \$127.244 | \$113.611 |
| | Valor Presente Acumulado de FCO | -\$149.977 | \$9.638 | \$152.152 | \$279.397 | \$393.008 |
| | Retorno de Inversión | 1,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Valor de la Inversión | 328.746 | USD | | | |
| | Beneficio Real de la Inversión | 200.221 | USD/año | | | |
| | Retorno | 1,9 | años | | | |

Con relación a los datos obtenidos de la tabla anterior se expone lo siguiente:
El TIR desarrollado en un periodo de 5 años se proyecta al 53.8 % que es la tasa de rentabilidad superior al valor tasa de descuento del 12% por lo tanto se estaría aceptando el proyecto de acuerdo al valor actual neto.

El VAN efectuado en el cálculo proyectado es de \$ 393.008, con este indicador positivo se determina la viabilidad del proyecto y su rentabilidad a través del tiempo

CONCLUSIONES

1. El presente trabajo de estudio muestra como efecto a una empresa ser sustentable con el medio ambiente con el planteamiento de la teoría para llevar a cabo la reutilización o la transformación de agentes contaminantes (agua residual) en una nueva fuente de energía como lo es el biogás, que minimiza el impacto contaminante de una industria, mejora aportes es costos económicos al utilizar como fuente calorífica esta energía, en el campo social comunitario mejorando las emisiones ambientales obteniendo un aire más limpio.
2. Dentro de la revisión literaria se logró evidenciar el comportamiento evolutivo de proyectos enfocados en la obtención de biogás, en Europa es donde esta tecnología se encuentra en gran incremento como es el Reino Unido, Finlandia y Polonia, en América lo hace los EEUU su principal objetivo es la producción de energía eléctrica, no obstante en América latina aún se encuentra en etapa de pre-madurez con proyectos medianos en Brasil, Uruguay y Chile en comparación con los de Europa y EEUU, en lo que respecta a Ecuador, las principales son Pichacay en Cuenca y Emgirs en Quito.
3. Datos obtenidos de tablas en reducción de agentes contaminantes dentro del tratamiento de aguas residuales.
Tratamiento primario (Clarificador)
Disminución de los sólidos suspendidos: El tratamiento de aguas residuales se encuentra con una eficiencia del 94.8% que significa que se logra disminuir de 558 mg/l a 28 mg/l en promedios en el año 2020. D.Q.O Y D.B.O representan una disminución del 17% y 24%
Dentro del reactor Anaeróbico se encuentra valores positivos de reducción del D.Q.O con un 72%, en cambio el D.B.O con un 75% valores anuales promedios dentro del proceso continuo.
4. En el tratamiento secundario que consta con lagunas de oxidación y el agua vertida directamente al efluente con valores < a 200 mg/l que es lo máximo aceptable permisible dentro de las regulaciones ambientales existente en el país, a tiempos menores de 1 a 3 días.

5. El proyecto de mejora en la utilización de biogás dentro de una empresa papelera con los datos existentes, el promedio de biogás de $200 \text{ m}^3/h$, en un rango de 312 días anuales descartando algunos por paradas programadas, los dos escenarios (generación eléctrica y energía calorífica) planteados de una forma teórica arrojaron valores de potencia:

$$Q = 1451.40 \text{ kW}$$

$$E = 26.12 \text{ MJ/m}^3$$

Datos que se deberán tomar en cuenta en la compra de algún equipo de generación eléctrica para su utilización

6. Respecto a la energía calorífica se encuentra una estimación de vapor de aproximadamente 5103.83 lb/h entregado por el biogás, dentro de las unidades de generación de vapor la planta cuenta con dos Calderos de generación de vapor CBLE 500, CBLE 400 que entregan un valor promedio de 11020 lb/h por día, con estos resultados la producción de biogás para la industria papelera estará en un 53,7% con respecto a los $200 \text{ m}^3/h$ que se tomaron en función al cálculo del proyecto.
7. El TIR para 5 años se obtiene la proyección 53.8% que es la tasa de rentabilidad superior al valor tasa de descuento del 12% por lo tanto se estaría aceptando el proyecto de acuerdo al valor actual neto.
8. El VAN da como resultado \$ 393.008 que es un valor positivo que se la opción más aceptable es aceptarla para la inversión segunda el valor actual neto.
9. La factibilidad del proyecto Esta como escenario el ahorro económico, en la utilización de biogás como fuente alternativa de generación de vapor este proyecto consta de una inversión en el área de calderas por un valor de \$ 328,746, para limpieza del biogás y la adaptación de quemadores que sean compatibles con la quema de este combustible o en combinación, se estima un ahorro de \$ 268,573 con los cálculos del año 2020.

RECOMENDACIONES

En la utilización del biogás dentro de esta industria papelera y para la optimización de este recurso como fuente calorífica se obtiene que su demanda es inferior con un valor de 5103.83 *lb/h* por lo que se recomienda un sistema dual que se intervenga entre diésel y biogás haciendo una adaptación en quemadores y demás implemento para su utilización como fuente de energía alternativa y alcanzar la demanda total de la planta que es 11020 *lb/h* por día.

Se recomienda realizar esta importante inversión de acuerdo a los cálculos establecidos positivos en el VAN Y TIR, que demuestra que la empresa evoluciona con la utilización de energía alternativas y su impacto, el ahorro económico va de igual medida en el proyecto impulsando a esta industria verde que cuida y fortalece el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Area, M. C., Mastrantonio, G., & Velez, H. (2012). Gestión ambiental en la fabricación de papel reciclado. *Reciclado Celulósico*, 306.
- ARCONEL. (2015). REGULACIÓN ELÉCTRICA.
<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
- ARCONEL. (2019). Proyecto de Biogás Pichacay – ARCONEL.
<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/proyecto-de-biogas-pichacay/>
- Asamblea Nacional Ecuador. (2008). Constitución del Ecuador. In *Registro Oficial* (Issue 20 de Octubre).
- Alexander Mero, (2021) (testimony of Autor).
- Badii, M., Guillen, A., & Abreu, J. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, 11(1), 141–155.
<http://bd.univalle.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=116281297&lang=es&site=eds-live>
- CABRALES TELLO, C. C. (2019). APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS PROVENIENTE DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES –PTAR, COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA. In *INGENIERIA AMBIENTAL* (Vol. 0, Issue 0).
- Castillo, T., Garcia, F., & Mosquera, L. (2020). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe* (Primera ed).
- Cámara de Comercio de Cali. (2017). Centrales eléctricas en el mundo a partir de biomasa. *Bioenergía Iniciativa Cluster*, 5.
<https://www.ccc.org.co/file/2017/09/Informe-RC-N12-Centrales-electricas-a-partir-de-biomasa.pdf>
<http://www.ccc.org.co/file/2017/09/Informe-RC-N12-Centrales-electricas-a-partir-de-biomasa.pdf>
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos de ICE*, 83. <https://doi.org/10.32796/cice.2012.83.6036>
- Constitucion de la republica. (1998). REGISTRO OFICIAL No. 449, 20 DE OCTUBRE 2008. 449, 1–87.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la

- República del Ecuador 2008. In Incluye Reformas (pp. 1–136).
https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Cortés-Sánchez, M. D., Gata-Montero, E. M., Pipió-Ternero, A., Rodríguez Rivas, Á., & Sánchez-Santos, J. M. (2019). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *MoleQla: Revista de Ciencias de La Universidad Pablo de Olavide*, 35, 23.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7094734&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7094734%0Ahttps://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Numero-35.pdf>
- Dr. Fatih Birol. (n.d.). International Energy Agency. 2018.
<https://www.iea.org/reports/renewables-information-overview>
- Ekstrand, E. maria. (2019). Anaerobic digestion in the kraft pulp and paper industry Challenges and possibilities (Issue 769).
- El Telegrafo. (2017). El Telégrafo - Planta de biogás producirá energía para 7. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/planta-de-biogas-producira-energia-para-7-300-familias-ecuatorianas>
- Fernández-Linares, L. C., Montiel-Montoya, J., Millán-Oropeza, A., & Badillo-Corona, J. A. (2012). Producción de biocombustibles a partir de microalgas. *Ra Ximhai*, 8, 101–116.
<https://doi.org/10.35197/rx.08.03.e2.2012.10.If>
- Ibarra, B., Narvaez, M., & de la rosa, A. (2020). Analisis de la disposición de los desechos sólidos y generacion de Biogas en el relleno sanitario de Ambato, Ecuador. *Planta*, 13(1), 988–1006.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.68441>
- Horvatovic, Z., Stojkov, M., Janković, N., Topić, D., & Golob, V. (2013). Bioplin i bioplinisko postrojenje Biogas and Biogas Power Plant. 11th *Natural Gas, Heat and Water*, 0(0), 1–11.
- Horvatović, Z., Stojkov, M., Janković, Z., Topić, D., & Golob, V. (2013). Planta de biogás y biogás Planta de biogás y biogás. V Congreso Internacional de Gas Natural, Calor y Agua, 0(0), 25–27.
- IEA. (2020). Outlook for biogas and biomethane. Prospects for organic growth. *World Energy Outlook Special Report*. 93.

- Javier, R., & Rivas, C. (2011). Producción de biogás a partir de aguas residuales y residuos agrícolas Producción de biogás a partir de aguas residuales y residuos agrícolas.
- Jorge, A., & Arce, J. (2011). Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del.
- Josué Eudoro Espinoza Vanegas, J. G. L. O. (2012). Regulación para incentivar las energías renovables en Ecuador. 1–122, Cuenca.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/673/1/te340.pdf>
- Juan, C., Silva, P., & Ingeniería, U. V. De. (2002). Gestión Integral del Tratamiento de Aguas Residuales. GESTION INTEGRAL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 0(0), 1–19.
- Judd, S., & Judd, C. (2006). Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment. In The MBR Book (ELSEVIER). <https://doi.org/10.1016/B978-185617481-7/50005-2>
- Judd, S., & Jefferson, B. (2005). Membranes for industrial Wasterwater Recovery and Re-use (ELSEVIER).
- Maeda, S., & Lavaroni, O. J. (2009). ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE. FLORESTA, Curitiba, 39(1), 1–10.
- Maeda, S., Costa, E. R. O., & Silva, H. D. (2010). Uso de resíduos da fabricação de celulose e papel e da reciclagem de papel. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Florestas, Doc 202, 50.
www.cnpf.embrapa.br
- Márquez, M., & Martínez, S. (2011). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. Centro Tecnológico Aragón, 0(0), 31.
<http://chita.aragon.unam.mx/papime100310/documentos/RAFA.pdf>
- Maxi, G., Daniela, C., Chacón, I., Tamara, E., Calle, S., & Eduardo, F. (2011). Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino.
- Maxx, B., End, W., & York, N. (2020). Producción De Biogás a Partir De Residuos Orgánicos. BIOGAS, BIOENERGY SOLUTIONS, 1–13.
- MERNNR. (2018). Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

- Morales, G. M., Yoval, L. S., & Ramírez, E. M. (2017). Energía limpia del agua sucia : aprovechamiento de lodos residuales.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. (2019). Balance de energía primaria y secundaria. 48–74.
- Ministerio de Recursos Naturales no Renovables. (2010). Reglamento autorizacion comercializacion de mezclas de combustibles. 331, 1–6.
- Muñoz, M. P. (2010). VAN y TIR. 4.
<http://www.mpuga.com/Docencia/Fundamentos de Finanzas/Van y Tir 2011.pdf>
- Olade. (2020). No Title. Energia Renovable En America Latina y El Caribe.
<http://www.olade.org/noticias/olade-e-irena-ponen-a-las-energias-renovables-en-el-corazon-de-la-recuperacion-economica-post-pandemia-de-america-latina-y-el-caribe/>
- Ordóñez Sanz, R. (2013). TRATAMIENTOS AVANZADOS DE REGENERACIÓN DE EFLUENTES EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL.
- Evaluación de Proyectos Temario, (2018) (testimony of Rodrigo Osorio).
- Pérez, S. R., Pérez Silva, R. M., & Boizán, M. F. (2000). Estudio de la biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café. *Interciencia*, 25(8), 386–390.
- Posso, F. (2002). Energía y ambiente : pasado , presente y futuro . Parte dos : Sistema energético basado en energías alternativas Universidad de los Andes Cómo citar el artículo Número complet. *Geoenseñanza*, 7, 54–73.
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71–80.
<https://doi.org/10.1021/ja00334a047>
- Renewables 2020 Global Status Report. (2020). Renewables Global Status Report. In REN21 Secretariat.
<http://www.ren21.net/resources/publications/>
- Roca, J. (2016). Las 10 mayores plantas de biomasa del mundo.
<https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-de-biomasa-del-mundo/>
- Secretaria del Ambiente. (2017). Quito se destaca en el Ecuador al producir

energía eléctrica de la basura.

[http://prensa.quito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=28620&umt=Quito se destaca en el Ecuador al producir energ%25EDa el%25E9ctrica de la basura](http://prensa.quito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=28620&umt=Quito%20se%20destaca%20en%20el%20Ecuador%20al%20producir%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20de%20la%20basura)

Varnero, M. (2011). Manual del Biogás. In Proyecto CHI/00/G32.

<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Varnero, M., Carú, M., Galleguillos, K., & Achondo, P. (2012). Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica. *Informacion Tecnologica*, 23(2), 31–40.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200005>

Vieira, H. G., & Polli, H. Q. (2020). O Biogás Como Fonte Alternativa De Energia. *Revista Interface Tecnológica*, 17(1), 388–400.

<https://doi.org/10.31510/infa.v17i1.766>

Villanueva, A. A. C., Flores, H. E., Sahagún, R., SILVA, Á. S., ZAMORA, H. D., Rojas, I. R., Rodrigues, V. A., RNE - OS - 090, Piérart, I. S. P., Rojas, G. C., Melorose, J., Perroy, R., Careas, S., Llagas Chafloque, W., Guadalupe Gómez, E., Lara Borrero, J. A., Garcia, J. S., Corzo, A. H., Delgadillo, O., ... Alvarado, P. C. O. (2013). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. *Universidad Politecnica de Cataluña*, 1(3), 39–51.

World Bioenergy Association. (2020). GLOBAL BIOENERGY STATISTICS 2020 World Bioenergy Association. 3; 23; 49.

[https://worldbioenergy.org/uploads/201210 WBA GBS 2020.pdf](https://worldbioenergy.org/uploads/201210_WBA_GBS_2020.pdf)



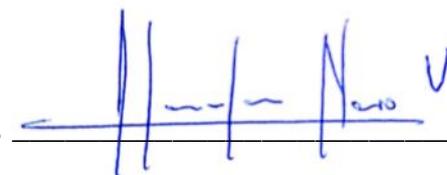
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Alexander Ronald Mero Vallas**, con C.C: # **0924773856** autor del trabajo de titulación: **Estudio de factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel** previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 11 de marzo de 2022

f. 

Nombre: **Alexander Ronald Mero Vallas**

C.C: **0924773856**



| REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA | | | |
|--|--|--|-----------|
| FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN | | | |
| TEMA Y SUBTEMA: | Estudio de factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel | | |
| AUTOR(ES) | Alexander Ronald Mero Vallas | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) | MSc. Manuel Romero Paz, MSc. Diana Bohórquez Heras / MSc. Celso Bohórquez Escobar | | |
| INSTITUCIÓN: | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil | | |
| FACULTAD: | Sistema de Posgrado | | |
| CARRERA: | Maestría en Electricidad | | |
| TITULO OBTENIDO: | Magister en Electricidad con mención Energías renovables y Eficiencia Energética | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | 11 de marzo de 2022 | No. DE PÁGINAS: | 83 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | SISTEMAS ANAERÓBICOS, USO DEL BIOGÁS, BIOCOMBUSTIBLES EN ECUADOR | | |
| PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: | DQO, DBO, BIOMASA, BIOGÁS, BIODEGRADABILIDAD, BIOABONO | | |
| RESUMEN/ABSTRACT: | <p>El objetivo de este proyecto es determinar factibilidad de generación de biogás empleando aguas residuales producidas en fábrica de papel, para la utilización de una nueva fuente de generación energética en el área de calderas o una alternativa adicional en la generación de energía eléctrica. En el tratamiento primario, la disminución D.Q.O y D.B.O de la contaminación en el agua determina una gran eficiencia en el proceso. Se describe la importancia del consumo de agua residual y los valores significativos que representan al momento de minimizarlo dentro del clarificador como en el reactor para poder convertir estos residuos en fuente de energía. Se realizó una ardua investigación y documentación del año 2020 para la ejecución del proyecto y cuanto es su producción promedio de biogás. Se concluyó que el valor está en 200 m³/h a 250 m³/h dependiendo las unidades de producción y la cantidad de agua tratada en la planta de tratamiento de agua residual en conjunto con el reactor anaeróbico, para la producción de biogás en el área de calderas. La misma planta que consta de dos: la primera una CBLE 500 con una generación de 17250 lb/h y la segunda CBLE 400 con una generación de 13500 lb/h. El dato resultante de los cálculos proyectados realizados es una generación de 147.937 BHP (caballos de vapor de calderas) o su equivalente de 5103.83 lb/h. Entonces su capacidad de generación aborda un 46.31% de la generación total, que es un valor de 11020 lb/h. Adicionalmente para la generación de energía eléctrica se determinó un resultado Q=1451.40 kW con la misma cantidad de biogás. Para el análisis económico se estimó valores de la propuesta del proyecto que estipula la inversión de optar por la implementación de la reingeniería para poder utilizar esta fuente de energía en una caldera, que consta de cambiar ciertos parámetros como lo es aire, tipo de combustión y otro tipo de quemador dual que permita trabajar con distintos tipos de combustible como lo es el diésel y biogás para abastecer la demanda existente en la planta. El ahorro económico es evidente por el alto costo del combustible cerca de \$ 1.304 por cada galón esto es un valor fluctuante ya que varía con respecto al precio internacional. Se estima un ahorro de un valor \$ 268,573 con los cálculos del año 2020. Este de proyecto es fundamental para la conservación del medio ambiente; por ende, es un ejemplo de que una empresa pueda utilizar este tipo de energía verde en sus procesos teniendo valores positivos en la recepción de su capital y su impacto social.</p> | | |
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO | |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: +593-998603123 | E-mail: alexander.mero@cu.ucsg.edu.ec | |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):: | Nombre: MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar | | |
| | Teléfono: +593-995147293 | | |
| | E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec | | |
| SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA | | | |
| Nº. DE REGISTRO (en base a datos): | | | |
| Nº. DE CLASIFICACIÓN: | | | |
| DIRECCIÓN URL (tesis en la web): | | | |