



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TRABAJO DE PROYECTO TECNICO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**TEMA: ANÁLISIS DEL PROCESO DE REUTILIZACIÓN DEL BIOGÁS
A PARTIR DE LA GENERACIÓN DE VAPOR EN UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA
PAPELERA**

Autores:

- MIRANDA SALAZAR BRYAN ISAAC
- JARRIN ICAZA ALAN ORLANDO

Tutor:

Mgtr. LOPEZ BRIONES JOHNNY RODDY

Milagro, octubre 2021

ECUADOR

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabricio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo MIRANDA SALAZAR BRYAN ISAAC, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de integración curricular, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor, como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Línea de Investigación **DESARROLLO PRODUCTIVO**, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

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

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

Milagro, 10 de octubre del 2021



MIRANDA SALAZAR BRYAN ISAAC

Autor 1

CI: 0941330946

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabrizio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo JARRIN ICAZA ALAN ORLANDO, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de integración curricular, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor, como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Línea de Investigación DESARROLLO PRODUCTIVO, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

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

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

Milagro, 10 de octubre del 2021

Alan Orlando Jarrin .I

JARRIN ICAZA ALAN ORLANDO

Autor 2

CI: 0928892397

APROBACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE PROYECTO TECNICO

Yo, Mgtr. LOPEZ BRIONES JOHNNY RODDY en mi calidad de tutor del trabajo de proyecto técnico, elaborado por MIRANDA SALAZAR BRYAN ISAAC y JARRIN ICAZA ALAN ORLANDO, cuyo título es ANÁLISIS DE PROCESOS DE REUTILIZACIÓN DEL BIOGAS A PARTIR DE LA GENERACIÓN DE VAPOR EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA PAPELERA , que aporta a la Línea de Investigación DESARROLLO PRODUCTIVO previo a la obtención del Título de Grado INGENIERO INDUSTRIAL; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso previa culminación de Trabajo de PROYECTO TECNICO de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 10 de octubre del 2021

Mgtr. LOPEZ BRIONES JOHNNY RODDY

Tutor
C.I: 0906022033

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

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

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

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

Luego de realizar la revisión del Trabajo de proyecto técnico, previo a la obtención del título (o grado académico) de INGENIERO INDUSTRIAL presentado por MIRANDA SALAZAR BRYAN ISAAC.

Con el tema de trabajo de ANÁLISIS DE PROCESOS DE REUTILIZACIÓN DEL BIOGAS A PARTIR DE LA GENERACIÓN DE VAPOR EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA PAPELERA.

Otorga al presente Trabajo de proyecto técnico, las siguientes calificaciones:

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

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado) _____

Fecha: Haga clic aquí para escribir una fecha.

Para constancia de lo actuado firman:

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

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

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

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

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

Luego de realizar la revisión del Trabajo de proyecto técnico, previo a la obtención del título (o grado académico) de INGENIERO INDUSTRIAL presentado por JARRIN ICAZA ALAN ORLANDO.

Con el tema de trabajo de ANÁLISIS DE PROCESOS DE REUTILIZACIÓN DEL BIOGAS A PARTIR DE LA GENERACIÓN DE VAPOR EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA PAPELERA.

Otorga al presente Trabajo de proyecto técnico, las siguientes calificaciones:

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

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado) _____

Fecha: Haga clic aquí para escribir una fecha.

Para constancia de lo actuado firman:

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

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo investigativo a Dios por ser mi fuente de inspiración en cada meta que he alcanzado. A mis padres por su apoyo incondicional en cada etapa universitaria, cada consejo y sacrificio que me han brindado han sido un sustentáculo fundamental para mí. A mis hermanas por su apoyo moral que me brindan cada día para seguir adelante. A todas las personas que han aportado para mi crecimiento profesional.

Isaac Miranda

Dedico este proyecto a Dios y a mis padres principalmente, a Dios por darme el regalo de la vida, así como de guiarme en ella y a mis padres por todo el esfuerzo que hicieron todos estos años para darme su apoyo incondicional y poder lograr mis metas.

Alan Jarrin

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme realizar este trabajo investigativo y haberme dado la oportunidad de estudiar esta espléndida carrera. A mis padres, Juan y Silvia, quienes han fomentado en mi la educación, gracias a su esfuerzo y dedicación he podido llegar hasta aquí. A mis hermanas, Lilibeth y Odalis, por apoyarme en todos mis planes y proyectos. A mi compañero Alan por ser de gran equipo para este proyecto. A la Universidad Estatal de Milagro por brindarme los conocimientos necesarios para ser un gran profesional. Al Ingeniero Johnny López por guiarnos con paradigmas profesionales para realizar de la mejor manera esta investigación.

Isaac Miranda

Agradezco a mis padres y familiares por sus consejos y guías que me permitieron a lo largo de mi vida tomar buenas decisiones, así como de su apoyo, además agradezco a mis docentes por compartirme sus conocimientos en todo momento y creer en mi como futuro profesional. Agradecer a mi tutor de tesis por su apoyo y enseñanza en el transcurso de la elaboración del proyecto y para finalizar agradecer a mi compañero de tesis, que en conjunto con su dedicación y responsabilidad logramos culminar con éxito nuestros objetivos planteados.

Alan Jarrin

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR	2
DERECHOS DE AUTOR	3
APROBACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE PROYECTO TECNICO	4
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	5
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	6
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTO	8
ÍNDICE GENERAL	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	12
CAPÍTULO 1	13
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Planteamiento del problema	14
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo General	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. Alcance	16
1.4. Estado del arte	16
1.5. Antecedentes	19
1.6. Marco Teórico	19
2. CAPÍTULO 2	36
2.1. METODOLOGÍA	36
3. CAPÍTULO 3	41
3.1. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	41
4. CONCLUSIONES	54
5. RECOMENDACIONES	56
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
7. ANEXOS	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Graficas

GRAFICA 1 "PROCESOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA" FUENTE: (WINSTON, 2016).....	30
GRAFICA 2 "ESQUEMA DE UNA CALDERA" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	32
GRAFICA 3 "COMPOSICIÓN DE BIOGÁS ACTUAL" FUENTE: INDUSTRIA PAPELERA.....	42
GRAFICA 4 "EVOLUCIÓN DEL VALOR DE LOS SUBSIDIOS DEL 2015 AL 2020" FUENTE: (RUBIO FLORES, 2021).....	43
GRAFICA 5 "EXPECTATIVA DE LA GASOLINA Y DIÉSEL A FUTURO" FUENTE: ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (2021).....	43
GRAFICA 6 "UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	44
GRAFICA 7 "DIAGRAMA DE PROCESO PARA PROPUESTA" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	
GRAFICA 8 "UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	44
GRAFICA 9 "DIAGRAMA DE PROCESO PARA PROPUESTA" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	47

Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1 "CALDERA ACUOTUBULAR" FUENTE: (BARRERA, BETORET, CASTELLÓ, & PÉREZ, 2018).....	34
ILUSTRACIÓN 2 "CALDERA PIROTUBULAR" FUENTE: (BARRERA, BETORET, CASTELLÓ, & PÉREZ, 2018).....	35

Anexos

ANEXO 1 "TUTORÍA VIRTUAL A TRAVES DE PLATAFORMA ZOOM".....	60
ANEXO 2 "DIAGRAMA DE ISHIKAWA" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	61
ANEXO 3 "ÁRBOL DE PROBLEMAS" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	61
ANEXO 4 "DIAGRAMA DE PARETO" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 "DATOS INFORMATIVOS DE COMBUSTIBLE BUNKER" FUENTE: ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO ((ICSCs), 2015)	21
TABLA 2 "DATOS INFORMATIVOS DE COMBUSTIBLE BUNKER" FUENTE: ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO ((ICSCs), 2015)	22
TABLA 3 "DATOS INFORMATIVOS DE COMBUSTIBLE BUNKER" FUENTE: ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO ((ICSCs), 2015)	23
TABLA 4 "PODER CALORÍFICO DE LOS PRINCIPALES COMBUSTIBLES" FUENTE: (MARTÍNEZ CRESPO, Y OTROS, 2003)....	24
TABLA 5 "COMPOSICION DEL BIOGÁS" FUENTE: (SORIA & CARVAJAL, 2013).....	26
TABLA 6 "PARÁMETROS DE UN BIODIGESTOR" FUENTE: (WINSTON, 2016)	27
TABLA 7 "INCONVENIENTES DE LAS CALDERAS" FUENTE: (CERDEIRA, Y OTROS, 2012).....	33
TABLA 8 "OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	36
TABLA 9 "CONSUMO DE BUNKER Y DIÉSEL (GAL) ANUAL" FUENTE: INDUSTRIA PAPELERA	44
TABLA 10 "RECOPILACIÓN DE VALORES TEÓRICOS" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	45
TABLA 11 "ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DEL BIOGÁS" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	48
TABLA 12 "PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTACIÓN DE NUEVO SISTEMA" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	49
TABLA 13 "CUENTA DE RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN DE ESTE SISTEMA" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	50
TABLA 14 "CUADRO COMPARATIVO DE VALOR PRESENTE Y VALOR PRESENTE ACUMULADO" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	51
TABLA 15 "RESULTADOS DE GENERACIÓN DE BIOGÁS" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	53
TABLA 16 "INDICADORES ECONÓMICOS" FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	53

Título de Trabajo de Proyecto Técnico: ANÁLISIS DE PROCESOS DE REUTILIZACIÓN DEL BIOGAS A PARTIR DE LA GENERACIÓN DE VAPOR EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA PAPELERA.

RESUMEN

Los combustibles han revolucionado a nivel mundial siendo en la actualidad de mucha importancia para el desarrollo industrial. Sin embargo, tienen un impacto negativo al medioambiente provocando una huella ecológica indeleble. Una alternativa eco-amigable en la que se basa esta investigación es el análisis de un proceso que permita disminuir el uso de hidrocarburos, por ello se reutiliza el desperdicio de biogás existente que surge a raíz de un tratamiento de aguas residuales dentro de una industria papelera. La implementación del biocombustible como fuente de energía permite la reutilización del recurso, la reducción de los costos operativos y la conservación del medio ambiente.

PALABRAS CLAVE: Biodigestor, reutilización, energía verde.

ABSTRACT

Fuels have revolutionized worldwide and are currently very important for industrial development. However, they have a negative impact on the environment causing an indelible ecological footprint. An eco-friendly alternative on which this research is based is the analysis of a process that allows reducing the use of hydrocarbons, for this reason the existing waste of biogas that arises as a result of a wastewater treatment within a paper industry is reused. The implementation of biofuel as an energy source allows the reuse of the resource, the reduction of operating costs and the conservation of the environment.

KEY WORDS: Biodigester, reuse, green energy.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas a escala mundial desde los inicios de la industrialización ha sido su impacto ambiental. A lo largo de estos últimos años se han creado y regularizado distintas políticas ambientales que ayuden a mitigar la contaminación hacia el medio ambiente. Por ende, las empresas deben optar por tener procesos más limpios tales como energías renovables, mejoras en sus procesos, fuentes de energía verde, sistemas adecuados de desperdicios o economía circular.

Uno de los grandes retos a nivel nacional es disminuir las emisiones generadas por el sector industrial, las cuales algunas empresas tienen conciencia ambiental que promueven el correcto manejo de los residuos y desperdicios. Una de las alternativas para reducir dichas emisiones es adoptar tecnologías limpias que permitan eliminar materiales tóxicos, optimizar recursos naturales, reducir emisiones y minorar desperdicios, con esto obtener paradigmas de industria sostenible en Ecuador.

Dentro de los procesos industriales, los insumos poseen un rol importante ya que permiten generar un bien o un producto final. Las energías y los combustibles son cruciales para el funcionamiento de equipos y maquinarias dentro de los procesos productivos, estos pueden generar costos significativos a la empresa. En lo que respecta al precio del combustible se ha notado que en los últimos años ha sido inestable a nivel nacional y mundial lo cual se prevé que en un futuro vayan aumentando considerablemente. Por ende, las fábricas deben optar por nuevos procesos de energía limpia y renovable con el fin de reducir costos productivos y minorar el impacto ambiental.

Este trabajo investigativo pretende analizar una alternativa de reutilización al desperdicio generado en uno de sus procesos de tratamiento de aguas residuales dentro de una industria papelera con el fin de optimizar los costos de producción. Esta industria tiene como objetivo producir papel a partir de materia prima reciclada, la cual suministra sus productos a nivel nacional e internacional.

1.1. Planteamiento del problema

Las calderas consumen considerablemente una gran parte de los combustibles utilizados en la empresa, por ende, es un factor clave diseñar y tomar medidas contundentes para la mejora continua del mismo.

Los combustibles son considerados dentro del contexto industrial como uno de los costos que más participación tiene dentro de los procesos productivos ya sea en el transporte, calderos o motores. Los más usados dentro de las industrias manufacturera son el diésel, gas licuado de petróleo, gas natural y bunker. Pero, se debe considerar que estos derivados del petróleo producen un impacto negativo al medio ambiente, por lo que las organizaciones deben optar por alternativas eco amigables.

La empresa a analizar dentro de este trabajo investigativo es una industria papelera la cual obtienen sus productos terminados a partir de material reciclado derivados del papel y cartón. Dentro de esta industria, existen diversos controles de los residuos que se dan dentro del mismo tales como aguas residuales, desechos sólidos, huella de carbono, entre otros. En el tratamiento de aguas residuales existen diversos filtros que permiten su tratamiento la cual a través de un sistema bacteriológico denominado reactor anaeróbico convierte los residuos sólidos en biogás. Actualmente dicho biogás se lo está expulsando al medio ambiente a través de un proceso de combustión mediante una antorcha anclada al biodigestor. Pero este proceso de expulsión de biogás podría ser reutilizado como biocombustible consumible dentro de algún proceso productivo, por esto se pretende determinar la cuantificación del desperdicio del biogás dentro de los procesos productivos para su reutilización y con esto establecer el costo-beneficio que conlleva implementarlo.

A continuación, se presentan las causas y efectos identificados en este problema (Anexo 5 y 6):

Causa – Efecto

La primera causa del factor a determinar es que existe un desperdicio de biogás útil en los procesos productivos, esto puede darse por la no implementación de un sistema de reutilización de biogás que puede llevar a un desconocimiento de la utilización del biogás actual. Su efecto directo es la no utilización del biogás como fuente de energía ya sea para generar electricidad, calor o biocombustibles dentro de los procesos productivos.

Otro factor de dicho problema es la variabilidad en los volúmenes de las aguas residuales, que puede estar relacionada directamente con el aumento o disminución de la producción del papel que se esté produciendo. Su efecto directo es que existe inestabilidad en la cantidad de biogás generado.

Un tercer factor considerable es el deterioro de filtros de tratamiento de aguas residuales, este factor puede darse por la carencia de mantenimiento de los filtros dentro de la empresa. Su efecto directo es la inestabilidad de los desperdicios de aguas residuales.

Otro factor de este problema identificado es el desconocimiento del volumen o la cantidad de biogás que actualmente se está combustionando sin ningún beneficio. Como una causa se puede establecer que la falta de capacitación del personal operativo y directivo relacionado con estos procesos de emisión y desperdicio, no contribuyen para tomar alternativas eco amigables que permitan tener beneficios económicos y medio ambientales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar los parámetros de desperdicios para la reutilización del biogás.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Describir la situación actual del proceso del sistema de biogás de una industria papelera.
- Analizar el estado actual de los parámetros de desperdicio del biogás.
- Analizar la factibilidad de reutilizar el biogás actualmente.
- Plantear la solución más óptima para la reutilización del biogás.

1.3. Alcance

El alcance para el desarrollo de esta investigación comprende el uso de las metodologías estudiadas durante la carrera de ingeniería industrial tales como Ishikawa y el árbol de problemas las cuales ayudan a describir e identificar los problemas mediante el análisis de procesos, así mismo, se utiliza el diagrama de Pareto para la determinación de los procesos que se encuentran involucrados para la superación de las causas y la superación del problema.

Identificado los métodos se procederá a realizar su análisis mediante la metodología del enfoque de procesos, permitiendo de esta forma determinar los parámetros cuantitativos en los componentes de las entradas y salidas de cada proceso para direccionarlo hacia la solución del problema, la reutilización del recurso, la reducción de los costos operativos y la conservación del medio ambiente.

Esta investigación pretende analizar su desperdicio actual, su composición química, su sistema de propuesta (equipos y maquinarias), sus indicadores financieros, y su viabilidad en el tiempo para así demostrar su factibilidad.

1.4. Estado del arte

El tema medioambiental ha tenido mucho impacto dentro del sector industrial para aprovechar los recursos que poseen para generar energía limpia, así lograr reducir su impacto ambiental y aprovechar sus recursos dependiendo del tipo de generación de energía usen.

Para esto se presenta una serie de investigaciones que sirvieron como guía para encaminar nuestro trabajo y con esto comprender el estado actual de nuestro tema en el ámbito nacional e internacional.

1.4.1 Internacional

(Gebrezgabher, Meuwissen, Prins, & Lansink, 2010) realizaron una investigación analítica titulada “*Economic analysis of anaerobic digestion-A case of Green power biogas plant in The Netherlands*” cuyo estudio fue realizado en una planta de biogás constituida en el año 2007 por personas dedicadas a la crianza de cerdos, con una capacidad de insumos correspondiente a 70.000 toneladas anuales. Actualmente la planta se encarga de producir electricidad y calor, siendo el calor usado para calentar el digestor. El objetivo fue analizar el desempeño económico integrado a la digestión anaeróbica de las materias orgánicas como lo es el estiércol haciendo uso de conceptos del valor actual neto también denominado como “VAN” y la tasa interna de retorno interno denominado como “TIR”.

La metodología utilizada se basó en presentar el caso particular junto con un análisis de los datos necesarios para desarrollar un modelo lineal de optimización, para luego usarla en un análisis de varios escenarios determinados y alternativos en función al manejo del estiércol y las políticas. Como resultado se obtuvo un escenario determinado posee un rendimiento de 222 kWh por tonelada mientras que el escenario con menos estiércol de aves y menos desperdicio de alimentos es ligeramente más alto en rendimiento que el predeterminado con un valor de 224 kWh por tonelada. El escenario con menor cantidad de estiércol de aves posee un rendimiento energético más alto que el predeterminado, sin embargo, con un mayor costo de producción debido al costo del maíz. Por otra parte, el escenario con menor desperdicio de alimentos posee un mejor rendimiento y menor costo de producción.

En la investigación “*Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants*” realizada por (Bachmann, 2015) se enfoca en promover las prácticas y tecnologías sostenibles de la generación y de la capacidad que posee el biogás en diversos aspectos, ofreciendo una revisión generalizada de los procesos de la digestión anaerobia así como el rendimiento energético estándar.

El informe para su metodología hizo uso de diversos parámetros estándares de ámbito ambiental y de operación para el análisis de la sostenibilidad de una planta de tratamiento. Se determinó una mejora sostenible estableciendo un proceso de 3 pasos, iniciando por el análisis situacional de la planta de tratamiento basados en los parámetros obtenidos. En el estudio se llega a la conclusión que para lograr que un sistema sea sostenible es necesario implementar un sistema de seguimiento evaluando periódicamente sus procesos.

1.4.2 Nacional

(Godoy Zúñiga, Silva Recalde, & Palacios Fuentes, 2018) en su investigación “*La producción de biogás por degradación de abono orgánico como alternativa de energía en Ecuador*” se realizó un análisis de tipo bibliográfico evaluando los pros y contras de la implementación de los biodigestores basándose en un hecho particular en dos ciudades. Una de las ciudades es Quito donde se encuentra un proyecto para aprovechar los desechos urbanos para la generación de energía eléctrica haciendo uso de generadores con una capacidad de 40 MW teniendo como objetivo abastecer de energía eléctrica a más de 21.000

familias. El segundo caso analizado fue en la ciudad de Cuenca en un área donde se encuentran 30 pozos de relleno sanitario.

Se llegó a la conclusión que gracias a uso de biodigestores se pueden llegar a grandes beneficios tanto ambientales como económicos, sobre todo en un país agrícola y agrónomo como lo es Ecuador.

“Biogás: Una Alternativa para la Expansión de Generación Eléctrica en El Ecuador” realizado por (Soria & Carvajal, 2013), tiene el objetivo de presentar una nueva alternativa de generación de energía eléctrica a través del biogás para reducir la ausencia de falta de capacidad de generación de energía. Buscando aprovechar el potencial que poseen los desechos orgánicos de origen agropecuario. En la investigación muestra la influencia que ha tenido las fuentes de energía renovable en Ecuador indicando que hasta el año 2012 el país contaba con un 48.54% de energías limpias y el 51.46% correspondía a generación de energía basada en el uso de combustibles. Además, presenta una descripción breve de los lugares que cuentan con biodigestores en el país, uno de ellos ubicado en el Jardín Botánico ubicado en la ciudad de Quito, con un biodigestor que cuenta con la capacidad de generar 9m³/día.

La metodología de la investigación se basaba en el hecho cuantitativo para determinar el potencial que poseía el biogás, en base a las distintas unidades de productividad agropecuaria (UPA), determinando que las UPAs de tamaño reducido mantenían un biodigestor pequeño, mientras que las medianas y grandes UPAs no poseían dichos biodigestores, sin embargo, trasladaban los residuos a lugares encargados de generar biogás. Como final se llegó al resultado de que las grandes UPAs poseían biodigestores propios de gran volumen, usados para generar su propio biogás.

1.5 Antecedentes

La energía obtenida a partir de la biomasa remonta desde el principio de la humanidad, desde el uso de materiales como troncos o ramas para obtener energía lumínica o energía calorífica a través de la combustión de los mismos. Conforme las actividades de trabajo avanzaban su desarrollo surgieron nuevas formas de aprovechar los recursos que posee este planeta como los molinos de viento haciendo uso de este recurso para transformarlo a energía mecánica.

Conforme surgía la industrialización el uso del petróleo se hizo cada vez más relevante debido a su potencial, estos son utilizados mayormente en el transporte, generadores de calor, fuentes de vapor, generadores de electricidad, etc. Sin embargo, frente a un aspecto medioambiental el uso de estos combustibles no son nada favorables y conforme las nuevas tecnologías fueron avanzando nuevas formas de energía renovable se fueron tecnificando.

En la industria papelera los desperdicios son un aspecto muy recurrente y debido al uso constante de agua en sus procesos productivos, la necesidad de controlar los desechos y su incidencia al impacto ambiental conllevó al desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas residuales, mismo que junto con un sistema de generación de biogás se combustiona dicho gas mediante una antorcha para reducir dicho impacto.

1.6 Marco Teórico

1.6.1 Aguas residuales

Las aguas residuales de manera general son aquellas que resultan de una actividad o proceso antropogénico, en el caso de las aguas residuales son resultantes únicamente de procesos industriales, donde intervienen la gran variedad de procesos dependiendo del tipo de industria y el área de especialización. (Muñoz Cruz, 2008)

A diferencia de las aguas residuales urbanas, estas son más contaminantes dependiendo del proceso por el que pase, lo que ocasiona que su nivel de contaminación sea complicado de controlar o reducir, según la industria existe una clasificación que la asocia con los contaminantes que producen:

Efluentes orgánicos

- Papeleras
- Azucareras
- Bebidas

Efluentes orgánicos e inorgánicos

- Refinerías y petroquímicas
- Textil

Efluentes inorgánicos

- Minería
- Industria química

Industria papelera

En la industria papelera las aguas residuales pueden ser resultantes de dos aspectos, la fabricación de la pasta o pulpa y la fabricación del papel haciendo uso de la pulpa.

A continuación, habrá un listado de los procesos en ambos aspectos para identificar los procesos responsables de generar las aguas residuales: blanqueo, lavado, espesado.

Debido a la cantidad de fibras que poseen las vertientes residuales, es importante enfocarse en su recuperación y para ello se hacen uso de filtros dentro del tratamiento de agua, también se suelen usar la sedimentación y flotación. (Muñoz Cruz, 2008)

Para los procesos de fabricación del papel incide la denominada agua blanca que de manera estándar suele contener un pequeño porcentaje de fibras, usando los mismos procesos de filtración.

1.6.2 Principales combustibles fósiles usados en la industria

Bunker

El bunker proviene principalmente de las primeras etapas de refinación del petróleo es muy utilizado en el área industrializada, debido a sus costos y a la capacidad calorífica que posee, físicamente posee una tonalidad negra junto con una textura viscosa.

A pesar de tener un relativamente bajo poder calorífico, es compensado por su viscosidad siendo muy importante por cuestiones de la cantidad necesaria ocupada para generar la energía de combustión deseada, además por su viscosidad requiere un proceso de

precalentamiento siendo su uso principal en las industrias debido a sus bajos costos que este presenta. (Diaz Sanchez & Diaz Santamaria, 2012)

Las características de bunker se muestran a continuación (Tabla 1):

Composición	Factores físico-químicos	Gases emitidos al ambiente por combustión	Factor de emisión (kg CO ₂ /TJ)
Parafina: 25%	Punto de ebullición: 200 a 400 °C	SO ₂ , ácido sulfúrico, material articulado, hidrocarburos poli cíclicos	73 300
Nafteno: 45%	Punto de fusión: -46°C aprox		
Compuestos aromáticos: 25%	Punto de inflamación: 62 a 174°C		
Hidrocarburos: 15%	Temperatura de auto ignición: 407°C		
	Solubilidad en agua: ninguna		
	Coefficiente de reparto octanol: 2,7 – 7,1 aprox		
	Densidad a 20°C: 0.96 g/ml		
	Poder calorífico: 39.7 TJ/1000 ton		

Tabla 1 "Datos informativos de combustible bunker" Fuente: organización internacional del trabajo ((ICSCs), 2015)

Diésel

También conocido como gasóleo, es de color marrón o ligeramente verdoso compuesto molecularmente de aproximadamente 11 carbonos, su principal cualidad consiste en su retraso de ignición y la ausencia de humo. (Miranda Mejía, Martínez Gómez, Kenedy Hernández-Miranda, Leonel Figueroa, & Aguirre, 2016)

A continuación, se muestran las características de diésel (Tabla 2).

Composición	Factores físico-químicos	Gases emitidos al ambiente por combustión	Factor de emisión (kg CO ₂ /TJ)
Hidrocarburos aromáticos: 25%	Punto de ebullición: 282 a 338 °C	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, hollín, hidrocarburos policíclicos	72 600
Hidrocarburos saturados: 75%	Punto de fusión: -30 a -18°C aprox		
	Punto de inflamación: 52°C		
	Temperatura de auto ignición: 254 a 285°C		
	Límite de explosividad % volumen de aire: 0.6 a 6.5		
	Coefficiente de reparto octanol: >3.3		
	Densidad: 0.87 a 0.95 g/ml		
	Poder calorífico: 40.8 TJ/1000 ton		

Tabla 2 "Datos informativos de combustible bunker" Fuente: organización internacional del trabajo ((ICSCs), 2015)

Gas natural

El gas natural es considerado uno de los más amigables con el medio ambiente en referencia a los combustibles fósiles, siendo el que menos contenido de dióxido de carbono posee su composición puede ser variable en función de donde se encuentre, aunque siempre constara en gran parte de metano y concentraciones de variables de propano, nitrógeno etc. (Lapuerta Torres, 2008)

Las características del gas natural se muestran a continuación (Tabla 3):

Composición	Factores físico-químicos	Gases emitidos al ambiente por combustión	Factor de emisión (kg CO ₂ /TJ)
Metano: 88.5%	Punto de ebullición a 1 atmósfera: -160°C	Mercurio, óxido de nitrógeno, azufre y CO ₂ en bajas cantidades	54 300
Hidrocarburos: 11.5%	Punto de fusión: -183 °C		
	Punto de inflamación: -188°C		
	Límite inferior de explosión: 4.14% vol.		
	Límite superior de explosividad: 17% vol.		
	Densidad: 0.65 g/ml		
Poder calorífico: 46.5 TJ/1000 ton			

Tabla 3 "Datos informativos de combustible bunker" Fuente: organización internacional del trabajo ((ICSCs), 2015)

1.6.3 Poder calorífico

El poder calorífico es la magnitud de calor que se genera al quemar una unidad de volumen de un material.

A continuación, se presenta el poder calorífico de algunos combustibles. (tabla 4)

Combustible	PCS	PCI	Relación PCI / PCS %
<i>Combustibles sólidos</i>			
Antracita	8.360	8.000	95,7
Carbón vegetal	7.500	7.200	96,0
Biomasa de cardo seca	3.899	3.608	92,5
Biomasa de cardo con el 15% de humedad	3.333	2.999	90,0
Biomasa de chopo seca	4.704	4.392	93,4
Biomasa de chopo con el 20% de humedad	3.770	3.456	91,7
<i>Combustibles líquidos</i>			
Fuel-oil nº 1	10.150	9.450	93,1
Gasolina	11.200	10.500	93,7
Gasoil de automoción	10.300	9.695	94,1
Etanol de 99,5 (0,5% de agua en volumen)	7.200	6.900	95,8
Etanol de 96 (4% de agua en volumen)	6.740	6.420	95,2
<i>Combustibles gaseosos</i>			
Metano	12.738	11.130	87,4
Propano	12.900	11.000	85,3
Butano	11.800	10.900	92,4

Tabla 4 "Poder calorífico de los principales combustibles" Fuente: (Martínez Crespo, y otros, 2003)

Poder calorífico superior

También caracterizado por sus siglas "PCS", además del calor generado por el material se considera también al calor recuperado a partir de la condensación de los gases emitidos por la combustión.

Poder calorífico inferior

También caracterizado por sus siglas "PCI", a diferencia del poder calorífico superior aquí se considera la no condensación de los vapores y además se resta el calor absorbido por los vapores.

1.6.4 Densidad

La densidad de un material se encuentra definida por la cantidad de masa presente en cierta cantidad de volumen y se determina mediante la siguiente formula.

$$\rho = m/v$$

Siendo:

m = masa

v = volumen

1.6.5 Biocombustibles

Obtenida a partir de la biomasa tuvo su origen en el siglo XIX como una nueva alternativa de obtención de energía térmica, para lograr satisfacer parte del consumo de los combustibles convencionales, sin embargo, no todo es únicamente como alternativa económica sino también como una oportunidad de reducir las emisiones de gases contaminantes.

Los procesos para la obtención de biocombustibles son variados, y parten desde el tipo de materia orgánica se usada para la generación. Los biocombustibles pueden ser categorizados en primera, segunda y tercera generación, siendo los de primera generadores usando como recurso productos agrícolas como la caña de azúcar, maíz entre otros. Como segunda generación hace uso de materiales de origen vegetal con características, leñosas, agrícolas entre otros. Los de tercera generación son los que usan como principio las propiedades energéticas del material a usar como las algas, por ejemplo. (Alejos & Calvos, 2015)

Ventajas

No cabe duda que los biocombustibles en estos últimos años han tenido muchos puntos a favor, principalmente lo que destaca en ello es el enfoque ambiental ya que son renovables desde el punto de vista de la materia prima, sobre todo en el área agrícola.

Otro aspecto importante es su reducida emisión de gases de efecto invernadero mitigando la producción de dióxido de carbono, además al ser combustionado es mucho más limpio que los combustibles fósiles convencionales.

Desventajas

Una de las principales desventajas o inconvenientes de los biocombustibles radica en su generación, puesto que se debe considerar el volumen de generación de un sistema y que al

implementar maquinas que consuman energía para producir el combustible puede llegar a consumir más energía de la que llega a producir.

Otro hecho posible es la generación de biocombustible con materia prima cuyo objetivo de origen sea destinado a la producción de dicho combustible. La posible desventaja sería la deforestación para utilizar plantas cuyo fruto no sea consumible y sea únicamente como biomasa. (Soren & Parra, 2016)

1.6.6 Biogás y su relación con el medioambiente

El biogás toma origen en el medio a partir del siglo XVII como un medio interesante que hace uso de los desechos orgánicos para la obtención del biogás, todo el proceso necesario para la generación se basa en la descomposición microbiológica, pudiendo darse tanto de manera natural como a través de procesos artificiales mediante un denominado biodigestor.

Todo este proceso sucede en un entorno libre de oxígeno y húmedo que es denominado como digestión anaeróbica, donde los microorganismos generan varios gases entre los que abundan el dióxido de carbono CO₂ y metano CH₄, además de ácido sulfhídrico SH₂ en pocas cantidades. (Alejos & Calvos, 2015)

Las industrias dedicadas a la generación de biogás mantienen el ideal de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, sin embargo, debido a los gases que se generan es necesario recurrir a métodos externos para mitigar este impacto que podrían causar estos gases al ser expulsados directamente al ambiente, entre las distintas medidas se encuentra es el uso de antorchas para mitigar las emisiones del metano.

En la siguiente tabla (Tabla 5), se muestra la composición del biogas.

Componente	Concentración
Dióxido de carbono (CO ₂)	26 – 46%
Metano (CH ₄)	51 – 74%
Ácido sulfhídrico (SH ₂)	19 – 22000 ppm
Nitrógeno (N)	<2%
Oxígeno (O)	<2%
Hidrogeno (H)	<1%

Tabla 5 "Composicion del biogás" Fuente: (Soria & Carvajal, 2013)

Emisiones de dióxido de carbono

Las sustancias que conllevan un riesgo son difusas al medioambiente a través de la producción y la quema del biogás. Enfocándose en el dióxido de carbono que además está relacionado con el transporte, en el caso de la biomasa se considera a la emisión como parte de un proceso no antropogénico y neutro con respecto al cambio climático.

Emisiones de metano

Este elemento mientras no se someta a las mezclar de carburo no se considera como perjudicial para la salud, sin embargo, es considerado un causante de efecto invernadero, por lo tanto, son un punto de suma importancia para el medio ambiente controlar este elemento que suele emitirse por la combustión no completa del biogás.

1.6.7 Biodigestor

Considerado reactor, suele ser denominado también como digestor biológico es un sistema hermético que capta la materia orgánica para mediante un proceso biológico descomponer dicha materia orgánica, a través de una serie de capas constituidas por materiales de filtrado y ricos en microorganismos.

Condiciones para una correcta función de un biodigestor

En los siguientes datos (Tabla 6) se muestran las condiciones necesarias para el funcionamiento de un biodigestor.

Parámetros	Hidrolisis/Acido génesis	Metalogénesis
Temperatura	26 – 36°C	Mesófilo: 30 – 40°C Termófilo: 51 – 59°C
PH	5.2 – 6.3	6.7 – 7.5
Relación carbono - nitrógeno	10 - 45	20 - 30
Contenido de materia orgánica	< 40% MS	< 30%
Potencial rédox	+ 400 a – 30mV	< -250 mV
Elementos	Ninguno	Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Mo, Ze

Tabla 6 "Parámetros de un biodigestor" Fuente: (Winston, 2016)

Componentes de un sistema de biodigestor

Tanque o reservorio de carga

Este elemento constituye el espacio utilizado para almacenar toda la materia orgánica o agua residual necesaria para el biodigestor. Este tanque puede ser modificado para controlar una degradación más rápida de los desechos.

Reservorio de descarga

Una vez finalizado el proceso de generación los desechos son almacenados en este tanque, cuya finalidad es la de mantener un control sobre los desechos.

Digestor

Este es el corazón del sistema, siendo el encargado de alojar toda la materia orgánica para producir el biogás, dependiendo de las dimensiones que este tenga determinara el uso de agitadores especiales para usarlo en la materia orgánica.

Conducto de carga y descarga

Es el medio de desplazamiento encargado de conectar un elemento del otro, en su instalación es primordial que se usen vías rectas para evitar taponamiento y obstaculizaciones.

Al igual que el de carga el conducto de descarga cumple la función de servir como vía de desplazamiento y en este caso para la sobrecarga, el tubo es conectado del digestor al tanque de descarga.

Agitador

Este es muy importante para muchos biodigestores, cuya finalidad es la de evitar formaciones de nata en la superficie.

Clasificación de biodigestores

Existen biodigestores adecuados al tipo de función según el caso, así como de su complejidad de diseño. A continuación, se los detallan:

Biodigestor de tipo continuo

Comúnmente usado para aplicaciones industriales, siendo destinado al tratamiento de aguas residuales, además, también posee una gran capacidad de generación de biogás

Biodigestor de tipo semi-continuo

Se usa cuando los materiales ingresados al biodigestor son contenedores de un gran número de materia prima. La cantidad de biogás generado normalmente en la cercana a la misma cantidad de materia orgánica ingresada al biodigestor.

Biodigestor discontinuo

Este tipo de biodigestor tiene la peculiaridad de que cuando la cantidad de materia orgánica disminuye pueden retirar los sedimentos y lodos contenidos en el digestor y luego cuando sea necesario producir gas, se ensambla nuevamente y se le da inicio a un nuevo proceso microbiológico.

Tipos de biodigestores

Biodigestores domésticos

Suelen ser de tamaño reducido con una capacidad limitada y lenta, sin embargo, actualmente en los países desarrollados se los utiliza con mucha frecuencia. Su método de alimentación es por altura y requerimientos básicos en la parte técnica.

Biodigestor tipo hindú

Este biodigestor es de cúpula y su sistema de almacenamiento es variable cuyo centro de recolección está tapado por una membrana elástica que se expande cuando el gas es almacenado aumentando su volumen. (Winston, 2016)

A diferencia del doméstico este sí dispone de un gasómetro, en aspectos de alimentación y desechos generados se los complementa en el día.

Biodigestor chino

Este tipo se caracteriza por su forma de domo con una estructura sólida, construido totalmente enterrados.

Su desventaja es su poca eficiencia para producir biogás, pero lo compensa con la producción de abono. Para iniciar con el proceso del biodigestor es necesario ingresar

material orgánico y lodo activo para consiguiente integrar el material orgánico proveniente de actividades domésticas, los cuales serán la materia prima del proceso.

Mientras más cantidad de volumen de gas exista mayor será la presión concentrada en el domo, pudiendo generar entre 0.16 y 0.22 volúmenes de gas digerido por día.

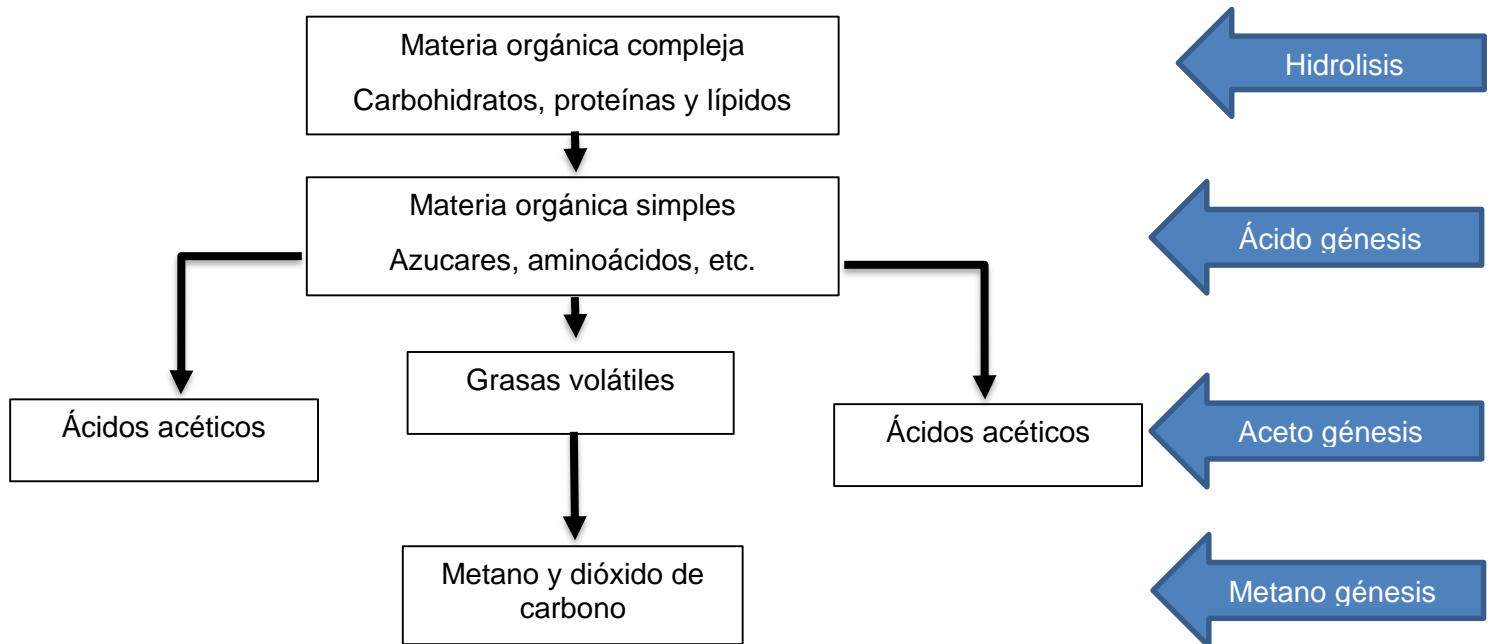
Digestor BATCH

Consiste en un tipo más industrializado, que se encuentra integrado por gabinetes herméticos, su objetivo principal es la producción ininterrumpida y lo logra hacer por la cantidad de digestores existentes. Es un tipo de reactor dedicado a situaciones particulares como por ejemplo para materias complejas de digerir.

1.6.8 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica se ha considerado como la principal forma de la producción de biogás, debido a la facilidad que posee la materia orgánica como apta para el crecimiento de colonias bacterianas que se convierten gracias a su descomposición en gas limpio.

Dependiendo del autor este proceso de digestión puede presentarse en tres o cuatro pasos y siguen siendo válidas, como se muestra en la figura (Grafica 1).



Grafica 1 "Procesos de la digestión anaerobia" Fuente: (Winston, 2016)

Hidrolisis

Este es un proceso relativamente lento que consiste en convertir las moléculas complejas a simples obteniendo como resultado azúcares y aminoácidos.

Ácido-génesis

Las moléculas resultantes del hidrolisis son transformadas a unas más simples, como bien sabemos el factor clave para que sucedan de manera correcta este proceso de digestión anaeróbica, por ende, la presencia del oxígeno y nitratos despista el proceso, durante este proceso el PH se reduce.

Aceto-génesis

En este proceso las bacterias se encargan de transformar la materia en ácido acético, a través de la aceleración de los procesos metabólicos de las bacterias.

Metalogénesis

Etapa final de la digestión anaerobia, el cual consiste en generar el metano a través de bacterias acetoclasticas y metano. Los metágenos mediante el hidrogeno reducen el oxígeno siendo este procedimiento predominante con aproximadamente una producción de 70% de metano.

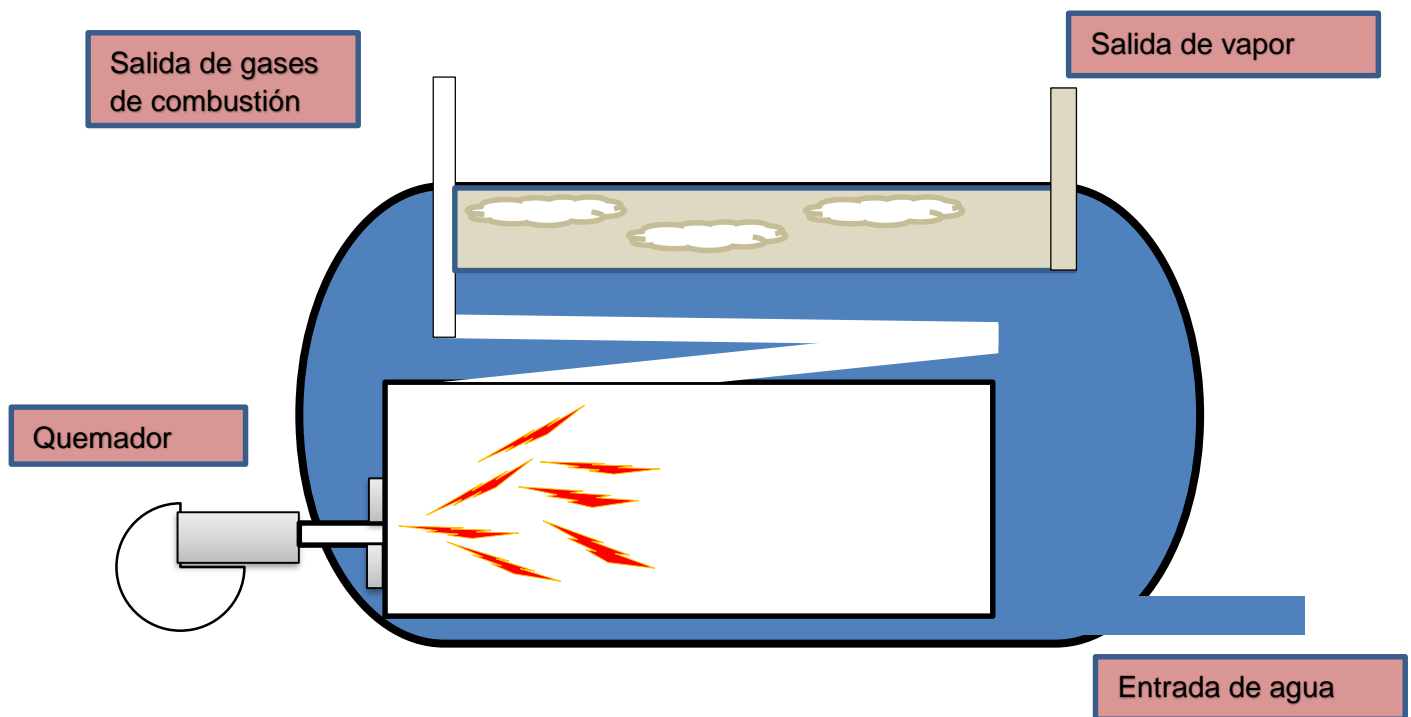
1.6.9 Calderas de vapor

Por definición general una caldera es un dispositivo cerrado al cual se le agrega agua, para que mediante la aplicación de temperatura obtenida por la combustión de un comburente o mediante medios eléctricos, todo esto en dependiente del tipo, capacidad y diseño.

Las calderas se pueden dividir de manera generalizada según su área de aplicación y suelen ser: domesticas o destinadas a residencias contando con una baja capacidad y presión cuya finalidad suelen ser de calefacción, luego le siguen las de tipo comercial que son igualmente destinadas a calefacción requiriendo un poco más de potencia en su caso para pequeñas operaciones de fabricación que requieran de pequeñas cantidades de vapor, le siguen las calderas industriales que son el tipo en el que nos enfocaremos y son diseñadas con capacidades necesarias para ser usadas únicamente para procesos industriales. (Alberto & Casas, 1994)

Las calderas cuentan con un mismo principio de funcionamiento y como se evidencio en su definición, es la de calentar un fluido a altas temperaturas para obtener ya sea vapor seco

o húmedo según su aplicación, para ello a continuación se presenta una esquematización (Grafica 2).



Grafica 2 "Esquema de una caldera" Fuente: Elaboración Propia

Componentes de una caldera

Anteriormente vimos el principio de funcionamiento mediante un esquema simple de una caldera estándar, en este apartado detallaremos de manera breve cada uno de los componentes generales de una caldera para comprender mejor su funcionamiento. (Fierro Fierro, 2018)

Quemador: es la fuente de energía del sistema, puede ser tanto de gases, de líquidos o de carbón, cualquier carburante o material inflamable con las condiciones necesarias para su uso.

Cámara de combustión: podría considerarse el centro donde ocurre la acción de combustión y además uno de los 2 puntos críticos alcanzando altísimas temperaturas, cercanas a los 2000°C.

Ductos de humo o gases de combustión: Su función principal es la de expulsar los gases producidos hacia un centro de acopio denominado caja de humos. Para que el sistema térmico funcione eficientemente deben poseer ductos amplios.

Caja de gases combustionados: o simplemente caja de humos, es un lugar donde convergen todos los gases producidos para luego ser expulsados por una chimenea.

Cámara de agua: el agua se mantiene en un constante intercambio de calor con el sistema de la cámara de combustión para generar los vapores para luego ser expulsadas mediante un ducto.

Equipamiento de calderas

Podríamos de cierto modo determinarlos como accesorios que complementan el funcionamiento y facilidad de medición y control, puesto que son todos los equipos, conexiones e instrumentos y son necesarios para su manejo y mantenimiento.

Principales inconvenientes presentados en el interior de las calderas

Algunos de los problemas más comunes en las calderas se muestran a continuación (Tabla 7):

Problemas	Descripción
Incrustación	Capa formada sobre la superficie calefactora y depende mucho de las sales que posea el agua, el principal problema con estas capas formadas es que su conductividad térmica es baja por lo que si la capa se extiende y cubre por completo la superficie encargada de transferir calor no será eficiente dicha transferencia. Para eso es importante que para evitar dichas incrustaciones.
Corrosión	Al ser metálicas todas las calderas las corrosiones son muy comunes debido a la intervención de altas temperaturas en el metal.
Depósitos	Muy similar a las incrustaciones con el detalle que estos son partículas posibles que aparezcan en el agua y se sedimenten ocasionando los problemas similares.
Arrastres	Intervención del vapor húmedo provocando inconvenientes mecánicos y químicos. Por un lado ocasionado por niveles de agua de operación, por otro lado con la alcalinidad del agua.

Tabla 7 "Inconvenientes de las calderas" Fuente: (Cerqueira, y otros, 2012)

Tipos de calderas

Acuotubulares

Se caracteriza porque la transferencia de calor se realiza en su capa externa, mientras los ductos de agua se ubican al interior en lo que el área de calor en contacto es mucho mayor, su uso es especial para trabajos con requerimientos de presiones altas que superan los 20 bar.

Este tipo de caldera suele tener una mayor transferencia térmica debido a que también la circulación de agua es superior logrando que su capacidad de producción de vapor se alta, además de que la calidad del líquido es muy importante, que no contenga demasiadas cantidades de alcalinidad. (Barrera, Betoret, Castelló, & Pérez, 2018)

En la siguiente imagen (Ilustración 1) se muestra el ejemplo de una caldera acuotubular.

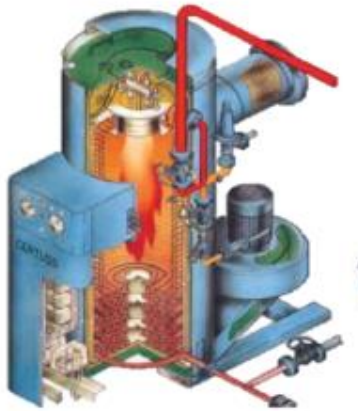


Ilustración 1 "Caldera acuotubular"
Fuente: (Barrera, Betoret, Castelló, & Pérez, 2018)

Ventajas

- Cantidad reducida por generación
- Mayor seguridad a altas presiones

Desventajas

- Costos elevados de implementación
- La calidad del agua que es ingresada es importante.

Caldera Pirotubular

Este tipo de caldera es para trabajos inferiores a las que suelen trabajar las calderas acuotubulares, estas son un poco más lentas ya que requieren de tiempo para lograr llegar a las presiones necesarias de funcionamiento para generar los vapores. (Barrera, Betoret, Castelló, & Pérez, 2018)

Son calderas con un diseño de tamaño limitado de entre 5 y 10 m de diámetro, suelen ser de fácil mantenimiento y económicas. (Ilustración 2)

Estas calderas se pueden subdividir en función de la disposición de los tubos de circulación de agua:

- Horizontal
- Vertical
- De un solo paso
- De varios pasos



*Ilustración 2 "Caldera pirotubular"
Fuente: (Barrera, Betoret, Castelló, & Pérez,
2018)*

Ventajas

- Diseño más sencillo que el de las calderas acuotubulares
- Poseen una gran capacidad de volumen de agua
- El agua no debe ser tratada al 100% como si lo requiere la acuotubulares
- En relación con el mantenimiento es mucho más fácil de realizarlo.

Desventajas

- Dimensiones grandes del sistema
- Requieren de mayor tiempo para alcanzar las presiones necesarias.
- No son diseñadas para presiones elevada

2 CAPÍTULO 2

2.1 METODOLOGÍA

El siguiente trabajo investigativo se encuentra basado en temáticas para guiar el desarrollo del mismo, a continuación, se detallan dichos temas:

2.1.1 Nivel de investigación

Para este proyecto se pretende desarrollar un trabajo con carácter explicativo, para así lograr analizar la adecuada propuesta de un sistema de reutilización de biogás en base a un desarrollo cuantitativo.

2.1.2 Enfoque de investigación

El enfoque de este trabajo investigativo es de carácter cuantitativo mediante la toma de datos por parte de la empresa, información teórica, cálculos técnicos y financieros.

2.1.3 Operacionalización de variables

Las variables son de primordial importancia dentro de la investigación, siendo las que ayudan a determinar mediante su análisis nuestra finalidad, y para ello se muestran a continuación (Tabla 8):

Tipo de variable	Variable	Concepto	Dimensión	Indicador
Dependiente	Estudio de implementación de biogás	Nuevas formas de aprovechamiento de biogás	Análisis de características del biogás	Revisión teórica de alternativas de reutilización del biogás
Independiente	Cantidad de biogás	Biogás expulsado mediante combustión sin utilización alguna	Gas generado por el biodigestor	Volumen de biogás

Tabla 8 "Operacionalización de variables" Fuente: Elaboración Propia

2.1.4 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo explicativa debido a que se pretende determinar los detalles y el estado actual del problema, así como establecer una visión generalizada del sistema para aclarar la ausencia de la implementación de un proyecto potencial.

2.1.5 Población

Como objeto de estudio se analizará el sistema de generación de biogás de una industria papelera ubicada en la provincia del Guayas.

2.1.1 Herramientas de estudio

Según se detallan a continuación se observan herramientas teóricas y prácticas necesarias para el desarrollo de investigación:

Herramientas teóricas

Ingeniería de métodos

La ingeniería de métodos dentro de este trabajo investigativo permite obtener un análisis de los procesos mediante herramientas como: Diagrama de Ishikawa, Árbol de problemas y Diagrama de Pareto, con el fin de identificar y determinar la mejor propuesta de solución.

Ecología y medio ambiente

Los conocimientos en este ámbito nos guiarán a un análisis de manera crítica para determinar la presencia de riesgos en el sistema y relacionar la incidencia del uso del biogás frente al impacto ambiental.

Termodinámica

Los conocimientos obtenidos en esta asignatura mediante la mecánica de fluidos, transferencia térmica y termodinámica, permite plantear y analizar la propuesta de solución para este trabajo investigativo.

Calculo de costos

Necesario para el desarrollo financiero de la propuesta de solución, logrando tener las bases firmes para sustentar que tan rentable resultara la propuesta.

Herramientas prácticas

Minitab

Facilidad para el desarrollo estadístico del sistema en base a muestreos de datos técnicos tomados, con la finalidad de conocer su orientación y tendencia.

Excel

Herramienta útil para desarrollar los cálculos financieros para la propuesta de solución de este trabajo investigativo.

Visio

Software que permite la creación de flujogramas y diagramas de procesos para organizar de manera visual las ideas de propuesta.

3 CAPÍTULO 3

3.1 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1.1 Tema

Análisis para la implementación de un proceso de reutilización del biogás que se da a partir de la generación de vapor en una planta de tratamiento de aguas residuales dentro de una industria papelera.

3.1.2 Desarrollo del tema

Para determinar la factibilidad de la reutilización de un sistema de biogás que se genera en una industria papelera se debe analizar la situación actual que va desde el desperdicio generado por el digestor hasta su futura reutilización.

Por ello, esta investigación pretende analizar su desperdicio actual y promedio, su composición química, su poder calorífico y densidad, sus equipos y maquinarias a implementar, sus indicadores financieros, y su viabilidad en el tiempo.

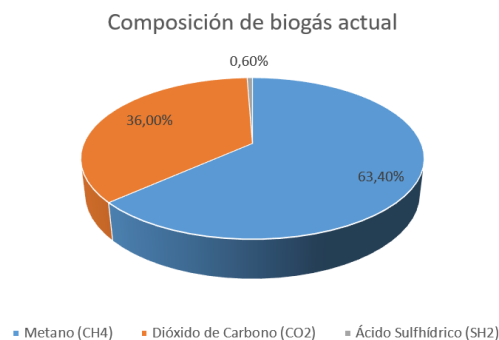
3.1.3 Estado Actual

La industria papelera a analizar produce sus productos terminados a partir del papel reciclado siendo una de las empresas más importante de papel a nivel nacional.

Dentro de dicha industria, existen diversos controles de desperdicios (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable, biológico-infeccioso) por lo cual tiene estrictas normativas de cuidado ambiental que permiten reducir significativamente el impacto ambiental, y a raíz de aquello surge por los directivos la implementación de un reactor anaeróbico o también llamado biodigestor, la cual por descomposición anaeróbica de un tratamiento de aguas residuales expulsa biogás (no contaminante) al medio ambiente a través de un proceso de combustión.

Dicho proceso se obtiene de un largo tratamiento de efluentes o aguas residuales de los procesos productivos de papel.

Actualmente el proceso de generación de biogás genera un promedio de 5400 (m³ Biogás) /d con un porcentaje de CH₄ (Metano) del 63.4%, un 36% de CO₂ (Dióxido de Carbono) y un 0.6% de SH₂ (Ácido Sulfhídrico).



Grafica 3"Composición de biogás actual" Fuente: Industria papelera

Este biogás es quemado al 100% por una antorcha que está ubicada junto al biodigestor, por lo que de acuerdo a su composición química se puede reutilizarlo en diferentes aplicaciones industriales.

Por otro lado, “las calderas permiten producir calor a los procesos productivos. Generalmente este calor se da al quemar combustible (diésel, gas licuado de petróleo, gas natural, bunker)” (Bahamondes, 2006). En esta industria papelera, existen 3 calderas distribuidos en cada uno de sus procesos. En el proceso de papel hay dos calderos de tipo acuotubulares, y un caldero de tipo piro tubulares.

El funcionamiento de las calderas se da mediante la transferencia de calor que es producido por la combustión. En esta industria actualmente usan combustible diésel y bunker para los procesos de generación de vapor. Por normativas de leyes ambientales de Ecuador, la cual menciona que se debe mitigar el impacto de las emisiones que se dan al ambiente, la empresa ha optado por disminuir los niveles de bunker e implementar los de combustible diésel en un 80% de sus calderas.

Una de las problemáticas que se da en la implementación de este tipo de combustibles es su valor económico a lo largo del tiempo. En nuestro país, el precio del diésel en la actualidad es de USD 1,65 (actualizado al 19/08/2021) por galón proyectándose a una tendencia alcista a futuro. Los subsidios estatales hacia los combustibles han ido disminuyendo generando así precios más altos de este hidrocarburo a nivel nacional (Grafica 4). Según fuentes internacionales, se estima que el precio del diésel y gasolina aumente considerablemente en el futuro (Grafica 5).

Evolución del valor de los subsidios. Periodo 2015–2020

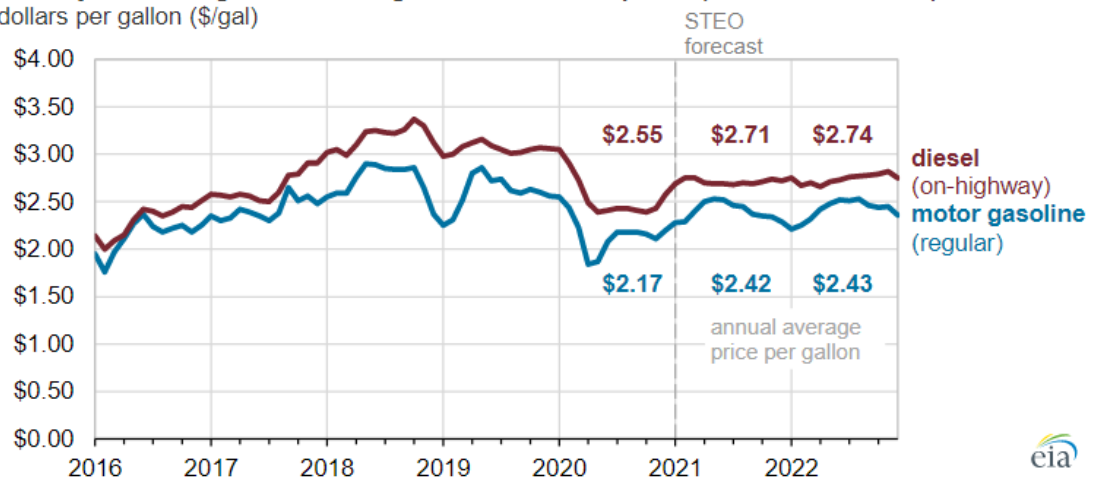
Año	Total subsidios	Combustibles	%
2015	3.377	2.065	61.15
2016	3.194	1.888	59.11
2017	3.086	1.799	58.30
2018	3.193	1.707	53.46
2019	6.955	4.176	60.04
2020	5.455	1.956	35.86

Valores en millones de dólares

Grafica 4 "Evolución del valor de los subsidios del 2015 al 2020" Fuente: (Rubio Flores, 2021)

Monthly U.S. average retail motor gasoline and diesel prices (Jan 2016–Dec 2022)

dollars per gallon (\$/gal)



Grafica 5 "Expectativa de la gasolina y diésel a futuro" Fuente: Energy Information Administration (2021)

El consumo de diésel en la actualidad se observa en la siguiente tabla (Tabla 9):

	2020	2021
Total	350.458	406.531

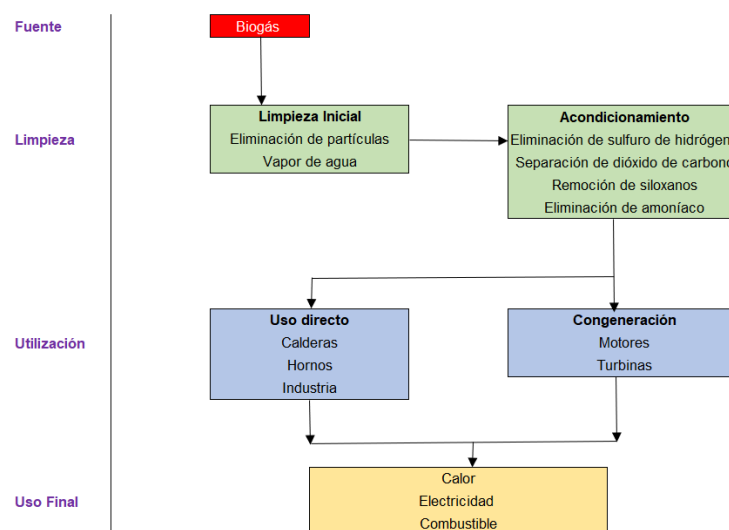
Tabla 9 "Consumo de diésel (Gal) anual" Fuente: Industria papelera

Por consiguiente, los gastos productivos van a depender de dos factores, el primero del precio del diésel en cierta cantidad de tiempo y el segundo del consumo que se genere a lo largo del tiempo. Como se observa en la tabla de consumo de combustible, del año 2020 a 2021 el combustible ha incrementado significativamente en el proceso de papel alrededor del 0.16%. Dando en sí un aumento en los costos del combustible en los últimos meses.

3.1.4 Análisis de propuestas

El biogás que se emite en el biodigestor no es puro en su totalidad ya que tienen consigo partículas de otros gases por lo que se necesita purificar dicho biogás. “Es importante purificar dicho biogás ya que permite aumentar el poder calorífico y con esto tener una mejor aplicación dentro de una industria”. (Moreno, 2011)

El biogás actualmente tiene diversos funcionamientos (Gráfica 6) ya sea para generar calor, electricidad o combustible.



Gráfica 6 "Utilización del biogás" Fuente: Elaboración propia

El biogás tiene diversas aplicaciones que pueden bordar desde niveles domésticos, comunitario e industrial (Acosta & Pasqualino, 2014). En un contexto industrial, el biogás puede ser utilizado para obtener fuente de energía térmica, también como un cogenerador de electricidad y calor o a su vez como un combustible útil para los procesos mecánicos.

Dentro de esta industria papelera, existen dos posibilidades para implementar este nuevo sistema eco-amigable ya sea en la generación de electricidad dentro de la planta o para uso de biocombustible que se podría aplicar dentro del sistema de caldera, y con esto disminuir costos generados por el consumo eléctrico o por combustibles. Para esta investigación, se toma a consideración el análisis de implementación como biocombustible utilizados en los procesos de calderas por lo que su estudio se enfoca como fuente de combustible.

3.5 Análisis teórico

Para la implementación de la reutilización del biogás desperdiciado es necesario analizar si la oferta cumple con la demanda que se necesita para funcionar ya sea como generación de energía o como uso de biocombustible en las calderas. Para este trabajo se lo analizará como uso de biocombustible, por ello, con los datos obtenidos de la empresa se realiza un análisis con respecto al vapor generado en las calderas para producir papel. Para realizar el análisis, se tiene que considerar el poder calorífico (mínimo y máximo) de ambos combustibles tanto el actual siendo este diésel y el futuro que es el biogás. También se debe tomar en cuenta las densidades de ambos elementos para así relacionarlo con el vapor necesario que se necesita para que funcione dicho proceso.

Según datos obtenidos por la empresa, se tiene que el promedio mensual de generación de vapor en calderas durante este lapso de tiempo en los meses de abril, mayo y junio fue de 3'230.112 Lb vapor / mes. El biogás bruto disponible es en promedio alrededor de 5400 (m³ Biogás) /d. La eficiencia de caldera del uso del vapor con relación combustible es de 116 Lb vapor/ Gal diésel.

Los datos teóricos universales a utilizar se lo resumen en la siguiente tabla (Tabla 10)

	Valor	Unidades
Poder Calorífico		
LHV (CH4)	50	MJ/Kg
HHV (CH4)	55,5	MJ/Kg
LHV (Diésel)	43,4	MJ/Kg
HHV (Diésel)	44,8	MJ/Kg
Densidades		
Diésel	850	Kg/m3
Metano	0,657	Kg/m3

Tabla 10 "Recopilación de valores teóricos" Fuente: Elaboración Propia

Para comparar la oferta con relación a la demanda, es necesario llevarlos a las mismas unidades por lo que a continuación se hacen las conversiones necesarias:

Generación de vapor anual en caldera

$$GVA = 3'230.112 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = \mathbf{38'761.344} \frac{\text{Lb vapor}}{\text{año}}$$

Consumo de combustible anual

$$GVA = 38'761.344 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{año}} / 116 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{Gal diésel}} = \mathbf{334.149,52} \frac{\text{Gal}}{\text{año}}$$

Biogás útil

$$5400 \frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{\text{día}} * 63.4\% (\text{Metano}) = \mathbf{3.423,60} \frac{\text{m}^3 (\text{CH}_4)}{\text{d}}$$

Equivalencia del biogás en relación al vapor

$$EBCV = 116 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{Galón diésel}} * 264,172 \frac{\text{Galón}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ diésel}}{850 \text{ Kg diésel}} * \frac{1 \text{ Kg diésel}}{43,4 \text{ MJ}} = \mathbf{0,831} \frac{\text{Lb vapor}}{\text{MJ}}$$

$$\text{Mínimo CH}_4 = 0.831 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{MJ}} * 50 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * 0,657 \frac{\text{Kg CH}_4}{\text{m}^3 \text{ CH}_4} * 3.423,60 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{d}} = \mathbf{93.458,63} \frac{\text{Lb vapor}}{\text{d}}$$

$$\text{Máximo CH}_4 = 0.831 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{MJ}} * 55,5 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * 0,657 \frac{\text{Kg CH}_4}{\text{m}^3 \text{ CH}_4} * 3.423,60 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{d}} = \mathbf{93.458,63} \frac{\text{Lb vapor}}{\text{d}}$$

$$\text{Mínimo CH}_4: 93.458,63 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{d}}$$

$$\text{Máximo CH}_4: 103.739,08 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{d}}$$

$$\text{Promedio: } 98.598,86 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{d}}$$

Generación anual de biogás útil con relación al vapor

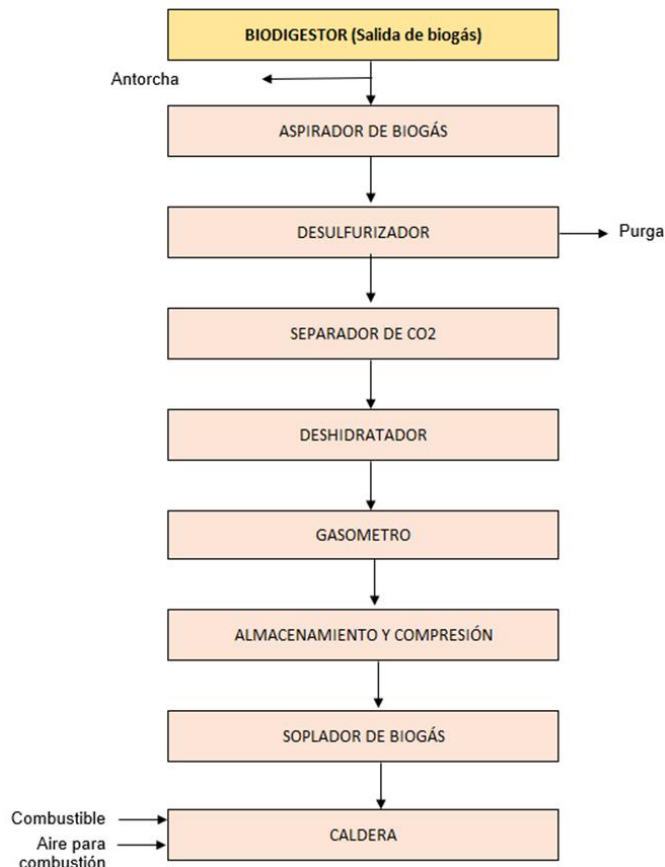
$$GBD = 98.598,86 \frac{\text{Lb vapor}}{\text{día}} * \frac{30 \text{ día}}{1 \text{ mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = \mathbf{35'495.587,8} \frac{\text{Lb vapor}}{\text{año}}$$

Cómo se observa en el análisis de generación de vapor de caldera y de generación de biogás anual, se puede determinar que el sistema cumple con la energía de vapor necesaria para cumplir la demanda.

3.6 Propuesta de nuevo sistema

Para generar biocombustible a raíz del biogás se requiere diversos procesos que permitan correctamente su utilización final. Para ello, el biogás debe pasar por un proceso de limpieza ya sea en desulfurizar o deshidratar el gas, también se necesita almacenar, comprimir y estabilizar el flujo para así obtener mejor manejo del mismo.

A continuación, se muestra un diagrama de proceso para la implementación del sistema en esta industria papelera (Gráfica 7) en base a un sistema implementado en una industria en Brasil para generar electricidad (Souza & Schaeffer, 2013) y una investigación de purificación del biogás se obtiene lo siguiente (Moreno, 2011):



Grafica 9 "Diagrama de proceso para propuesta" Fuente: Elaboración Propia

Aspirador de biogás: Un aspirador o ventilador tiene como función principal obtener o aspirar el biogás saliente del proceso de biodigestor y transferirlo al siguiente proceso.

Desulfurizador: Este proceso se encarga de reducir o eliminar el H₂s o Sulfuro de Hidrógeno que se da a partir del biogás

Separador de CO2: Es un filtro que permite separar o reducir el dióxido carbono adherido al biogás.

Deshidratador: La deshidratación del biogás permite reducir o eliminar hidratos adherentes en el mismo, éstos pueden generar cristales que puede ocasionar taponamiento de líneas. Esto es requerido porque el biogás está en un estado de sobre saturación del vapor de agua la cual se da a la salida del reactor anaerobio.

Gasómetro: Es un gran container en el cual el gas se almacena a cierta cantidad presión. (Hernández, 2018) Permite estabilizar el flujo de gas y llevarlo a la presión necesaria para su utilización final.

Almacenamiento y compresión: Se da a través de un tanque que puede denominarse bombona la cual almacena y distribuye el gas del sistema.

Soplador de biogás: Es un dispositivo generalmente mecánico que permite la circulación de gas dentro de un sistema mediante unas aspas móviles.

Cada proceso indicado en la ilustración anterior permite obtener el biocombustible en estado gaseoso. Para implementarlo como tal, se debe considerar el cambio de composición química de las calderas, de diésel a biogás. Por lo que es importante realizar una limpieza del mismo y así adaptarlo a esta nueva fuente de combustible.

3.7 Análisis Financiero

El análisis financiero permite evaluar el desempeño económico real a lo largo del tiempo y con esto, detectar falencias financieras en el proceso (Rosillón & Marbelis, 2009).

Análisis económico del uso de biogás en reemplazo del diésel

Es importante analizar el costo-beneficio de la implementación de esta alternativa de combustible, para ello, se realizar un cálculo de beneficio anual. Ésta se obtiene del producto actual del precio internacional del combustible diésel con el combustible equivalente disponible del biogás. (Tabla 11)

ANÁLISIS DEL USO DEL BIOGÁS		
PRECIO INTERNACIONAL DEL DIESEL (Fecha: 19/08/21)	USD/GAL	\$ 2.40
COMBUSTIBLE EQUIVALENTE DISPONIBLE EN EL BIOGÁS	GAL/año	305.996,77
USO DE BIOGAS EN REEMPLAZO PARCIAL DE COMBUSTIBLE	USD/AÑO	\$ 734.392,25

Tabla 11 "Análisis económico del uso del biogás" Fuente: Elaboración propia

3.8 Análisis de inversión

Un análisis de inversión tiene el objetivo de identificar los beneficios a corto, mediano o largo plazo. Está enfocado en la viabilidad económica de proyecto, y con esto tomar la mejor decisión para la empresa. (Gómez Manotoa, 2017)

Presupuesto

Para la implementación de los nuevos equipos se requiere tomar a consideración algunos factores tales como costos de los equipos, costos de instalación de equipos y maquinarias, repuestos y mantenimiento, costos de importación o cláusula de Incoterm EXW. A continuación, se presenta un cuadro de presupuesto con valores referenciales promedio de equipos, maquinarias e instalación del sistema propuesto.

Descripción	Valor Unitario
EQUIPOS	
ASPIRADOR DE BIOGÁS	\$ 55.000,00
DESULFURIZADOR	\$ 240.000,00
SEPARADOR DE CO2	\$ 250.000,00
DESHIDRATADOR	\$ 65.000,00
GASÓMETRO	\$ 205.000,00
ALMACENAMIENTO Y COMPRESIÓN	\$ 350.500,00
SOPLADOR DE BIOGÁS	\$ 50.000,00
DISTRIBUCIÓN DE MAQUINARIAS (SKID MOUNT)	\$ 72.000,00
INSTALACIÓN	
INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	\$ 180.000,00
ASISTENCIA TÉCNICA DE DESHIDRATADOR	\$ 11.000,00
ASISTENCIA TÉCNICA DE DESULFURIZADOR	\$ 17.500,00
ASISTENCIA TÉCNICA DE SEPARADOR DE DIOXIDO DE CARBONO	\$ 14.000,00
ASISTENCIA TÉCNICA DE ALMACENAMIENTO Y COMPRESIÓN	\$ 20.800,00
MANTENIMIENTO Y REPUESTOS	
EQUIPOS	\$ 10.800,00
IMPORTACIÓN (EXW)	
20% (REFERENCIA)	\$ 231.240,00
IMPREVISTOS 6%	\$ 92.496,00
TOTAL	\$ 1.865.336,00

Tabla 12"Presupuesto para implementación de nuevo sistema" Fuente: Elaboración Propia

Cuenta de resultados

Para realizar la cuenta de resultados, se necesita tener a consideración la inversión total del proyecto, la rentabilidad del proyecto anualmente, la depreciación de los equipos y/o maquinarias, impuestos, utilidad, devolución de depreciación.

A continuación, se detalla en una tabla la cuenta de resultados a proyección de 5 años (Tabla 13):

Datos para el Análisis

Inversión	Años					
	Inversión	1	2	3	4	5
Flujo de Caja Neto	-1.865.336	753.691	753.691	753.691	753.691	753.691
Depreciación 5 años		-373.067	-373.067	-373.067	-373.067	-373.067
Utilidad Antes de Impuestos		380.624	380.624	380.624	380.624	380.624
Impuestos 22%		-71.177	-71.177	-71.177	-71.177	-71.177
Utilidades Trabajadores 15%		-57.094	-57.094	-57.094	-57.094	-57.094
Utilidad Después de Impuestos		252.353	252.353	252.353	252.353	252.353
Devolución Depreciación		373.067	373.067	373.067	373.067	373.067
FLUJO NETO	-1.865.336	625.421	625.421	625.421	625.421	625.421

Tabla 13 "Cuenta de resultados de implementación de este sistema" Fuente: Elaboración Propia

Razón beneficio-coste

Para hallar la razón costo-beneficio, se necesita calcular el VAN y el TIR de esta inversión.

VAN

“El VAN o Valor Actual Neto es la cantidad actual que se da en los flujos neto del proyecto o inversión” (Mete, 2014). Para calcular el VAN se utiliza la fórmula siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

$$\begin{aligned}
 &= -1'835.336 + \frac{\$558.411}{(1+0.12)^1} \\
 &\quad + \frac{\$558.411}{(1+0.12)^2} \\
 &\quad + \frac{\$558.411}{(1+0.12)^3} \\
 &\quad + \frac{\$558.411}{(1+0.12)^4} \\
 &\quad + \frac{\$558.411}{(1+0.12)^5} \\
 &= \mathbf{\$389.165}
 \end{aligned}$$

Como se puede observar, el valor es mayor a cero demostrando así la viabilidad del proyecto.

TIR

“La tasa interna de rentabilidad es una medida que permite la evaluación de un proyecto o de una inversión”. (García, Acero de la Cruz, & Perea, 2007) Para calcular el TIR se iguala a cero la fórmula del VAN.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

$$-1'835.336 + \frac{\$558.411}{(1 + TIR)^1} + \frac{\$558.411}{(1 + TIR)^2} + \frac{\$558.411}{(1 + TIR)^3} + \frac{\$558.411}{(1 + TIR)^4} + \frac{\$558.411}{(1 + TIR)^5} = 0$$

TIR=20.1% k=12%

TIR>k, el *proyecto es aceptable*

TIR=k, el *proyecto es neutral*

TIR<k, el *proyecto debe rechazarse*

Inversión: \$ 1'865,336	Valor presente	Valor presente acumulado
Año 1	\$546.987	\$ -1.318.348,76
Año 2	\$488.381	\$ -829.967,29
Año 3	\$436.055	\$ -393.912,41
Año 4	\$389.335	\$ -4.577,70
Año 5	\$347.620	\$ 343.042,58

Tabla 14"Cuadro comparativo de valor presente y valor presente acumulado" Fuente: Elaboración Propia

Este proyecto tiene un TIR mayor a la tasa de descuento, por lo cual es favorable implementarlo en la empresa.

Retorno de inversión

“El ROI es un indicador financiero que permite a la empresa conocer la cantidad de dinero pérdidas o ganados a lo largo de un lapso de tiempo.” (Cuevas Villegas, 2001)

Para hallar el retorno de inversión, es importante obtener el valor presente neto (VPN) la cual se obtiene con la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

$$VP1 = \frac{\$612.626}{(1+0.12)^1} = \$546.987 \text{ (año 1)}$$

$$VP2 = \frac{\$612.626}{(1+0.12)^2} = \$488.381 \text{ (año 2)}$$

$$VP3 = \frac{\$612.626}{(1+0.12)^3} = \$436.055 \text{ (año 3)}$$

$$VP4 = \frac{\$612.626}{(1+0.12)^4} = \$389.335 \text{ (año 4)}$$

$$VP5 = \frac{\$612.626}{(1+0.12)^5} = \$347.620 \text{ (año 5)}$$

Como se observa en la tabla anterior, a partir del tercer año se recupera la inversión. Para calcular el año de retorno de inversión se hace la relación del último valor presente acumulado con el valor total del siguiente año.

$$\text{Retorno de Inversión} = \frac{4.577,70}{347.620} + 4(\text{Año}) = \mathbf{4 \text{ años}}$$

Este proyecto es rentable ya que el retorno de inversión se lo obtiene en 4 años.

3.9 Análisis de resultados

Los análisis realizados en este trabajo investigativo han dado los siguientes:

Generación de vapor anual en caldera	Generación anual de biogás útil disponible
38'761.344 $\frac{\text{Lb vapor}}{\text{año}}$	35'495.587,8 $\frac{\text{Lb vapor}}{\text{año}}$

Tabla 15 "Resultados de Generación de Biogás" Fuente: Elaboración Propia

La reutilización del biogás desperdiciado por el biodigestor puede sustituir un 93.16% al diésel usado actualmente por lo que se debe trabajar con un equipo dual gas/diésel para su futura implementación en calderas.

Los indicadores económicos demuestran que es factible implementar en la empresa dicha inversión, a continuación, se muestra un cuadro de resumen de dicho análisis:

Valor de la Inversión	\$ 1.865.336,00	USD
Tasa de descuento	12%	Porcentaje
VAN a cinco años	\$ 343.042,58	USD
TIR a cinco años	19,2%	Porcentaje
Beneficio Real de la Inversión	\$ 612.625,71	USD
Retorno	4,0	Años

Tabla 16 "Indicadores económicos" Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que para el presupuesto de inversión de este proyecto se tomaron valores referenciales promedios de equipos y maquinarias. Sin embargo, los resultados demuestran que tiene un buen margen de ganancia.

4 CONCLUSIONES

Con los respectivos análisis realizados en este trabajo investigativo se concluye lo siguiente:

- El biogás es un tipo de biocombustible que se produce de manera natural a partir de una descomposición de una materia orgánica. Este gas puede ser utilizado para producir calor en hornos, calderas, secadores industriales, también su uso puede darse para generar energía eléctrica, para cada proceso de futuro uso es importante adaptarlo con un sistema adecuado. La composición actual de biogás de esta industria es de CH₄ (Metano) del 63.4%, un 36% de CO₂ (Dióxido de Carbono) y un 0.6% de SH₂ (Ácido Sulfhídrico).
- Los combustibles dentro del contexto industrial toman un rol importante en los procesos productivos. Pero actualmente existen dos problemáticas a nivel mundial, la primera es acerca de la contaminación ambiental que éstas producen las cuales las normativas mundiales tratan cada vez minorar su grado de contaminación, la siguiente es en relación a los costos la cual se proyecta en el futuro un alza en sus precios. En la industria analizada, por normativas ecuatorianas la empresa optó por cambiar el combustible bunker por el de diésel ya que su grado de contaminación es menor. Sin embargo, el impacto ambiental sigue intrínseco, por lo que la alternativa es implementar fuentes de energías renovables.
- Es factible usar el desperdicio de biogás existente y emplearlos como biocombustible en las calderas de la industria. Implementando esta alternativa de energía verde la empresa puede minorar su impacto ambiental un 35% a 45% y permite reducir costos de producción ya que generaría biocombustible a partir de un desperdicio de biogás impactando positivamente al factor económico.
- Para implementarlo y utilizarlo a futuro, es importante tener un proceso de purificación del gas, por lo que, con la ayuda del análisis de procesos estudiados en ingeniería industrial se plasmó el proceso más óptimo. La reutilización del biogás desperdiciado por el biodigestor puede sustituir

un 93.16% al diésel usado actualmente por lo que se debe trabajar con un equipo dual gas/diésel para su futura implementación en calderas.

- La implementación del nuevo sistema genera un VAN positivo, un TIR mayor a la tasa de descuento y ROI en 4 años la cual es viable implementarlo.

5 RECOMENDACIONES

Dados los análisis respectivos para la reutilización del sistema propuesto se recomienda lo siguiente:

- Implementar y desarrollar este nuevo sistema como biocombustible en las calderas, las cuales obtendrán beneficios económicos y ambientales para la empresa, optimizando los costos de producción y disminuyendo las emisiones de contaminación ambiental.
- Realizar una ingeniería de detalle tanto para los equipos nuevos a implementar como para los existentes, identificando así las características ideales dicho sistema.
- Desarrollar mantenimiento y sistema de limpieza a cañerías, equipos o maquinarias con el fin de tener un sistema útil.
- Se debe realizar una limpieza al sistema actual para adaptarlo a este nuevo sistema.
- Gestionar correctamente los efluentes de agua y los microorganismos del reactor anaeróbico ya que el nuevo sistema de biocombustible va depender directamente de dicho desarrollo.
- Realizar mantenimientos preventivos a las calderas para garantizar su correcto funcionamiento.

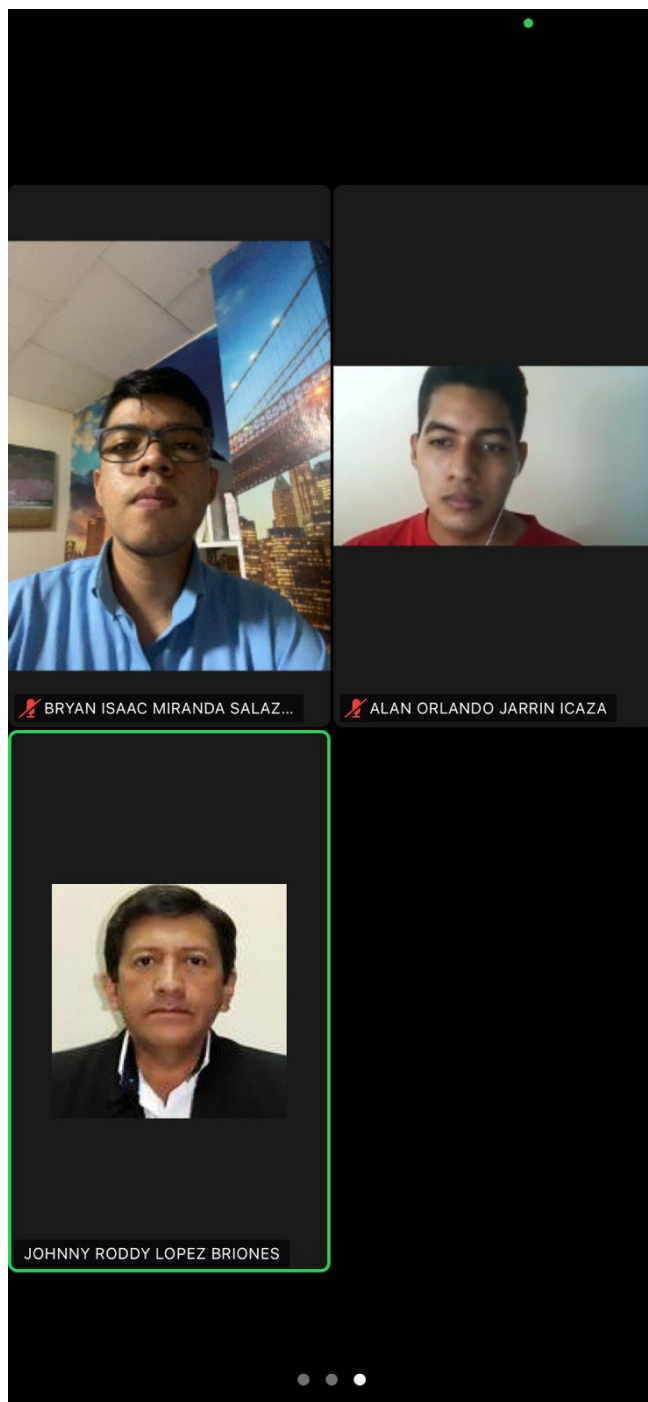
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (ICSCs), F. I. (Junio de 2015). *International Labour Organization*. Obtenido de https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=1774&p_version=1&p_language=es
- Acosta, M. P., & Pasqualino, J. (Julio-Diciembre de 2014). Pontencial de Uso de Biogás en Colombia. *Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco (FUTCO)*, 14(2), 23-33. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6382641.pdf>
- Alberto, J., & Casas, V. (1994). Guía básica de Calderas Industriales Eficientes. *Corporación Universitaria Autónoma de Occidente*, 1-42. Obtenido de http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Quimica/cald_efi_indus.pdf
- Alejos, C., & Calvos, E. (Diciembre de 2015). Biocombustibles de primera generación. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 18, 19-30. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/11784>
- Bachmann, N. (2015). Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants. *IEA Bioenergy*, 20. Obtenido de https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/iea_bioenergy_tas_k37_wastewater_biogas_grey.pdf
- Bahamondes, P. A. (2006). Descripción de caldera y generadores de vapor. *Academia*, 5. Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52068970/descripcion-de-caldera-y-generadores-de-vapor-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1632754589&Signature=R3XMAqT1ex98zjjLv4iMQxquikrqW2UCsPs65VFBGrLJEfiMv8M08Uy-EhUhtB~w18mY0y8G-U9E77Q4XoqFHs4muZ-2beMUaRijlA4n8WFI>
- Barrera, C., Betoret, N., Castelló, M., & Pérez, É. (2018). Aspectos básicos relacionados con el funcionamiento de una caldera. *Repositorio de la Universidad Politécnica de Valencia*, 9. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104064/Barrera%3bBetoret%3bCastell%3b%20-%20Aspectos%20b%3ba1sicos%20relacionados%20con%20el%20funcionamiento%20de%20una%20caldera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerdeira, D., Cid, J. S., Martínez, J. U., Otaola, P. G., Pequeruí, J. L., & Almeida, J. (2012). *Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas*. (Vol. 3). Madrid: Consejería de Economía y Hacienda. Obtenido de <https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>
- Cuevas Villegas, C. F. (abril-junio de 2001). Medición del desempeño: Retorno sobre inversión, ROI; Ingreso Residual, IR; Valor económico agregado, EVA, Análisis comparado. *Universidad ICESI(79)*, 13-22. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/212/21207901.pdf>

- Díaz Sánchez, S. V., & Díaz Santamaría, S. G. (2012). Mejoramiento de la eficiencia de los generadores de vapor con aditivos. *Título de Ingeniero Químico*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4692/1/T189.pdf>
- Fierro Fierro, F. B. (2018). Control y mantenimiento de las redes de distribución de vapor en la industria. *Título de ingeniero de ejecución en mantenimiento*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45997/3560901543867UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, M. A., Acero de la Cruz, R., & Perea, M. J. (2007). *Análisis de inversiones ganaderas y veterinarias* (Vol. 5). Córdoba: Universidad de Córdoba. doi:ISSN: 1698-4226
- Gebrezgabher, S., Meuwissen, M., Prins, B., & Lansink, A. (2010). Economic analysis of anaerobic digestion-A case of Green power biogas plant in The Netherlands. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 109-115. doi:10.1016/j.njas.2009.07.006
- Godoy Zúñiga, M., Silva Recalde, M., & Palacios Fuentes, o. (2018). La producción de biogás por degradación de abono orgánico como alternativa de energía en Ecuador. *DELLOS: Desarrollo Local Sostenible*, 18. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6507873>
- Gómez Manotoa, O. X. (2017). Evaluación financiera y análisis de riesgos de un proyecto de inversión para la elaboración de chocolate artesanal orgánico en el Ecuador. *Universidad Andina Simón Bolívar*. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6092/1/T2559-MFGR-Gomez-Evaluacion.pdf>
- Hernández, L. G. (2018). *Gasómetros, Historia y reciclaje de una tipología industrial en Europa*. Obtenido de https://oa.upm.es/51531/1/TFG_Hernandez_Gil_Laura.pdf
- Hhack, K. (25 de January de 2021). EIA expects gasoline and diesel prices to increase as U.S. economy recovers. Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=46536>
- Lapuerta Torres, A. (2008). El Gas Natural: Una posibilidad de combustible limpio en el Ecuador. *Universidad Andina Simón Bolívar*, 94. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/986/1/T678-MRI-Lapuerta-EI%20gas%20natural.pdf>
- Martínez Crespo, A., García, A., Fernández Gonzáles, J., Herrero García, M., Sardón, J., & Santos García, F. (2003). *Energías renovables para el desarrollo*. Madrid: Paraninfo. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=NyvcConR-xoC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Mete, M. R. (Marzo de 2014). Valor Actual Neto y Tasa de Retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Instituto de Investigación en Ciencias Económicas y Financieras*, 7(67-85), 1-19. doi:ISSN 2071- 081X

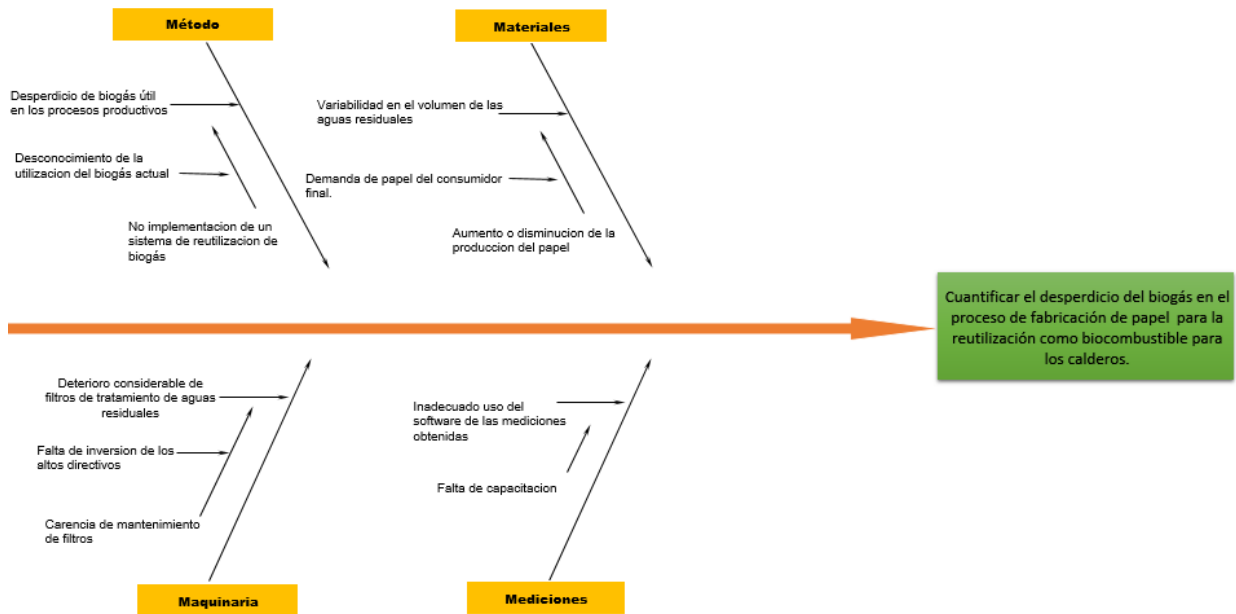
- Miranda Mejía, J. R., Martínez Gómez, S., Kenedy Hernández-Miranda, J. F., Leonel Figueroa, R., & Aguirre, N. (Mayo de 2016). Diagnóstico de contaminación atmosférica por emisiones diésel en la zona metropolitana de San Salvador y Santa Tecla. *Entorno*, 7-16. doi:10.5377/ENTORNO.V0I61.6125
- Moreno, M. V. (2011). Manuel de Biogás. *FAO*, 56. Obtenido de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Muñoz Cruz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. *Título de ingeniero industrial*. Universidad autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo. Obtenido de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/?sequence=1>
- Rosillón, N., & Marbelis, A. (Diciembre de 2009). Análisis financiero: una herramienta clave para una gestión financiera eficiente. *Revista Venezolana de Gerencia*. doi:ISSN 1315-9984
- Rubio Flores, K. J. (2021). Análisis sobre el impacto económico por la eliminación del subsidio a la gasolina en el Ecuador. *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*, 42. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16127/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-605.pdf>
- Soren, D., & Parra, G. (2016). Impacto de los biocombustibles y desarrollo de las energías alternativas en Colombia. *Revista Gestión y Desarrollo Libre*, 23-32. Obtenido de <http://www.unilibrecucuta.edu.co/ojs/index.php/gestionyd/article/viewFile/175/196>
- Soria, R., & Carvajal, P. (31 de Enero de 2013). Biogás: Una Alternativa para la Expansión de Generación Eléctrica en El Ecuador. *Revista Técnica "energía"*, 9, 38-45. doi:10.37116/REVISTAENERGIA.V9.N1.2013.131
- Souza, J., & Schaeffer, L. (2013). Sistema de compresión de biogás y biometano. *Universidad Federal de Rio Grande do Sul*, 24(6). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000600002>
- Winston, A.-P. (2016). Diseño De Un Biodigestor Doméstico Para El Aprovechamiento Energético Del Estiércol De Ganado. *Universidad de Piura*, 1-251. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7 ANEXOS



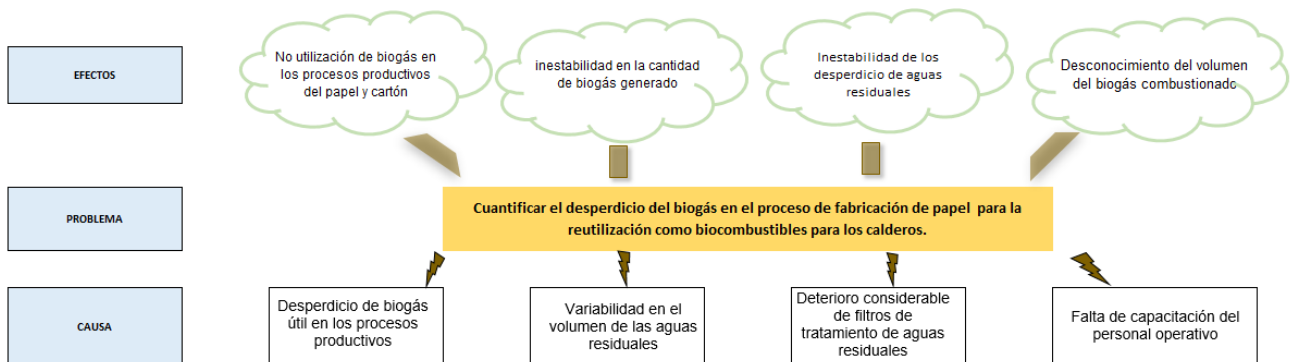
Anexo 1 "Tutoría virtual a traves de plataforma zoom"

Diagrama de Ishikawa



Anexo 2 "Diagrama de Ishikawa" Fuente: Elaboración Propia

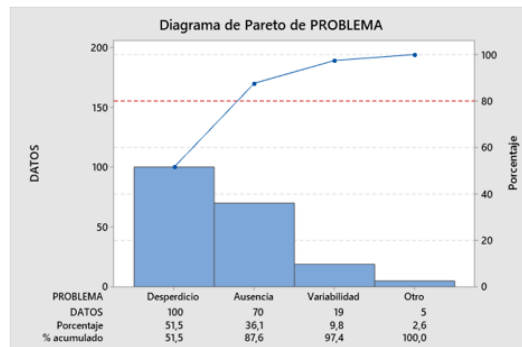
Árbol de problemas



Anexo 3 "Árbol de problemas" Fuente: Elaboración Propia

Diagrama de Pareto

PROBLEMA	DATOS
Desperdicio de biogás útil en los procesos productivos	100
Variabilidad en el volumen de las aguas residuales	19
Deterioro considerable de filtros de tratamiento de aguas residuales	5
Falta de capacitación del personal operativo	70



El 51,5% de todos los problemas provienen de: Desperdicio de biogás útil en los procesos productivos

Anexo 4 "Diagrama de Pareto" Fuente: Elaboración Propia