



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS DE GRADO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO.**

**TEMA: “INGENIERÍA INVERSA E INSTRUMENTACIÓN DEL
BIORREACTOR EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE
ENERGÍAS RENOVABLES CON EL ANÁLISIS ENERGÉTICO
DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DE CAFÉ, CACAO Y
EUCALIPTO PARA BIOGENERACIÓN ELÉCTRICA DE 1kW”**

AUTORES: GAONA ESCOBAR, PABLO ANDRES

CARVAJAL POLANIA, JUAN DAVID

DIRECTOR: ING. GUTIÉRREZ, ROBERTO

CODIRECTOR: ING. AYALA, PAÚL

SANGOLQUI

2015

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Director: Ing. Roberto Gutiérrez

Codirector: Ing. Paúl Ayala

CERTIFICAN:

Que el trabajo de grado: **“INGENIERÍA INVERSA E INSTRUMENTACIÓN DEL BIORREACTOR EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES CON EL ANÁLISIS ENERGÉTICO DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DE CAFÉ, CACAO Y EUCALIPTO PARA BIOGENERACIÓN ELÉCTRICA DE 1kW”**, fue realizado en su totalidad por los señores: Juan David Carvajal Polania y Pablo Andrés Gaona Escobar, ha sido dirigido y revisado durante su ejecución a través de reuniones periódicas para dar cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación, por lo tanto autorizamos la presentación.

Sangolquí, febrero 2015



Ing. Roberto Gutiérrez
DIRECTOR



Ing. Paúl Ayala
CODIRECTOR

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Autores: Juan David Carvajal Polania.

Pablo Andrés Gaona Escobar

DECLARAN QUE:

El trabajo de grado: “**INGENIERÍA INVERSA E INSTRUMENTACIÓN DEL BIORREACTOR EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES CON EL ANÁLISIS ENERGÉTICO DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DE CAFÉ, CACAO Y EUCALIPTO PARA BIOGENERACIÓN ELÉCTRICA DE 1kW**”, ha sido desarrollado citando las fuentes correspondientes y respetando las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes. Por tal razón, las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Sangolquí, febrero del 2015



Sr. Juan David Carvajal Polania.



Sr. Pablo Andrés Gaona Escobar.

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Juan David Carvajal Polania y Pablo Andrés Gaona Escobar, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación en la Biblioteca Virtual de la institución, el trabajo de grado: **“INGENIERÍA INVERSA E INSTRUMENTACIÓN DEL BIORREACTOR EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES CON EL ANÁLISIS ENERGÉTICO DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DE CAFÉ, CACAO Y EUCALIPTO PARA BIOGENERACIÓN ELÉCTRICA DE 1kW”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, febrero del 2015



Sr. Juan David Carvajal Polania.



Sr. Pablo Andrés Gaona Escobar.

DEDICATORIA

Este objetivo personal culminado:

Es dedicado principalmente a mis padres por su esfuerzo constante para que este sueño se haga realidad, a mis maestros que forjaron más que enseñanzas un lazo de amistad.

Por tu apoyo y amor incondicional muchas gracias

Pablo A. Gaona E.

Dedico la finalización de este proyecto a mi padre, madre, hermana, Maica y Sofía mi hija, quienes de diferentes formas me han apoyado no solo emocional sino también económicamente en numerosas ocasiones para resolver todas las dificultades que se presentaron y continuar en el proceso de obtención del título de ingeniero mecánico y de crecimiento personal. Gracias por el inmenso esfuerzo que hicieron para que lograra alcanzar esta meta.

Juan D. Carvajal P.

AGRADECIMIENTO

A DIOS por darme salud, sabiduría y fortaleza para continuar y vencer las adversidades.

A mi Director y Codirector de tesis que me guiaron para realizar este trabajo, lo cual fue de gran ayuda para culminar la carrera.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron, me motivaron y ayudaron a culminar este objetivo personal.

Pablo A. Gaona E.

A Dios, por darme la fuerza para finalizar esta etapa de mi vida. A mi madre por ser la persona que siempre ha estado a mi lado apoyándome incondicionalmente, quien me enseñó a creer y tener fe, a mi padre quien con sus sabios consejos me ha ayudado a tomar decisiones y resolver problemas que han hecho de mi una mejor persona, a mi hermana por su comprensión durante todo este trayecto. A Maica por escucharme y ayudarme a lidiar con los problemas que existieron en este proceso. A Sofía, mi hija por ser ese rayo de luz que ilumina mis días grises, a los ingenieros de la carrera gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Juan D. Carvajal P.

CONTENIDO

CAPITULO 1	XV
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 ALCANCE	5
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	5
CAPITULO 2	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 GENERALIDADES EN EL PROCESO DE BIOGENERACIÓN	6
2.1.1 ORIGEN DE LA BIOENERGÍA	7
2.1.2 ESPECIFICACIONES DE BIOMASA	7

2.2 PROCESOS DE GASIFICACIÓN	9
2.2.1 VARIEDADES DE GASIFICACION	10
2.2.2 TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES	11
2.3. CLASIFICACIÓN DE BIOGENERADORES	11
2.3.1. BIODIGESTORES DE FLUJO DISCONTINUO	13
2.3.2. BIODIGESTORES DE FLUJO SEMI-CONTINUO	14
2.3.3. BIODIGESTORES DE FLUJO CONTINUO	19
2.4 CLASIFICACION DE BIOMASA	19
2.4.1 BIOMASA SECA	20
2.4.2 BIOMASA HÚMEDA	21
2.5 PROCESOS DE TRANSFORMACION DE LA BIOMASA	21
2.5.1 MATERIALES PARA LA BIOMASA	25
2.5.2 MATERIALES PARA RECIPIENTES	25
2.6 PROCESO PARA INSTRUMENTACIÓN DEL BIORREACTOR	26
CAPITULO 3	27
3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA INGENIERIA INVERSA	27

3.1.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL	29
3.1.2 REDISEÑO DEL SISTEMA	33
3.1.3 MEJORAMIENTO DEL SISTEMA	34
CAPITULO 4	36
IMPLEMETACION MONTAJE Y PRUEBAS	36
4.1 IMPLEMENTACION	36
4.1.1 MONTAJE	37
4.1.2 PROCEDIMIENTO MECÁNICO	38
4.1.3 PROCEDIMIENTO ELECTRÓNICO	42
4.1.4 PROCEDIMIENTO HIDRÁULICO	45
4.2 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO	50
4.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR	51
4.4 TIPOS DE INTERCAMBIADORES	52
4.5 FORMAS DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR	58
4.6 SELECCIÓN DE MATERIALES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	70
4.7 PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL EQUIPO	73

4.7.1 PRUEBA A BIOREACTOR	73
4.7.2 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN Y EXTRACCIÓN DE GAS	74
4.7.3 CARACTERÍSTICAS DEL BIODIGESTOR	76
5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	81
5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO	81
5.2 ANÁLISIS FINANCIERO	85
CAPÍTULO 6	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
6.1 CONCLUSIONES	86
6.2 RECOMENDACIONES	87
7.BIBLIOGRAFÍA	88
8. ANEXOS	94

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: TIPOS O CLASIFICACIÓN DE BIODIGESTORES	12
FIGURA 2: BIODIGESTOR DE FLUJO DISCONTINUO	13
FIGURA 3: BIODIGESTOR CHINO	15
FIGURA 4: BIODIGESTOR HINDÚ	15
FIGURA 5: BIODIGESTOR SALCHICHA	18
FIGURA 6: CAMPO DE COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DEL COMPOST.	29
FIGURA 7: ESTADO DEL BIORREACTOR.	30
FIGURA 8: PARED EXTERIOR DEL CUERPO DEL BIORREACTOR	31
FIGURA 9: LIMPIEZA INTERIOR PARA VERIFICACIÓN DEL ESTADO INTERNO DEL REACTOR	32
FIGURA 10 ESQUEMA INTERNO DEL NUEVO SISTEMA DEL BIORREACTOR	34
FIGURA 11: LÍNEA DE PURGA COMO VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN.	35

FIGURA 12 : VISUALIZADOR PARA REALIZAR LAS LECTURAS DE LOS VALORES DE TEMPERATURAS REGISTRADOS.	35
FIGURA 13 PRESIÓN VS VOLUMEN OTTO	38
FIGURA 14 PRESIÓN VS VOLUMEN DIESEL	39
FIGURA 15: CICLO TÉRMICO OTTO	41
FIGURA 16 RESISTENCIA VS TEMPERATURA	43
FIGURA 17: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE SENSORES A TERMÓMETRO DIGITAL	44
FIGURA 18 ESQUEMA BOMBA ACEITE	47
FIGURA 19 ESQUEMA VÁLVULA DE SEGURIDAD	49
FIGURA 20 CONFIGURACIÓN DE INTERCAMBIADOR	54
FIGURA 21 CONFIGURACIÓN DE INTERCAMBIADOR FLUJO CRUZADO	55
FIGURA 22 CONFIGURACIÓN DE INTERCAMBIADOR DOBLE FLUJO CRUZADO	57

FIGURA 23 INTERCAMBIADORES DE CASCO Y TUBO	58
FIGURA 24 INTERCAMBIADOR DE ESPEJO FIJO.	59
FIGURA 25 INTERCAMBIADOR EN U	60
FIGURA 26 INTERCAMBIADOR DE ANILLO DE CIERRE HIDRÁULICO	61
FIGURA 27 INTERCAMBIADOR DE CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR	61
FIGURA 28 INTERCAMBIADOR DE CABEZAL FLOTANTE INTERNO	62
FIGURA 29 INTERCAMBIADOR DE CABEZAL FLOTANTE REMOVIBLE	62
FIGURA 30 INTERCAMBIADORES DE DOBLE TUBO	63
FIGURA 31 INTERCAMBIADORES DE TIPO PLACA	64
FIGURA 32 INTERCAMBIADORES DE TIPO PLACA ESPIRAL	64
FIGURA 33 INTERCAMBIADORES DE TIPO PLACA Y ARMAZÓN	65

FIGURA 34 INTERCAMBIADORES DE ALETA Y PLACA CON SOLDADURA	66
FIGURA 35 INTERCAMBIADORES DE BLOQUE DE GRAFITO	67
FIGURA 36 BIOREACTOR	73
FIGURA 37 RELACIÓN C/N EN BIOMASA COMÚN	76
FIGURA 38 TEMPERATURA VS TIEMPO DE RETENCIÓN	78
FIGURA 39 DIAMETRO DE PARTICULA O GOTA, D50, QUE SE SEPARA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA, TR, PARA DISTINTAS TEMPERATURAS.	79
FIGURA 40 JERINGA PARA EXTRACCIÓN DE MUESTRA	80

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza la ingeniería inversa e instrumentación del biorreactor existente en el laboratorio de energías renovables con el análisis energético de residuos biomásicos de café, cacao y eucalipto para la biogeneración eléctrica de 1 KW. La necesidad de ofrecer una alternativa energética no convencional a los sectores vulnerables y rurales de nuestro país requiere el diseño e investigación que optimice el proceso de gasificación y localice la biomasa con mayor poder calórica dependiendo de su ubicación geográfica, esta alternativa energética realiza un aprovechamiento de los desechos orgánicos que en la actualidad son tratados simplemente como basura incrementando contaminación y costos por consumo de energía tanto térmica como eléctrica, en el presente estudio se planteo la generación eléctrica haciendo uso de un motor estacionario de ciclo Otto, con el cumplimiento de los diferentes estándares de seguridad y confiabilidad que garanticen el correcto funcionamiento del equipo, cuyo proceso sea controlado y vigilado a través de su instrumentación con el afán de que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica puedan profundizar sus conocimientos al conocer paso a paso el proceso de gasificación y poder plantear alternativas energéticas tomando en consideración todas y cada una de las variables que se presentan en este proceso dentro de estas se destaca la temperatura para cuantificar este dato se uso los sensores PT 100, el análisis de cromatografía se logran obtener la ponderación de los componentes, poder calórico del biogas producido así como también la caracterización considerando el tiempo de residencia de la biomasa vs la temperatura de operación.

PALABRAS CLAVE:

- **BIORREACTOR**
- **BIOGAS**
- **BIOMASA**
- **CARACTERIZACIÓN**

ABSTRACT

In this project reverse engineering and instrumentation of existing bioreactor in the laboratory of renewable energy is performed, with energetic analysis of coffee, cocoa and eucalyptus waste for 1kw of electric biogeneration. the need to offer an unconventional energetic alternative to vulnerable and rural areas of our country requires the design and research to optimize the gasification process and locate the most calorie biomass power depending on your geographic location, this alternative energy takes advantage of organic waste that currently are treated just like garbage pollution and increasing consumption costs both thermal and electrical energy, in the present study was raised electricity generation using stationary Otto cycle engine compliance with the different standards of security and reliability to ensure the proper operation of the equipment, the process is controlled and monitored through its implementation with the aim that students of the School of Mechanical Engineering to deepen their knowledge on learning step gasification process and to raise energy alternatives taking into consideration each and every one of the variables that occur in this process within these temperature to quantify this information was used PT 100 stands sensors chromatography analysis is possible to obtain the weighting of the components, calorific value of the produced biogas and characterization also considering the residence time of biomass vs. operating temperature.

KEYWORDS:

- **BIOREACTOR**
- **BIOGAS**
- **BIOMASS**
- **CHARACTERIZATION**

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La utilización de biomasa ha sido y es muy aprovechada por muchas comunidades que no cuentan con las fuentes de energías convencionales.

Según Castillo en 1983, los usos de los diferentes tipos de biomasa se pueden clasificar principalmente en dos: térmicos y eléctricos. La energía térmica y eléctrica obtenida mediante la combustión de biomasa puede ser utilizada en diferentes partes y con un costo menor al que puede llegar a ser con el uso de energía convencional. (Castillo, 1983)

El uso extensible de combustibles fósiles causa el deterioro de la capa de ozono, lluvia ácida y el efecto invernadero con lo que se alteran los procesos naturales y se afecta el clima a escala global. Frente a esta situación, 34 países se comprometieron en Kyoto, a reducir las emisiones e invertir en investigación y desarrollo de tecnologías adecuadas para el aprovechamiento óptimo de las fuentes de energía convencional, con especial énfasis en las energías renovables.

La falta de alimentación de energía eléctrica a distintas partes de nuestro país por parte del sistema interconectado de electricidad es un gran problema para el desarrollo de las distintas poblaciones, pero el uso de energías alternativas como este caso de la biomasa puede ayudar a solucionar el problema en gran parte, así generar el desarrollo de distintos pueblos que no cuentan con la alimentación eléctrica convencional.

La sub utilización de biorreactores en el país, como puede ser el que se encuentra en el cantón Taisha, es una muestra de que el uso de la biomasa en nuestro medio se encuentra en un claro subdesarrollo es por ello que es muy importante potenciarle a este tipo de energía que es de gran utilidad.

El biorreactor que se encuentra en el laboratorio de Energías Renovables sería de una gran utilidad, para que en pequeña escala, se puedan tener los diferentes usos de la biomasa, pero debido a la falta de instrumentación y aplicaciones no es factible realizar este tipo de prácticas que ayudarían mucho para los conocimientos de los estudiantes.

La implementación de instrumentación adecuada al biorreactor, con una aplicación clara como la de generación de energía ayudará a ver las distintas combinaciones que se puede realizar de biomasa y su directa relación con la eficiencia de lo que se quiere generar.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El laboratorio de energías Renovables no posee un biorreactor operable, con los parámetros de diseño definidos con la instrumentación necesaria para realizar ensayos con los diferentes tipos de biomasa.

La falta de instrumentación y la sub utilización del biorreactor de 0.5 metros cúbicos existente en el laboratorio de Energías Renovables, representan un problema para el levantamiento de datos el momento de realizar el proceso de biodegradación.

Para la generación de biomasa y utilización de un biorreactor se requieren tener definidos los diferentes parámetros de funcionamiento, es por ello que la instrumentación del equipo es fundamental para aumentar la fiabilidad en la adquisición de datos del mismo.

Para aumentar la funcionalidad del equipo se ve la necesidad de adecuarlo para la generación de 1KW de energía eléctrica, de esta forma se puede obtener el uso de biomasa más indicado para la generación de energía.

El biorreactor del laboratorio de Energías Renovables en la actualidad no tiene una aplicación mecánica, térmica o eléctrica. Mediante la implementación de la generación de 1KW se podrá tener de una manera más evidente una de las distintas funcionalidades de la biomasa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar ingeniería inversa e instrumentación del biorreactor de 0.5 m³ para Laboratorio de Energías Renovables con Biogeneración Eléctrica de 1KW mediante el uso de residuos de café, cacao y eucalipto.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar la memoria de cálculo de los parámetros de diseño del biorreactor.
- Definir la instrumentación apropiada para los parámetros de funcionamiento del biorreactor.
- Obtener los parámetros de funcionamiento del biorreactor bajo distinto uso de biomasa.
- Generar las curvas características.

1.4 ALCANCE

Mediante el desarrollo de este proyecto se desea realizar la correcta instrumentación del biorreactor, para la adquisición de datos confiables, y lograr la generación de 1 KW de energía con el consumo de biomasa, a través de un motor estacionario de combustión interna, con el cumplimiento de los distintos estándares de seguridad y confiabilidad que garanticen el correcto funcionamiento del equipo, cuyos resultados ayuden a reforzar los conocimientos adquiridos en las aulas de la aplicación de la energía no convencional.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente proyecto nace con el interés de contribuir con el desarrollo tecnológico del Laboratorio de Conversión de Energía del DECEM, y con el deseo de colaborar con la Universidad a través del presente proyecto, el cual se basa, en realizar una ingeniería inversa para determinar la información base y analizar el desenvolvimiento del biorreactor, con miras a encontrar una aplicación productiva, monitoreando sus parámetros, de tal manera que se cuantifique la cantidad de biogás generado en tiempo real por kg de biomasa. Como se pudo observar en los antecedentes las investigaciones sobre el comportamiento de las biomásas mencionadas son escasas o simplemente no existen, por lo tanto la Universidad de las Fuerzas Armadas será la pionera en este tipo de análisis al poseer un equipo con la infraestructura adecuada para que los grupos de interés puedan aplicar en sus procesos de manera confiable, obteniendo información que ayude al desarrollo de proyectos en forma particular, es decir que este proyecto será una fortaleza en el proceso de vinculación con la colectividad, generara conocimiento y de esta información válida para futuras investigaciones en nuestro país, además se lograra encontrar una aplicación térmica y eléctrica adecuada en lugares donde se carece de esta

infraestructura puesto que el esquema presentado tiene un carácter modular (biogeneración, almacenamiento y aplicación) la meta de reducir la dependencia de combustibles fósiles ha generado un cambio en las políticas relativas al uso de otros recursos energéticos, razón por la cual los biocombustibles aparecen como una alternativa prometedora por su gran potencial productivo a nivel mundial, en comparación con otras fuentes de energía renovable.

Es por estas razones que el presente proyecto de investigación es de importancia para el desarrollo de conocimiento impartido en el D.E.C.E.M. y aplacado al desarrollo social sustentable, cumpliendo con el plan del desarrollo del buen vivir y a la matriz productiva del gobierno nacional.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES EN EL PROCESO DE BIOGENERACIÓN

La bioenergía o energía de biomasa es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente es obtenida de los residuos. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se hace directamente (por ejemplo, por combustión), o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustible o alimentos. (Guasumba, 2007)

No se considera como energía de biomasa, aunque se podría incluir en un sentido amplio, la energía contenida en los elementos suministrados a animales y personas, la cual es convertida en energía de estos organismos en un porcentaje elevado, en el proceso de respiración celular. (Guasumba, 2007)

En su más estricto sentido es un sinónimo de biocarburantes (combustibles derivados de fuentes biológicas). En su sentido más amplio abarca también la biomasa, el material biológico utilizado como biocombustible, así como la situación social, económica, científica y técnica relacionada con la utilización de las fuentes de energía biológica. Hay una ligera tendencia a favor de la bioenergía en Europa, en comparación con los biocarburantes en América del Norte. (Guasumba, 2007)

2.1.1 ORIGEN DE LA BIOENERGÍA

Una parte de la energía que llega a la tierra procedente del sol es absorbida por las plantas, a través de la fotosíntesis, y convertida en materia orgánica con un mayor contenido energético que las sustancias minerales. De este modo, cada año se producen $2 \cdot 10^{11}$ toneladas de materia orgánica seca con un contenido energía equivalente a 68000 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), que equivale aproximadamente a cinco veces la demanda energética mundial. A pesar de ello, su enorme dispersión hace que solo se aproveche un mínimo de parte de la misma. Entre las formas de biomasa más destacables por su aprovechamiento energético destacan los combustibles energéticos (caña de azúcar, remolacha, etc.) y los residuos (agrícolas, forestales, ganaderos, urbanos, lodos de depuradora y computadoras, plantas, etc.). (Jarabo & Fernandez, 1999)

2.1.2 ESPECIFICACIONES DE BIOMASA

Se distinguen varios tipos de biomasa, según la procedencia de las sustancias empleadas, como la biomasa vegetal, relacionada con las plantas en general (troncos, ramas, tallos, restos y residuos vegetales, etc.); y la biomasa animal, obtenida a partir de

substancias de origen animal (grasa, residuos, excrementos, etc.). (Pineda & Cabello, 1998)

Otra forma de clasificar los tipos de biomasa se realiza a partir del material empleado como fuente de energía. (Pineda & Cabello, 1998)

NATURAL

Es aquella que abarca los bosques, árboles, matorrales, plantas de cultivo, etc. por ejemplo, en las explotaciones forestales se producen una serie de residuos o subproductos, con un alto poder energético, que no sirven para fabricación de muebles ni papel, como son las hojas y ramas pequeñas, y que se pueden aprovechar como fuente energética. (Pineda & Cabello, 1998)

Los residuos de la madera se pueden aprovechar para producir energía. De la misma manera, se pueden utilizar como combustibles los restos de las industrias de transformación de la madera, como los aserraderos, carpinterías o fábricas de mueble y otros materiales más. Los “cultivos energéticos” son otra forma de biomasa consistente en cultivos o plantaciones que se hacen con fines exclusivamente energéticos, es decir, para aprovechar su contenido de energía. Entre este tipo de cultivos se tiene, por ejemplo, árboles como los chopos u otras plantas específicas. A veces, no se suele incluir en la energía de la biomasa que queda restringida a la que se obtiene de modo secundario a partir de residuos, restos, etc. (Pineda & Cabello, 1998)

Los biocarburantes son combustibles líquidos que proceden de materias agrícolas ricas en azúcares, como los cereales (biometanol) o grasas vegetales, como semillas de

colza o girasol de calabaza (biodiesel). Este tipo también puede determinarse como “cultivos energéticos”. El bioetanol va dirigido a la sustitución de la gasolina; y el biodiesel que trata de sustituir al gasóleo.

Se puede decir que ambos constituyen una alternativa a los combustibles tradicionales del sector del transporte, que derivan del petróleo.

RESIDUAL

Es aquella que corresponde a los residuos de paja, aserrín, estiércol, residuos de mataderos, basuras urbanas, etc.

El aprovechamiento energético de la biomasa residual, por ejemplo, supone la obtención energética a partir de residuos de madera y los residuos agrícolas (paja, cáscara, huesos), las basuras urbanas, los residuos ganaderos, como purines o estiércoles, los lodos de depuradora, etc. Los residuos agrícolas también pueden aprovecharse energéticamente y existe plantas de aprovechamiento energético de la paja residual de los campos que no se utiliza para forraje de los animales. (De Lucas, Martínez, Villaseñor, Camacho, & Lobato., 2004)

2.2 PROCESOS DE GASIFICACIÓN

La gasificación es un proceso termoquímico en que un sustrato carbonoso (carbón, biomasa, plástico) es transformado en un gas combustible mediante una serie de acciones que ocurren en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua e hidrógeno). (Primo Yúfera, 1996)

La composición del gas depende de las condiciones en que se realiza la gasificación pero suelen ser ricos en monóxido de carbono e hidrógeno, con contenidos menores de dióxido de carbono, metano y otros hidrocarburos. El sustrato carbonoso de origen y el agente gasificante son los parámetros que determinan el mayor o menor contenido de energía (poder calórico) del gas. (Primo Yúfera, 1996)

2.2.1 VARIEDADES DE GASIFICACION

Históricamente la gasificación es un proceso que se lo ha llevado a cabo con aire y esto produce un gas pobre con poder calórico muy bajo, tal es el caso de gasógeno, dispositivo instalado en los vehículos con la finalidad de producir gas a partir del carbón y que fue un método muy utilizado en España tras la guerra civil española por la dificultad de abastecerse de petróleo en el mercado mundial. La energía de gas de gasificación aumenta al utilizar otros agentes gasificantes, oxígeno, vapor de agua e hidrógeno. (Elias & Velo, 2005)

- Con oxígeno (O_2): Se forma CO
- Con aire: Se forma CO + N_2
- Con oxígeno (O_2) y agua (H_2O): Se forma CO + H_2
- Con aire y agua (H_2O): Se forma CO + H_2 + N_2 (simultánea)
- Con aire y agua (H_2O): Se forma CO + N_2 y, separadamente CO + H_2 (sucesiva)
- A presión y con catalizadores: Se forma CH_4 .

2.2.2 TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES

Una de las ventajas que presenta la biomasa como alternativa energética a los combustibles tradicionales es la gran diversidad de productos que pueden obtenerse a partir de ella y el poderse adaptar a todos los campos de utilización de los combustibles tradicionales. Partiendo de la biomasa de la naturaleza adecuada y mediante procesos específicos, se puede obtener toda una gama de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos que pueden ser aplicados para cubrir las necesidades energéticas de confort, transporte, industria y electricidad. (SAGARPA, 2009)

Tabla 2.1

Tipos de Combustible de Biomasa

TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES OBTENIDOS DE LA BIOMASA		
SOLIDOS	LIQUIDOS	GASEOSOS
PAJA	ALCOHOLES	GAS DE GASOGENO
LEÑA SIN PROCESAR	BIOHIDROCARBUROS	BIOGÁS
BRIQUETAS Y PELLETS	ACEITES, VEGETALES	HIDRÓGENO
TRITURADORAS FINAS	ACEITE DE PIROLISIS	
CARBON VEGETAL		

2.3. CLASIFICACIÓN DE BIOGENERADORES

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etcétera) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos. (López Pérez, 2010)

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidrogenación y pos tratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor. (López Pérez, 2010)

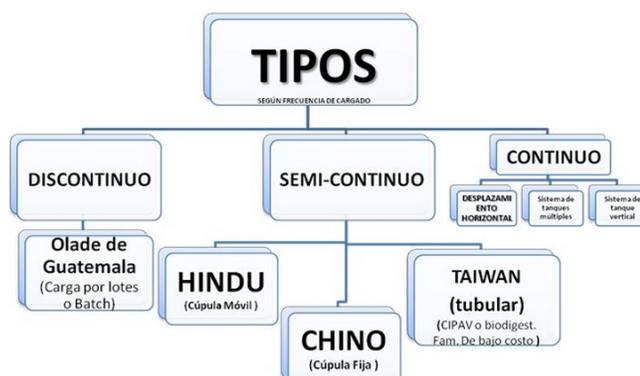


Figura 1: Tipos o Clasificación de Biodigestores

Fuente: (blogspot, 2012)

El fenómeno de indigestible ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4) llamada biogás, que es utilizado como combustible. Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizantes) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas. (López Pérez, 2010)

Una de las características más importantes de la biodigestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) hasta en un 90% (dependiendo de las condiciones de diseño y

operación). Se deben controlar ciertas condiciones, como son: el pH, la presión y temperatura a fin de que se pueda obtener un óptimo rendimiento del biodigestor. (López Pérez, 2010)

El biodigestor es un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas y de países subdesarrollados para obtener el doble beneficio de conseguir solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales. (López Pérez, 2010)

2.3.1. BIODIGESTORES DE FLUJO DISCONTINUO

La carga de la totalidad del material a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar el proceso; por lo general requieren de mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima si esta se produce continuamente y de un depósito de gas (debido a la gran variación en la cantidad de gas producido durante el proceso, teniendo su pico en la fase media de este) o fuentes alternativas para suplirlo. (López Pérez, 2010)

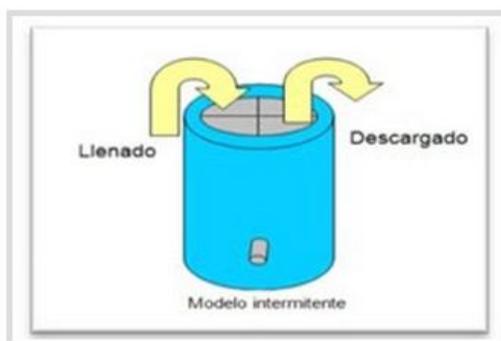


Figura 2: Biodigestor de Flujo Discontinuo

Fuente: (blogspot, 2012)

2.3.2. BIODIGESTORES DE FLUJO SEMI-CONTINUO

La carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realiza en lapsos cortos o por pequeños baches (ej. una vez al día, cada 12 horas) durante el proceso, que se extiende indefinidamente a través del tiempo; por lo general requieren de menos mano de obra, pero de una mezcla más fluida o movilizada de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua). Sirven para purificar el agua contaminada por diferentes fosas. Existen tres clases de biodigestores de flujo semi-continuo. (López Pérez, 2010)

- **De cúpula fija (chino).**

El modelo más extendido, debido a su durabilidad, fácil manejo, funcionabilidad y seguridad. Este diseño se originó en China y está ampliamente difundido ahí. Se trata de una cámara cerrada con sus respectivas cámaras de carga y descarga. La estructura puede ser construida de concreto armado, ladrillos, piedra u hormigón y las paredes internas permeabilizadas con diferentes métodos (como aplicación de cemento mezclado con porcelana) para evitar fugas de líquido. Su larga vida útil, mayor a 15 años con un buen mantenimiento a veces no compensa su relativo alto costo, por eso que no se haya difundido tanto fuera de china (como Latinoamérica), donde su construcción es apoyada por política nacional. Esta clase de digestor (de cúpula o campana fija) almacena solamente un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que necesita de un contenedor diferente construido para este gas producido (gasómetro). (Wordpress, 2009)

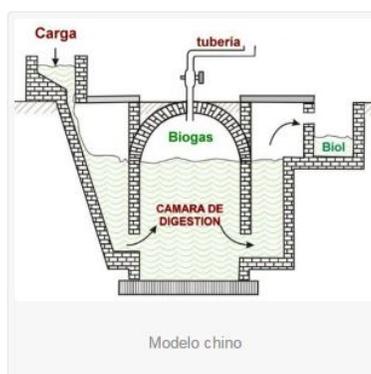


Figura 3: Biodigestor Chino

Fuente: (Wordpress, 2009)

- **De cúpula móvil o flotante (hindú).**

Este diseño consiste en una estructura vertical que dispone de:

-Reactor propiamente dicho, cuya estructura sea de ladrillo tanto paredes como fondo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón

-Una campana o cúpula flotante (flotando en el líquido debido al biogás que retienen en su interior) de metal (como acero) o material resistente a la corrosión como plásticos reforzados, esta campana sube y baja dependiendo del volumen de gas que se va produciendo y se almacena es esta interfase, por ello requiere de una varilla guía central o rieles laterales que eviten el rozamiento contra las paredes del reactor

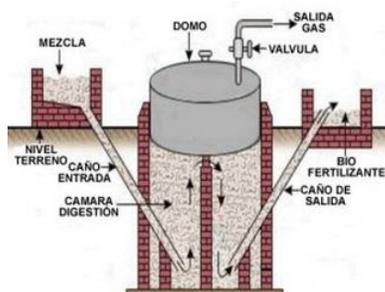


Figura 4: Biodigestor Hindú

Fuente: (Wordpress, 2009)

- **De salchicha, tubular, Taiwan, CIPAV o biodigestores familiares de bajo costo.**

Los biodigestores familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático, pero en Sudamérica, solo países como Cuba, Colombia, Brasil y Costa Rica tienen desarrollada esta tecnología. Estos modelos de biodigestores familiares, construidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Por ello se consideran una "tecnología apropiada". (López Pérez, 2010)

La falta de leña para cocinar en diferentes regiones de Bolivia, hace a estos sistemas interesantes para su difusión, divulgación y diseminación a gran escala. Las familias dedicadas a la agricultura, suelen ser propietarias de pequeñas cantidades de ganado (dos o tres vacas por ejemplo) y pueden, por tanto, aprovechar el estiércol para producir su propio combustible y un fertilizante natural mejorado. Se debe considerar que el estiércol acumulado cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y moscas que desaparecerán al ser introducido el estiércol diariamente en el biodigestor familiar. También es importante recordar la cantidad de enfermedades respiratorias que sufren, principalmente las mujeres, por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña o bosta seca. La combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es menor que el humo proveniente de la quema de madera. (López Pérez, 2010)

En el caso de Bolivia, donde existen tres regiones diferenciadas como altiplano, valle y trópico, esta tecnología fue introducida en el año 2002 en Mizque, (2200 m.s.n.m. Cochabamba) como parte de la transferencia tecnológica a una ONG cochabambina. Desde entonces, en constante colaboración por Internet con instituciones de Camboya, Vietnam y Australia y la ONG de Cochabamba, estos

sistemas han sido adaptados al altiplano. La primera experiencia fue en el año 2003 instalando un biodigestor experimental a 4100 m.s.n.m. que aprovechaba el efecto invernadero. Este diseño preliminar sufrió un desarrollo para abaratar costes y adaptarlo a las condiciones rurales manteniendo el espíritu de tecnología apropiada. Este modelo de biodigestor consiste en aprovechar el polietileno tubular (de color negro en este caso) empleado en su color natural transparente en carpas solares, para disponer de una cámara de varios metros cúbicos herméticamente aislada. Este hermetismo es esencial para que se produzca las reacciones biológicas anaerobias. (López Pérez, 2010)

La película de polietileno tubular se amarra por sus extremos a tuberías de conducción, de unas seis pulgadas de diámetro, con tiras de liga recicladas de las cámaras de las ruedas de los autos. Con este sistema, calculando convenientemente la inclinación de dichas tuberías, se obtiene un tanque hermético. Al ser flexible, el polietileno tubular, es necesario construir una ‘cuna’ que lo albergue, ya sea cavando una zanja o levantando dos paredes paralelas. Una de las tuberías servirá como entrada de materia prima (mezcla de estiércol con agua de 1:4). En el biodigestor se alcanza finalmente un equilibrio de nivel hidráulico, por el cual, tanta cantidad de estiércol mezclado con agua es agregada, tanta cantidad de fertilizante sale por la tubería del otro extremo. (López Pérez, 2010)

Debido a la ausencia de oxígeno en el interior de la cámara hermética, las bacterias anaerobias contenidas en el propio estiércol comienzan a digerirlo. Primeramente se produce una fase de hidrólisis y fermentación, posteriormente una acetogénesis y finalmente la metanogénesis, por la cual se produce metano. El producto gaseoso llamado biogás, realmente tiene otros gases en su composición como son dióxido de carbono (20-40%), nitrógeno molecular (2-3%) y sulfhídrico (0,5-2%), siendo el metano el más abundante con un 60-80%. (López Pérez, 2010)

La conducción de biogás hasta la cocina se hace directa, manteniendo todo el sistema a la misma presión: entre 8 y 13 cm de columna de agua dependiendo la altura y el tipo de fogón. Esta presión se alcanza incorporando en la conducción una válvula de seguridad construida a partir de una botella de refresco. Se incluye un ‘tee’ en la conducción, y mientras sigue la línea de gas, el tercer extremo de la tubería se introduce en el agua contenida en la botella de 8 a 13 cm. También se añade un reservorio o almacén de biogás en la conducción, permitiendo almacenar unos 2 a 3 metros cúbicos de biogás. (López Pérez, 2010)

Estos sistemas adaptados para altiplano han de ser colocados en ‘cunas’ enterradas para aprovechar la inercia térmica del suelo, o bien dos paredes gruesas de adobe en caso que no se pueda cavar. Además, se puede encerrar a los biodigestores en un invernadero de un sola agua soportado sobre las paredes laterales de adobe. En el caso de biodigestores de trópico o valle, el invernadero es innecesario pero se ha de proteger el plástico con una semisombra. (López Pérez, 2010)

Los costes en materiales de un biodigestor pueden variar de 110 dólares para trópico a 170 dólares para altiplano, ya que en la altura tienen mayores dimensiones y requieren de carpa solar. (López Pérez, 2010)



Figura 5: Biodigestor Salchicha

Fuente: (blogspot, 2012)

2.3.3. BIODIGESTORES DE FLUJO CONTINUO

Se usan generalmente para tratamiento de aguas residuales, tienden a ser grandes de corte industrial, con sistemas comerciales para el control y gestión del proceso. La producción de Biogás es mucho mayor. (López Pérez, 2010)

Pueden ser:

- Sistema de desplazamiento horizontal (movimiento por flujo pistón, gravedad).
- Sistema de tanques múltiples.
- Sistema de tanque vertical.

2.4 CLASIFICACION DE BIOMASA

Según la proporción de agua en las sustancias que forman biomasa, también se puede clasificar en:

- Biomasa seca: madera, leña, residuos forestales, restos de industria maderera y del mueble, etc.
- Biomasa húmeda: residuos de la fabricación de aceites, lodos de depuradora, purines, etc.

Esto tiene mucha importancia respecto del tipo de aprovechamiento, y los procesos de transformación a los que pueden ser sometidas para obtener energía pretendida. (Margalef, 1980)

2.4.1 BIOMASA SECA

PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA SECA

La energía contenida en la biomasa seca es más fácil de aprovechar mediante procesos termoquímicos como la combustión, la pirolisis, o la gasificación. El rendimiento energético obtenido suele ser alto. En la tabla adjunta se los productos que se obtienen en este aprovechamiento, entre los que destaca el calor (para calefacciones, calderas, etc.), la electricidad obtenida (haciendo pasar vapor a gran presión por una turbina unida a un generador eléctrico), el vapor de agua caliente, o diversos combustibles (metanol, metano). (Estevan, 2008)

Tabla 2.2

Procesos de transformación de la biomasa seca.

Combustión	Pirolisis	Gasificación
Calor, electricidad, vapor de agua	Electricidad, metanol	Combustibles diversos
Rto: 65-95%	Rto: 30-90%	Rto: 65-95%

2.4.2 BIOMASA HÚMEDA

PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA HÚMEDA

En este proceso se emplean procesos bioquímicos de transformación, con menor rendimiento energético y tiempos de procesos más largo. Tienen más interés ecológico (muchas son sustancias contaminantes) que el propio aprovechamiento energético.

Tabla 2.3

Procesos de transformación de la biomasa húmeda.

Fermentación anaerobia	Fermentación alcohólica
Metano (biogás)	Etanol
Rto: 20-35%	Rto:20-25%

2.5 PROCESOS DE TRANSFORMACION DE LA BIOMASA

En muchas ocasiones la biomasa recuperada en campo posee un índice de humedad alto lo cual resulta perjudicial para la transformación a energía en la mayoría de los casos resulta descartada como alternativa de reemplazo para los combustibles fósiles sólidos como son el carbón, líquidos petróleo o gaseosos como el gas natural. Por esta razón es de mucha importancia realizar la transformación de la biomasa en un

combustible de mayor densidad energética y física, para lo cual se cuenta con distintos procesos que proporcionan una gran variedad de productos. (Carpintero, 2006)

Los combustibles originados de la biomasa se comportan con la mayoría de las condiciones favorables de los combustibles fósiles:

- Contenido energético alto por unidad de volumen.
- Es sencillo su transporte y almacenamiento.
- Genera una combustión adecuada.

Por su condición orgánica la biomasa presenta las siguientes ventajas en comparación a los combustibles fósiles:

- El contenido de Azufre en su composición es mínimo.
- No presenta restos en su combustión.
- La presencia de cenizas es escaso.
- Resulta muy amigable con el medio ambiente y reduce afecciones en el sistema respiratorio.

La procedencia de la biomasa es indiferente puesto que ésta es transformada en vectores de energía tal como; calor, combustibles y electricidad, que finalmente conducen a la forma energética útil para realizar un proceso determinado como es la energía mecánica y la electricidad específica. (Carpintero, 2006)

Una porción de los combustibles pueden ser extraídos de la biomasa directamente por extracción por medio de las plantas productoras de hidrocarburos, más sin embargo lo tradicional es someter a la biomasa a diferentes procesos dependiendo de

su naturaleza y la cantidad de humedad que contenga, para posteriormente transformarla en combustible. Esta transformación se dividirá en dos métodos, de acuerdo a la naturaleza de los procesos implicados. (Carpintero, 2006)

• PROCESO TERMOQUIMICOS

Radica en someter a la biomasa a altas temperaturas y pueden dividirse en tres categorías dependiendo de como el calentamiento se lleve a cabo, si se le inyecta aire se tendrá entonces **combustión**, el caso contrario cuando la presencia de aire resulta limitada entonces se obtiene **gasificación** y finalmente cuando la ausencia de aire es completa entonces será **pirolisis**. (Carpintero, 2006)

• FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Es un proceso biológico de fermentación en ausencia absoluta de aire y principalmente del oxígeno generado por la actividad de microorganismos que procesan hidratos de carbono, por lo general son azúcares con sustancias como la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc. Para la obtención de productos finales como alcohol en constitución de metanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) o dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas.

El etanol resultante se emplea en la fabricación de algunas bebidas alcohólicas, entre estos vino, cerveza, sidra, etc. Actualmente se emplea el metanol mediante la fermentación para la producción de biocombustible que se utiliza a gran escala a nivel industrial.

• DIGESTIÓN ANAEROBIA

Es el proceso en el que microorganismos descomponen materia biodegradable en ausencia del oxígeno, en este proceso se generan diferentes gases entre los cuales destacan el dióxido de carbono y el metano, además de ser los más abundantes, dependiendo claro esta del material degradado. En los biodigestores se aprovecha esta liberación de gas para posteriormente ser utilizados como combustibles, la intensidad del proceso de digestión anaerobia puede variar dependiendo de factores entre ellos la temperatura y el pH del material biodegradado.

La digestión anaerobia es un proceso que se desarrolla por lo general en cuatro etapas.

- Primera etapa se hidroliza los compuestos de mayor peso molecular, tanto los disueltos como los no disueltos, con enzimas como amilasas y proteasas.
- Segunda etapa se ocupan bacterias acidógenas que modifican los oligómeros y monogómeros de ácidos grasos volátiles.
- Tercera etapa se usan las bacterias acetogénicas que transforman los ácidos grasos volátiles en a acido acético.
- Finalmente en la cuarta etapa se transforman a metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 , en esta parte también participan bacterias hidrogenotróficas que mantienen el balance con el hidrogeno H_2 que se usa para reducir la presencia de CO_2 a CH_4 .

2.5.1 MATERIALES PARA LA BIOMASA

Los materiales más idóneos para transformaciones termoquímicas por tanto son los que presenten un bajo y de ser posible escaso porcentaje de humedad y por otra parte una presencia mayor de lignocelulosa, tales como la madera, paja, cáscaras, etc.

La biomasa que llegase a presentar un mayor porcentaje de humedad en su masa se deberá usar un proceso bioquímico por fermentación alcohólica o digestión anaerobia en etanol o metano. Hoy por hoy las técnicas más depuradas de actualidad son por un lado, la fermentación de materiales azucarados, celulósicos, o amiláceos para la producción del etanol, por otro lado la digestión anaerobia de biomasa con un contenido elevado de celulosa como restos agrícolas, industriales, ganaderos y desechos urbanos tanto sólidos como líquidos se utilizan para la producción de metano.

2.5.2 MATERIALES PARA RECIPIENTES

El mercado ofrece en la actualidad un sin número de alternativas para los recipientes o contenedores que configurarán un biorreactor existen diferentes variables en función de capacidades, tipo de biomasa, ciclo de trabajo y técnica de biogeneración como son los recipientes de un solo uso o también denominados desechables que se usan a nivel de laboratorio estos son por lo general de vidrio que están provisionados de diferentes accesorios para su funcionamiento con mantas térmicas, agitadores, etc. Los materiales variaran en función del tipo de biomasa porque depende mucho de la acidez que en el proceso de transformación energética puedan presentar, además del volumen de producción. (López Pérez, 2010)

En general un biorreactor es un recipiente que se mantiene al ambiente biológicamente activo. En ciertas ocasiones un biorreactor es un recipiente que realiza un proceso químico donde participan organismos o sustancias bioquímicamente activas que se ramifican de dichos organismos, como se trató estos procesos pueden ser aeróbicos o anaerobios, dichos recipientes toman una configuración común cilíndrica variando de tamaño desde unos que poseen capacidades que se cuantifican en mililitros y otros que almacenan metros cúbicos que por lo general son fabricados en acero inoxidable. (López Pérez, 2010)

Un biorreactor o biogenerador puede ser utilizado para hacer crecer células o tejido en actividades de producción de cultivo celular.

Por lo tanto estos recipientes procuran sostener ciertas condiciones ambientales implícitas en el proceso tales como la acidez, la temperatura, además de la concentración de oxígeno presente en la operación. (López Pérez, 2010)

Por lo tanto en la selección de materiales para la construcción de un biorreactor se deberá tomar en consideración las condiciones de trabajo aparte de la naturaleza de la biomasa que se pretenda transformar energéticamente, con la finalidad de que el material sustente el desempeño de la operación de transformación. (López Pérez, 2010)

2.6 PROCESO PARA INSTRUMENTACIÓN DEL BIORREACTOR

Tomando en consideración los diferentes parámetros que se deben conocer para el proceso de transformación energética resulta de suma importancia la instrumentación, puesto que permite obtener información del comportamiento de la biomasa en estudio

como es la acidez, la temperatura, concentración de oxígeno, presión de trabajo, etc. Las variables que se podrían obtener para tener información del comportamiento del proceso pueden ser muchas y dependerán de la proyección del estudio o el punto de vista de evaluación.

VARIABLES IMPORTANTES

Las variables que se requiere conocer en el proceso de gasificación son:

1. Cantidad de masa.
2. Presión de entrada.
3. Presión de salida.
4. Temperatura en entrada.
5. Temperatura de salida.
6. Variación de Potencial Eléctrico.

CAPITULO 3

INGENIERIA INVERSA DEL EQUIPO

3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA INGENIERIA INVERSA

El objetivo principal de la ingeniería inversa es de obtener información a partir de un producto que se encuentre disponible al público en general, con la finalidad de identificar como está configurado el mismo para su funcionamiento y cómo fue fabricado. (NAVAS LOPEZ & GUERRAS MARTIN, 2007)

En la actualidad los productos que se someten a esta técnica son principalmente los programas de computadora y los aparatos electrónicos, pero se debe considerar que cualquier producto, maquinaria o equipo en general puede ser objeto de análisis de la ingeniería inversa. (NAVAS LOPEZ & GUERRAS MARTIN, 2007)

La denominación del proceso se sustenta en que el método avanza en dirección opuesta a las tareas habituales de ingeniería, consiste en la utilización de datos técnicos para la elaboración de un producto determinado, de manera general todo producto que se ha descubierto su funcionamiento aplicando la ingeniería inversa de forma apropiada, entonces el proceso es legítimo y legal. La ingeniería inversa es un proceso de resolución que se aplica a algo esta metodología se supone se profundizara en el estudio del funcionamiento hasta llegar a entender, modificar y mejorar dicho modo de funcionamiento.

VENTAJAS DE LA INGENIERIA INVERSA

La ingeniería inversa es un método de resolución. La aplicación de la ingeniería inversa implica profundizar el estudio del funcionamiento de un sistema, hasta el punto en el cual se llegue a entender mejor, modificar el sistema de funcionamiento. (NAVAS LOPEZ & GUERRAS MARTIN, 2007)

La intención de la ingeniería inversa no es la de cambiar el funcionamiento por lo cual permite obtener los siguientes beneficios.

- Facilitar su mantenimiento y disminuir la complejidad existente.
- Realizar diferentes alternativas para el punto de partida.

- Redescubrir información perdida para documentarla.
- Adicional tenemos facilidad con la reutilización la ingeniería inversa nos permite localizar elementos que sean reutilizables.

3.1.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL

En el momento de iniciar el proceso de ingeniería inversa el equipo se encontraba con un campo de colectores solares para calentamiento de agua, esta agua caliente se la inyecta a la camisa del biorreactor para mantener una temperatura apropiada dentro del mismo y así acelerar la producción de bacterias para la obtención en menor tiempo de biogás, este sistema se puede apreciar en la figura 1.



Figura 6: Campo de colectores Solares para calentamiento del compost.

En tablas anexas se verifican las temperaturas entregadas cada quince minutos tanto a la entrada como a la salida del biorreactor.

En el biorreactor se tenía un problema muy complicado al momento del calentamiento de la mezcla por medio del sistema de colectores de agua, ya que en el punto de descarga de la bomba que acciona a los mismos, la temperatura de la mezcla era muy baja con relación a la parte superior, es decir el calentamiento de la mezcla no era uniforme ni tendía a ser un proceso isotérmico, como debería para obtener una buena eficiencia.

El biorreactor en sí se encontraba en muy mal estado, sobre todo en la parte posterior y en el aislamiento como se puede observar en la figura 7.



Figura 7: Estado del biorreactor.

En la fotografía se puede observar que existe en ese instante falta de mantenimiento y hay puntos de corrosión en la camisa protectora, humedad excesiva y mobiliaria que no debe estar en el sitio. Además la ubicación de la bomba que conecta al biorreactor con los colectores no es apropiada ya que la descarga se encuentra en la parte inferior del mismo.

Fue muy importante quitar la camisa protectora y aislamiento del biorreactor para verificar como se encuentra la pared externa del cilindro lo que se puede observar en la figura 8.



Figura 8: Pared exterior del cuerpo del biorreactor

Esto indica que la camisa externa dejó de hacer sello y permitió la corrosión del tanque, se pudo evidenciar por medio de una prueba hidráulica empírica que no existía

fugas entre las camisas interna y externa y también la corrosión no causó daños en el material del recipiente.

Fue importante también la verificación del estado mecánico y físico en el interior del biorreactor, ya que este es muy importante porque es aquí donde se desarrolla el proceso físico-químico y reacciones anaerobias para la producción del gas.

Para el efecto se efectuó una limpieza del compost existente, como se puede verificar en la figura No 9.



Figura 9: Limpieza interior para verificación del estado interno del reactor

Una vez realizada esta limpieza se pudo observar que la pared interna está en óptimas condiciones y con efectos de corrosión muy leves, por lo que el trabajo se lo puede realizar con mucha normalidad.

3.1.2 REDISEÑO DEL SISTEMA

Como se puede observar en el sistema en la figura 10 se modificó la entrada y salida de agua al biorreactor proveniente de los colectores solares planos para obtener una eficiencia máxima en el proceso de generación de energía, dado que en el anterior sistema el ingreso de agua caliente se realizaba por la parte superior del biorreactor donde solo una parte del lecho bacteriano tenía las condiciones necesarias para proliferar subutilizando la capacidad máxima del biorreactor haciéndolo menos eficiente, y respectivamente la evacuación del agua se realizaba por la parte inferior del biorreactor retornando a los colectores solares planos.

Adicionalmente se incorporaron los sensores de temperatura PT100 que es un tipo particular de dispositivo termo resistivo, para monitorear constantemente la temperatura del lecho bacteriano durante la etapa de proliferación con el objetivo de minimizar el tiempo que toma el proceso de generación de gas residual, maximizando así el proceso, como se puede verificar en la figura 10.

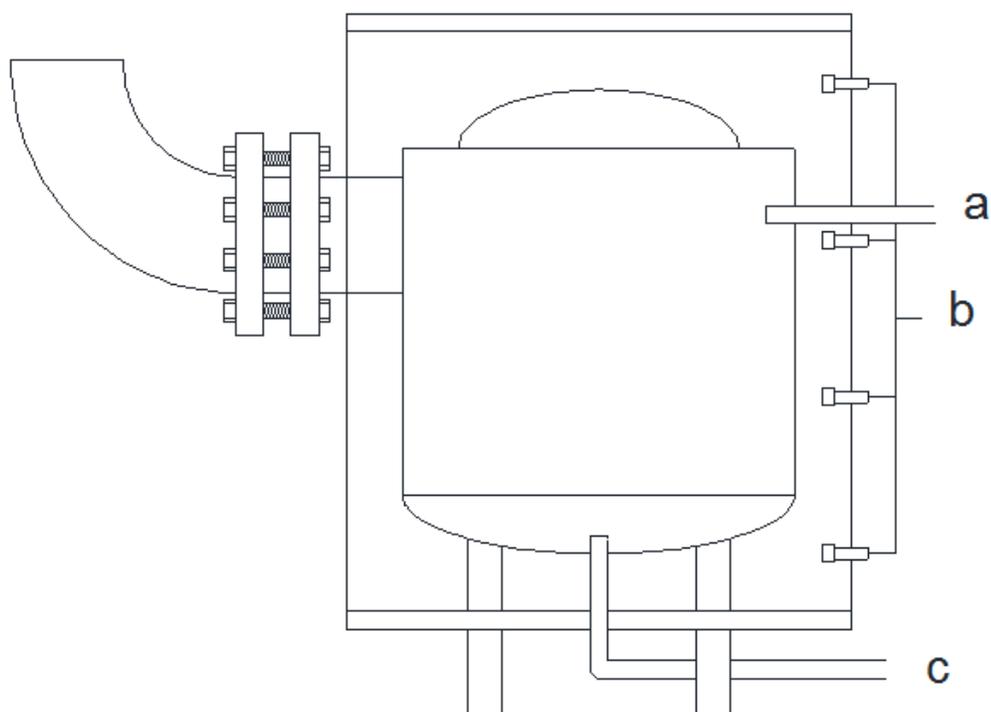


Figura 10: Esquema interno del nuevo sistema del biorreactor

- a) Ingreso del agua proveniente de los colectores solares planos.
- b) PT 100 instaladas en el interior del biorreactor.
- c) Salida del agua hacia el sistema de colectores solares planos.

3.1.3 MEJORAMIENTO DEL SISTEMA

Se adicionó una línea de purga con una válvula de alivio de presión en la parte superior del biorreactor, con el fin de eliminar la cantidad de aire que pudiera existir en la tubería para evitar así el fenómeno físico conocido como golpe de ariete y aliviar la presión interna del biorreactor que pudiera causar un esfuerzo mayor al permitido en el material de construcción, como se puede verificar en la figura 11.



Figura 11: Línea de purga como válvula de alivio de presión.

Se acondicionó un visualizador para realizar las lecturas de los valores de temperaturas registrados por los diferentes sensores PT100 instalados en el biorreactor, como se puede verificar en la figura 12.

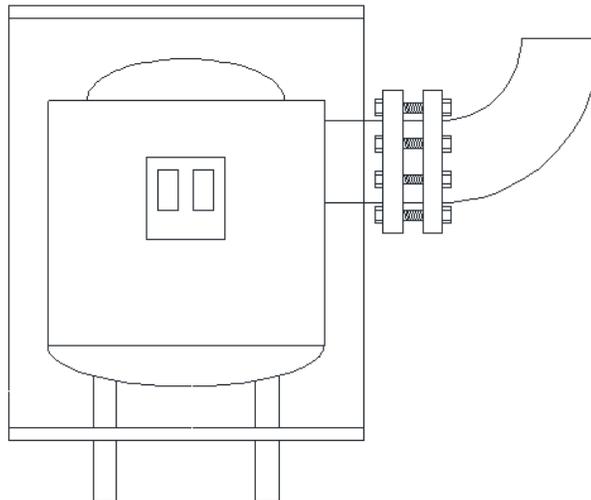


Figura 12 : Visualizador para realizar las lecturas de los valores de temperaturas registrados.

CAPITULO 4

IMPLEMETACION MONTAJE Y PRUEBAS

4.1 IMPLEMENTACION

La implementación en el presente proyecto se basa en el uso de los elementos electrónicos para la instrumentación de las variables esenciales que se requiere para cuantificar la calidad de la producción de biogas, por lo que se puede aplicar en motores de combustión interna. El gas contenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual resulta muy adecuado para el uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una de las desventajas es su baja velocidad de encendido. Los motores a biogas tienen un amplio espectro de aplicaciones, siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. Otros usos muy generalizados en su empleo son para accionar generadores de electricidad.

El biogas como combustible alternativo en motores de combustión interna encendidos por chispa, únicamente puede ser aprovechado para el funcionamiento de los motores de cuatro tiempos, ya que los motores de dos tiempos no se pueden adaptar a biogas., en estos, el combustible debe ir mezclado con el aceite que lubrica las partes móviles de un motor.

El uso vehicular del biogas es posible y en la realidad se ha empleado desde hace ya varios años, sin embargo su difusión está limitada por una serie de circunstancias, como por ejemplo el monopolio en la comercialización de hidrocarburos, el desempeño de los motores en función de la geografía, etc. A fin de permitir una autonomía razonable, el

gas, por su volumen, debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bares); este tipo de almacenamiento implica que el gas deba ser purificado antes de su compresión.

El adecuar los motores resulta costoso (instalación similar al Gas Natural Comprimido) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.

La falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este gas dificulta su uso.

Estos problemas están tomando relativa importancia debido a lo avanzado en la difusión de la tecnología del gas natural comprimido (GNC).

4.1.1 MONTAJE

Se procedió al armado de la camisa externa del biorreactor previo a esto se reestructuró la ubicación de la bomba de agua con la finalidad de optimizar la transferencia de calor en el serpentín y así se mantienen uniformes los 32° C necesarios para la proliferación bacteriana, se reemplazó el aislante térmico para evitar pérdidas ocasionadas por la convección natural, recordando que el generador se encuentra a la intemperie.

Se realizaron las conexiones de los sensores de temperatura, los instrumentos que cuantifican la presión de trabajo del sistema de intercambiador de calor, una vez

desarmado se realizó una limpieza total del tanque del reactor generando un mantenimiento integral del sistema se localizó además tubería de conexión que por falta de uso se encontraba sedimentada por lo tanto el fluido difícilmente podía transitar.

Después de realizar toda esta actividad se procedió a ensamblar el reactor y se lo puso a trabajar

4.1.2 PROCEDIMIENTO MECÁNICO

Ciclos Térmicos

Ciclo Otto

El ciclo Otto es el ciclo termodinámico que se aplica en los motores de combustión interna de encendido provocado (motores de gasolina). Inventado por Nicolaus Otto en 1872. Se caracteriza porque en una primera aproximación teórica, todo el calor se aporta a volumen constante. (Garrido, 2009)

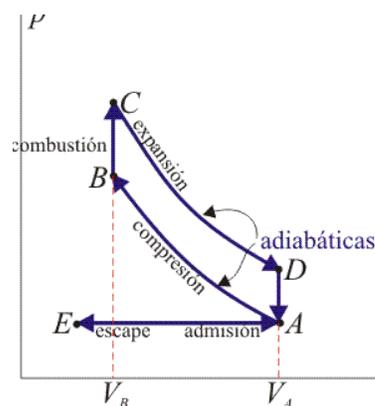


Figura 13: Presión Vs Volumen Otto

Fuente: (Kern, 1999)

Ciclo Diesel.

El ciclo del motor diesel lento (en contraposición al ciclo rápido, más aproximado a la realidad) ideal de cuatro tiempos es una idealización del diagrama del indicador de un motor Diesel, en el que se omiten las fases de renovación de la carga., y se asume que el fluido termodinámico que evoluciona es un gas perfecto, en general aire. Además, se acepta que todos los procesos son ideales y reversibles, y que se realizan sobre el mismo fluido. Aunque todo ello lleva a un modelo muy aproximado del comportamiento real del motor, permite al menos extraer una serie de conclusiones cualitativas con respecto a este tipo de motores. No hay que olvidar que los grandes motores marinos y de tracción ferroviaria son del ciclo de 2 tiempos diesel. (Garrido, 2009)

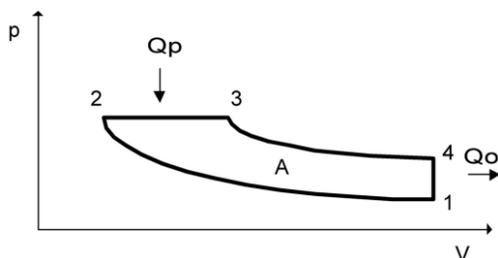


Figura 14: Presión Vs Volumen Diesel

Fuente: (Kerkn, 1998)

Ciclo de Vapor

Un motor térmico es una máquina térmica que transforma calor en trabajo mecánico por medio del aprovechamiento del gradiente de temperatura entre una fuente de calor (foco caliente) y un sumidero de calor (foco frío). El calor se transfiere de la fuente al sumidero y, durante este proceso, algo del calor se convierte en trabajo por medio del aprovechamiento de las propiedades de un fluido de trabajo, usualmente un gas o el vapor de un líquido. (Incropera, 1999)

Eficiencia

La eficiencia o rendimiento térmico de un motor de este tipo depende de la relación de compresión, proporción entre los volúmenes máximo y mínimo de la cámara de combustión. Esta proporción suele ser de 8 a 1 hasta 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octanos para evitar la detonación.

Una relación de compresión baja no requiere combustible con alto número de octanos para evitar este fenómeno; de la misma manera, una compresión alta requiere un combustible de alto número de octanos, para evitar los efectos de la detonación, es decir, que se produzca una auto ignición del combustible antes de producirse la chispa en la bujía.

El rendimiento medio de un buen motor Otto de 4 tiempos es de un 25 a un 30%, inferior al rendimiento alcanzado con motores diesel, que llegan a rendimientos del 30 al 45%, debido precisamente a su mayor relación de compresión.

Casi todos los motores de este tipo se fabrican para el transporte y deben trabajar variando la entrega de potencia constantemente. Debido a esto el rendimiento de los mismos cae bruscamente al trabajar con carga parcial (cuanto menos carga porcentualmente, peor rendimiento), ya que, cuando esto sucede la cámara de compresión mantiene su volumen dando una compresión real baja y transformando gran parte de la energía en calor.

Algunos fabricantes han construido motores con sistemas de compresión variable, pero siempre dedicado a variar de aproximadamente 7:1 a 14:1 y en relación a las RPM.

Para conseguir buenas eficiencias sería necesario variar la compresión desde 1:7 hasta 1:140 en casos de carga del 10% y hacerlo en relación a la cantidad de aire introducida para evitar detonaciones anticipadas. (Incropera, 1999)

Ciclo Otto

Motor

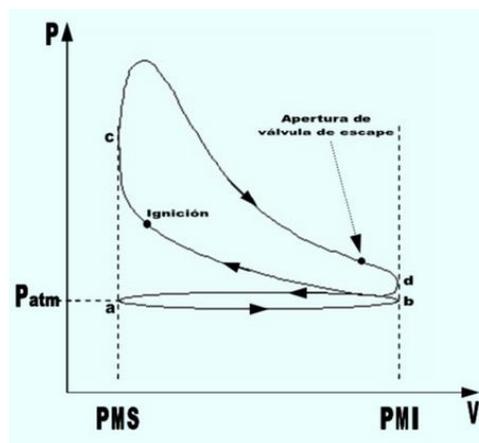


Figura 15: Ciclo Térmico Otto

Fuente: (UNET, 2012)

$$W_{salida} = 1Kw = (0.5) \left(\frac{Kg}{s} \right) * w_{salida}[1]$$

$$w_{salida} = 2 \left(\frac{Kj}{Kg} \right)[2]$$

$$E_{entra} = E_{sale}[3]$$

$$m * h5 = m * h6 + w_{salida}[4]$$

$$m = \frac{w_{salida}}{h5 - h6} = \frac{2}{3583.1 - 2115.3} = 1.3623E - 3Kg[5]$$

Caldera:

$$E_{entra} = E_{sale}[6]$$

$$m * h_3 + Q_{in} = m * h_4[7]$$

$$Q_{in} = m(h_4 - h_3) = 1.3623E - 3Kg(3647.6 - 160.1) = 4.752KJ[8]$$

$$m_{biogas} = \frac{Q_{in}}{Poder\ Calorico}[9]$$

$$m_{biogas} = \frac{213.05\ BTU}{pie3} = 7.938 \frac{KJ}{lt}[10]$$

$$m_{biogas} = \frac{4.752\ KJ}{7.938\ KJ/lt}[11]$$

$$m_{biogas} = 0.5986\ lt[12]$$

4.1.3 PROCEDIMIENTO ELECTRÓNICO

El levantamiento de datos resulta de mucha importancia en el presente proyecto puesto que se requiere que las variables del proceso se encuentren controladas para poder garantizar que la calidad del biogas sea adecuada tomando en consideración que la temperatura de trabajo como una de las variables importantes en el proceso de generación de biogas.

Para cuantificar esta variable se hizo uso de los sensores PT100. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la temperatura no es lineal pero si creciente. Una característica del platino es que permite mediante tablas encontrar la temperatura exacta a la que corresponde la variación de la resistencia eléctrica.

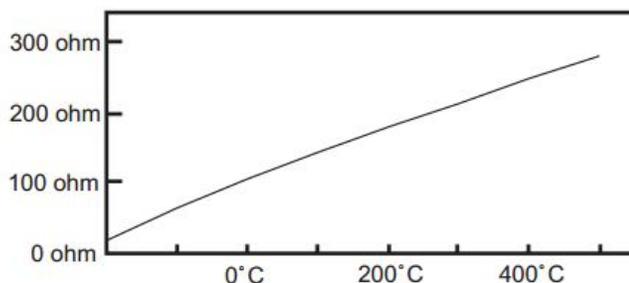


Figura 16: Resistencia Vs Temperatura

Fuente: (CORRAL, 1994)

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vainas), en un extremo se encuentra el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Ventajas del PT100

Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave.

Además la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión. (CORRAL, 1994)

Termómetro Digital

Los termómetros digitales son aquellos que, valiéndose de dispositivos transductores, utilizan luego circuitos electrónicos para convertir en números las pequeñas variaciones de tensión obtenidas, mostrando finalmente la temperatura en un visualizador. (CORRAL, 1994)

Para nuestra aplicación seleccionamos el termómetro digital full gauge penta III por la versatilidad que éste nos presenta puesto que posee cinco entradas de sensores.



Figura 17: Esquema de Conexión de Sensores a Termómetro Digital

Fuente: (Gauge, 2012)

4.1.4 PROCEDIMIENTO HIDRÁULICO

Introducción a la hidráulica

La hidráulica es aquella ciencia, parte de la física, que comprende la transmisión y regulación de fuerzas y movimientos por medio de los líquidos. Cuando se escucha la palabra “hidráulica” se debe remarcar el concepto de que es la transformación de la energía, ya sea de mecánica o eléctrica en hidráulica para obtener un beneficio en términos de energía mecánica al finalizar el proceso. Etimológicamente la palabra hidráulica se refiere al agua: Hidros - agua. Aulos - flauta. Pero existen varios especialistas que no emplean solo el agua como medio transmisor de energía, sino que también el aceite, por esto han establecido los siguientes términos para marcar una diferencia: Oleodinámica, Oleohidráulica u Oleólica.(Gutierrez, 2012)

En definitiva, la hidráulica sirve para construir dispositivos que funcionan con líquidos, por lo general agua o aceite. Y participa ampliamente en la resolución de problemas como el flujo de fluidos por conductos o canales abiertos y el diseño de presas de embalse, bomba y turbinas. Su fundamento es el principio de Pascal, que establece que la presión aplicada en un punto de un fluido se transmite con la misma intensidad a cada punto del mismo.(Gutierrez, 2012)

La ventaja que implica la utilización de la energía hidráulica es la posibilidad de transmitir grandes fuerzas, empleando para ello pequeños elementos y la facilidad de poder realizar maniobras de mandos y reglaje. A pesar de estas ventajas hay también ciertos inconvenientes debido al fluido empleado como medio para la transmisión. Esto debido a las grandes presiones que se manejan en el sistema las cuales posibilitan el

peligro de accidentes, por esto es preciso cuidar que los empalmes se encuentren perfectamente apretados y estancos.(Gutierrez, 2012)

Componentes de un sistema hidráulico

Entre los principales componentes de un sistema hidráulico tenemos:

- 1.-Bomba
- 2.-Actuadores
- 3.-Válvula de seguridad
- 4.-Filtros
- 5.-Motor
- 6.-Depósito

1. Bombas

Proporcionan una presión y caudal adecuado de líquido a la instalación.

Bomba hidráulica

La bomba hidráulica convierte la energía mecánica en energía hidráulica. Es un dispositivo que toma energía de una fuente (por ejemplo, un motor de combustión interna, un motor eléctrico, etc.) y la convierte a una forma de energía hidráulica. La bomba toma el fluido de un depósito de almacenamiento (por ejemplo, un tanque) y lo envía como un flujo al sistema hidráulico. Todas las bombas producen flujo del fluido de igual forma. Se crea un vacío a la entrada de la bomba. La presión atmosférica, más alta, empuja el aceite a través del conducto de entrada a las cámaras de entrada de la bomba.

Los engranajes de la bomba llevan el aceite a la cámara de salida de la bomba. El volumen de la cámara disminuye a medida que se acerca a la salida. Esta reducción del tamaño de la cámara empuja el aceite a la salida. La bomba sólo produce flujo (por ejemplo, galones por minuto, litros por minuto, centímetros cúbicos por revolución, etc.), que luego es usado por el sistema hidráulico. La bomba NO produce “presión”. La presión se produce por acción de la resistencia al flujo. La resistencia puede producirse a medida que el flujo pasa por las mangueras, orificios, conexiones, cilindros, motores o cualquier elemento del sistema que impida el paso libre del flujo al tanque. Hay dos tipos de bombas: regulables y no regulables.(Gutierrez, 2012)

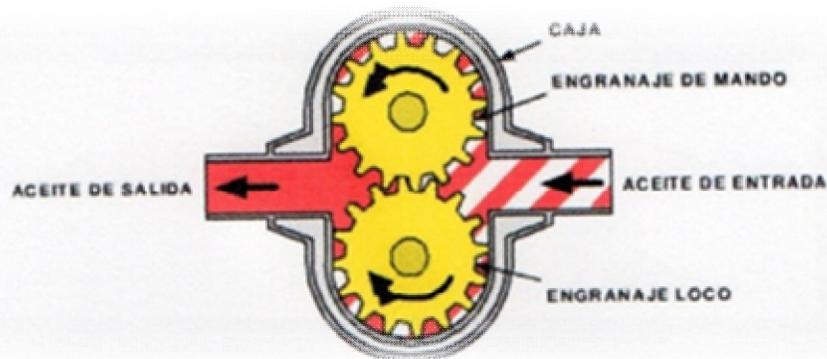


Figura 18: Esquema Bomba Aceite

Fuente: (ENRIQUE CABRERA MARCET, 1996)

Bombas no regulables

Tienen mayor espacio libre entre las piezas fijas y en movimiento que el espacio libre existente en las bombas regulables. El mayor espacio libre permite el empuje de más fluido entre las piezas a medida que la presión de salida (resistencia al flujo) aumenta.

Las bombas no regulables son menos eficientes que las regulables, debido a que el flujo de salida de la bomba disminuye considerablemente a medida que aumenta la presión de salida. Las bombas no regulables generalmente son del tipo de rodete centrífugo o del tipo de hélice axial, se usan en aplicaciones de presión baja, como bombas de agua para automóviles o bombas de carga para bombas de pistones de sistemas hidráulicos de presión alta. (Gutierrez, 2012)

Bombas regulables

Hay tres tipos básicos de bombas regulables: de engranajes, de paletas y de pistones. Las bombas regulables tienen un espacio libre mucho más pequeño entre los componentes que las bombas no regulables. Esto reduce las fugas y produce una mayor eficiencia cuando se usan en sistemas hidráulicos de presión alta. En una bomba regulable el flujo de salida prácticamente es el mismo por cada revolución de la bomba. Las bombas regulables se clasifican de acuerdo con el control del flujo de salida y el diseño de la bomba. (Gutierrez, 2012)

2. Actuador

Es el mecanismo que convierte la energía hidráulica en mecánica, es decir los cilindros y motores hidráulicos.(Gutierrez, 2012)

3. Válvula de Seguridad

Es importante para que el sistema no sea dañado por un exceso de presión el actuador se detenga, su función es controlar el paso del caudal en un u otra dirección.(Gutierrez, 2012)

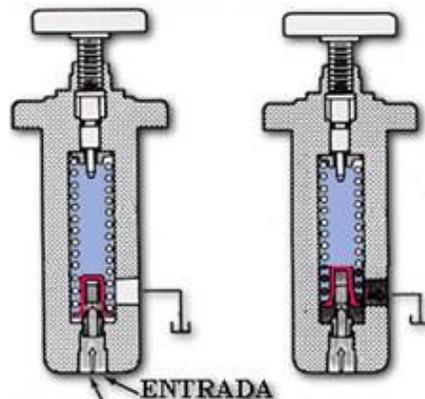


Figura 19: Esquema Válvula de seguridad

Fuente: (ENRIQUE CABRERA MARCET, 1996)

4. Filtro

Es el encargado de retirar del fluido las partículas sólidas en suspensión (trozos de metal, plásticos, etc. Unas de las mayores ventajas es precisamente su habilidad de atrapar materiales que entran al sistema desde los cilindros. El sistema impedirá que entre suciedad a la bomba. Esto es verdad siempre que no se agreguen materias extrañas al tanque.(Gutierrez, 2012)

5. Motor hidráulico

El motor hidráulico convierte la energía hidráulica en energía mecánica. El motor hidráulico usa el flujo de aceite enviado por la bomba y lo convierte en un movimiento rotatorio para impulsar otro dispositivo (por ejemplo, mandos finales, diferencial, transmisión, rueda, ventilador, otra bomba, etc.).(Gutierrez, 2012)

6. Depósito

Su misión es recuperar el fluido después de usarlo y mantener un nivel adecuado al uso de la instalación.(Gutierrez, 2012)

4.2 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Los sistemas hidráulicos y sus componentes se han vuelto más sofisticados con el paso del tiempo. Las presiones más altas de los sistemas y los tiempos de ciclo más rápidos aumentan la tensión y el desgaste de los componentes, lo cual puede producir altos niveles de contaminantes que son perjudiciales y que provocan fallas del sistema y las reparaciones pueden ser sumamente costosas. (Baldwinfilter, 2014)

Por todo esto es imprescindible seguir un cronograma estricto de mantenimiento del sistema hidráulico, ya que el filtro hidráulico es una parte importante del sistema y debido a que está diseñado para extraer contaminantes perjudiciales del fluido antes de que alcancen a componentes sensibles del sistema, es importante utilizar el filtro hidráulico correcto (diseñado estrictamente para ese sistema específico) y mantener intervalos regulares de cambio del filtro hidráulico. (Baldwinfilter, 2014)

Las medidas que pueden tomarse para ayudar a mantener un sistema hidráulico limpio son: Purgar todos los sistemas antes de la puesta en marcha inicial. Si tenemos un equipo nuevo se debe, cambiar el filtro y fluido hidráulicos después del período de operación inicial recomendado o con anterioridad. No se debe dejar el sistema hidráulico abierto o expuesto a un entorno sucio, hay que mantener el nivel de fluido apropiado en el depósito hidráulico y sobre todo asegurarse de que los envases de fluido

hidráulico, embudos y el área circundante al depósito estén limpios, así como también asegurarse de que el fluido que se añada sea compatible con cualquier fluido restante en el sistema. Por otro lado pero no menos relevante, se debe seguir las directivas de temperatura del fabricante del fluido en cuanto a su almacenamiento, y verificar que las mangueras hidráulicas de extremo abierto estén tapadas cuando se reemplacen o reparen. En caso de que existieran fugas, es importante repararlas.(Baldwinfilter, 2014)

Otro de los cuidados para el correcto mantenimiento del sistema hidráulico es solicitar que se analice el fluido al menos cada dos años o si sospecha un problema de contaminación. Este debe ser reemplazado de conformidad con la recomendación del fabricante o si se produjo una falla del sistema. Si se observan depósitos de goma y laca sobre el filtro o dentro del mismo, esto indica la necesidad de cambiar el fluido y el filtro con más frecuencia. Por último, drenar y purgar el sistema según la recomendación del fabricante. (Baldwinfilter, 2014)

El filtro hidráulico desempeña una función clave en la protección de los componentes del sistema hidráulico contra los daños. Los cambios regulares del filtro y su correcto mantenimiento pueden ayudar a evitar costosas reparaciones en el futuro. (Baldwinfilter, 2014)

4.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Se conoce como intercambiadores de calor, o también llamados cambiadores de calor, a todos aquellos dispositivos utilizados para transferir energía de un medio a otro, sin embargo, se hace referencia única y exclusivamente a la transferencia de energía entre

fluidos por conducción y convección, debido a que el intercambio térmico entre fluidos es uno de los procesos más frecuente e importante en la ingeniería. (UPC, 2014)

Un intercambiador de calor es un dispositivo que facilita la transferencia de calor de una corriente fluida a otra.(UPC, 2014)

4.4 TIPOS DE INTERCAMBIADORES

a) Intercambiador de contacto directo.

b) Intercambiador de contacto indirecto.

b.a) Regenerativos.

b.b) Recuperativos.

b.b.a) Una sola corriente.

b.b.b) Dos corrientes en flujo paralelo.

b.b.c) Dos corrientes en contracorriente.

b.b.d) Dos corrientes en flujo cruzado.

b.b.e) Dos corrientes en contraflujo cruzado.

b.b.f) Dos corrientes a pasos múltiples

a) Intercambiadores de contacto directo:

En los intercambiadores de contacto directo sin almacenamiento de calor las corrientes contactan una con otra íntimamente, cediendo la corriente más caliente directamente su calor a la corriente más fría. Este tipo de intercambiador se utiliza

naturalmente cuando las dos fases en contacto son mutuamente insolubles y no reaccionan una con otra. Por consiguiente, no puede utilizarse con sistemas gas-gas.(UPC, 2014)

Los intercambiadores de calor de contacto directo son de tres amplios tipos. En primer lugar, se tienen los intercambiadores gas-sólido. A continuación se tiene los intercambiadores fluido-fluido, en los que los dos fluidos en contacto son mutuamente inmiscibles. Finalmente, no siempre es necesario que los dos fluidos en contacto sean mutuamente insolubles, puede haber intercambiadores donde uno de los fluidos circulantes se disuelve en el otro. En particular, en los sistemas aire-agua el intercambiador de contacto directo es de gran importancia ya que justo una de las fases (agua) se disuelve, o evapora, en la otra fase (aire). Es el tipo más ampliamente utilizado de intercambiador de calor en la industria.(UPC, 2014)

b) Intercambiador de Contacto Indirecto:

b.a) Regenerativos

En los regenerativos una corriente caliente de un gas transfiere su calor a un cuerpo intermedio, normalmente un sólido, que posteriormente cede calor almacenado a una segunda corriente de un gas frío.(UPC, 2014)

b.b) Recuperativos

Existen diversas configuraciones geométricas de flujo posibles en un intercambiador, las más importante son las que se representan a continuación.(UPC, 2014)

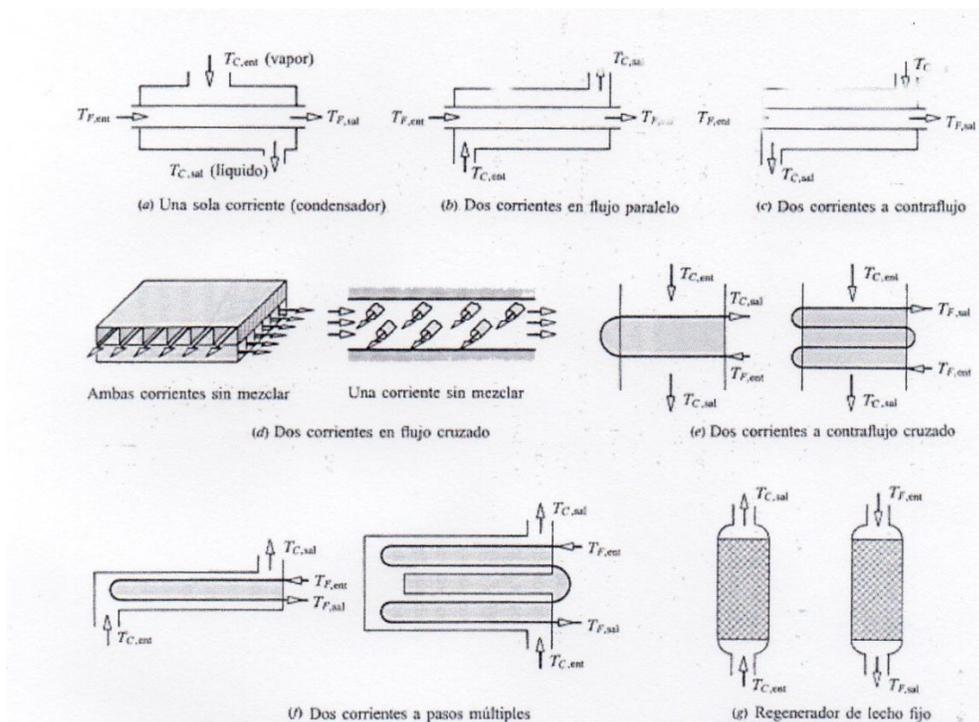


Figura 20: Configuración de Intercambiador

Fuente: (FELIX A. PEUSER, 2005)

b.b.a) Una sola corriente.

La configuración de una sola corriente se define como un intercambiador en el que cambia la temperatura de un solo fluido; en este caso la dirección del flujo carece de importancia. Los condensadores, evaporadores y las calderas de vapor son ejemplos de este tipo de intercambiadores. En la figura anterior (a) se ilustra un condensador simple. (UPC, 2014)

b.b.b) Dos corrientes en flujos paralelos.

Los dos fluidos fluyen en direcciones paralelas y en el mismo sentido. En su forma más simple, este tipo de intercambiador consta de dos tubos concéntricos, como muestra la figura de arriba (b). En la práctica, un gran número de tubos se colocan en una coraza para formar lo que se conoce como intercambiador de coraza y tubos, como se observa en la siguiente figura, el intercambiador de coraza y tubos se usa más frecuentemente para líquidos y para altas presiones.(UPC, 2014)

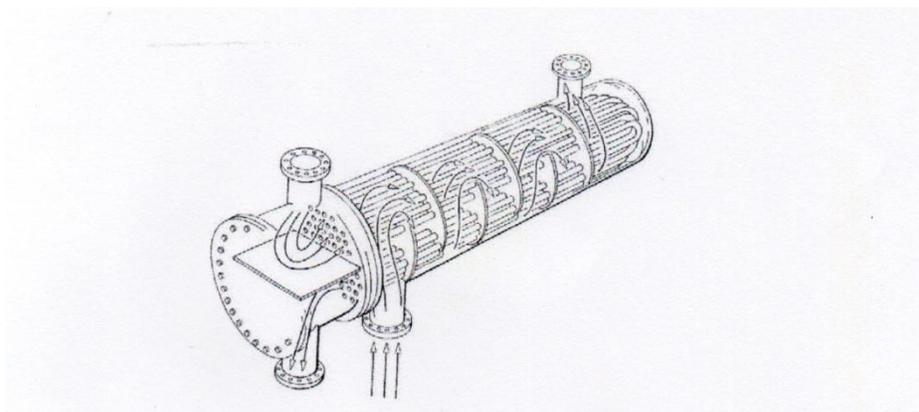


Figura 21: Configuración de Intercambiador Flujo Cruzado

Fuente: (FELIX A. PEUSER, 2005)

b.b.c) Dos corrientes en contracorriente.

Los fluidos se desplazan en direcciones paralelas pero en sentido opuesto. En la figura de los intercambiadores recuperativos (c) se muestra un intercambiador simple de tubos coaxiales, pero, como en el caso del intercambiador de corrientes paralelas, los intercambiadores de coraza y tubos o de placas son los más comunes.(UPC, 2014)

Veremos que para un número dado de unidades de transferencia, la efectividad de un intercambiador de corriente es mayor que la del intercambiador en contracorriente. Los precalentadores de agua de alimentación para calderas y los enfriadores de aceite para aviones son ejemplos de este tipo de intercambiadores de calor. Esta configuración se conoce también como intercambiadores de contracorriente. (UPC, 2014)

b.b.d) Dos corrientes en flujo cruzado.

Las corrientes fluyen en direcciones perpendiculares, como se muestra en la figura de los intercambiadores recuperativos (d). La corriente caliente puede fluir por el interior de los tubos de un haz y la corriente fría puede hacerlo a través del haz en una dirección generalmente perpendicular a los tubos. Una o ambas corrientes pueden estar sin mezclarse, como se muestra. Esta configuración tiene una efectividad intermedia entre la de un intercambiador de corriente paralela y la de uno en contracorriente, pero a menudo su construcción es más sencilla debido a la relativa simplicidad de los conductos de entrada y de salida. Un ejemplo común de este tipo de intercambiador es el radiador de automóvil que se muestra en la figura a continuación.(UPC, 2014)

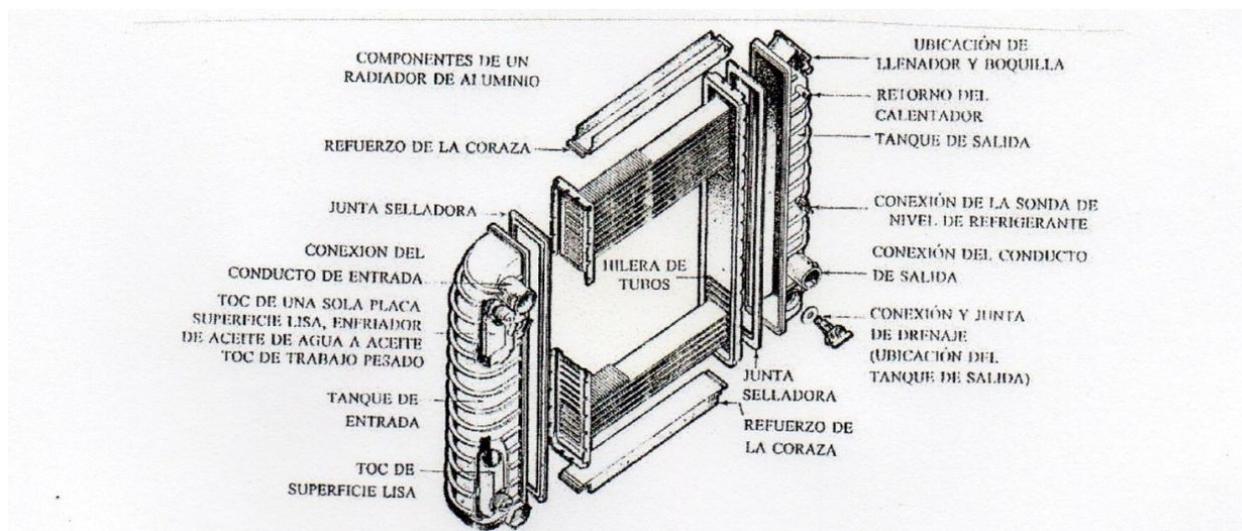


Figura 22 : Configuración de Intercambiador Doble Flujo Cruzado

Fuente: (FELIX A. PEUSER, 2005)

b.b.e) Dos corrientes en contraflujo cruzado.

En la práctica, las configuraciones de flujo de los intercambiadores se aproximan a menudo a las idealizaciones de la figura de intercambiadores recuperativos (e); se muestran los casos de dos pasos y de cuatro pasos, aunque puede usarse un número mayor de pasos. En un intercambiador de dos pasos los tubos pasan dos veces por la coraza. Conforme aumenta el número de pasos, la efectividad se aproxima a la de un intercambiador de corriente ideal.(UPC, 2014)

b.b.f) Dos corrientes a pasos múltiples.

Cuando los tubos de un intercambiador de coraza y tubos están dispuestos en uno o más pasos en el interior de la coraza, como muestra la figura de los intercambiadores recuperativos (f), algunos de los pasos producen un flujo paralelo mientras que otros

producen un flujo a contracorriente. El intercambiador de dos pasos de este tipo es común porque sólo es necesario perforar uno de los extremos para permitir la entrada y salida de los tubos.(UPC, 2014)

4.5 FORMAS DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

Otra manera de clasificar los intercambiadores de calor, es mediante la estructura y uso de los mismos, es decir por su forma, como se muestra a continuación.

Intercambiadores de coraza y tubo:

Los intercambiadores del tipo de coraza y tubo (como el mostrado en la figura) constituyen la parte más importantes de los equipos de transferencia de calor sin combustión en las plantas de procesos químicos. (Aun cuando se está haciendo cada vez mayor hincapié en otros diseños). (Kerkn, 1998)



Figura 23: Intercambiadores de Casco y Tubo

Fuente: (JAVIER PONCE GARCIA, 2005)

El intercambiador coraza (carcaza) y tubo, consiste en una serie de tubos lineales colocados dentro de un tubo muy grande llamado coraza (como se aprecia en la figura anterior) y representan la alternativa a la necesidad de una gran transferencia de calor. Dentro de este tipo de intercambiadores, dependiendo a su construcción se puede conseguir diferentes tipos como los son:

.- **Intercambiador de calor de espejo fijo:** los intercambiadores de espejo fijo se utilizan con mayor frecuencia que los de cualquier otro tipo y la frecuencia de su utilización se ha incrementado en años recientes. Los espejos se sueldan a la coraza. Por lo común, se extienden más allá de la coraza y sirven como bridas a la que sujetan como pernos los cabezales del lado de los tubos. Esta construcción requiere que los materiales de la coraza y los espejos se puedan soldar entre sí. (Kerkn, 1998)

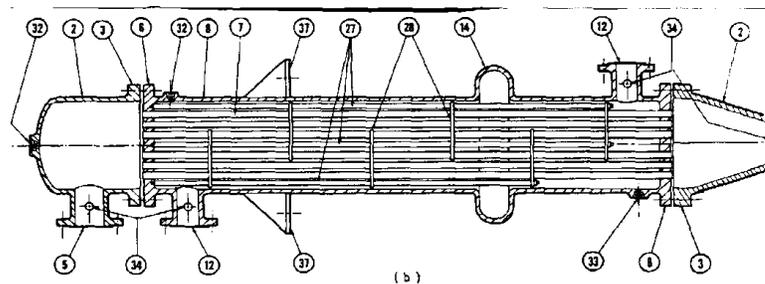


Figura 24: Intercambiador de espejo fijo.

Fuente: (JAVIER PONCE GARCIA, 2005)

.- **Intercambiador de calor de tubo en U:** el haz de tubos consiste en un espejo estacionario, tubos en U (o de horquilla), deflectores o placas de soporte y espaciadores y tirantes apropiados. El haz de tubos se puede retirar de la coraza del intercambiador de calor. Se proporciona un cabezal del lado del tubo (estacionario) y una coraza con cubierta integrada, que se suelda a la coraza misma. Cada tubo tiene la libertad para

dilatarse o contraerse, sin limitaciones debidas a la posición de los otros tubos. (losrehervidores de calderas, los evaporadores, etc., son con frecuencia intercambiadores de tubo en U con secciones ampliadas de la coraza para la separación del vapor y el líquido)(Gregorig, 1979)

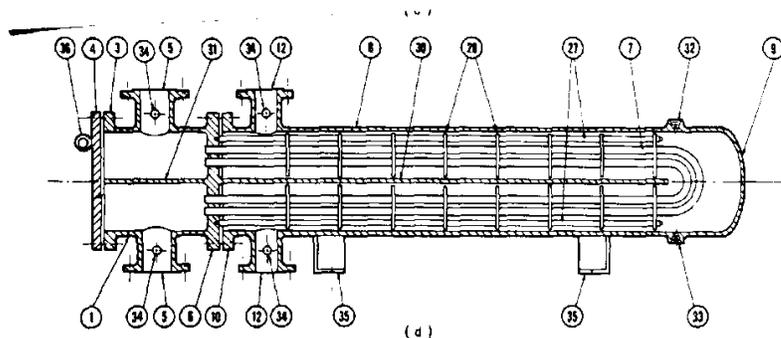


Figura 25: Intercambiador en U

Fuente: (Gregorig, 1979)

.- **El calentador de succión del tanque:** contiene un haz de tubo en U. Este diseño se utiliza con frecuencia en tanques de almacenamiento al aire libre, para combustóleos pesados, alquitrán, etc., cuya viscosidad se debe reducir para permitir el bombeo adecuado. (Kerkn, 1998)

.- **Intercambiador de anillo de cierre hidráulico:** esta construcción es la menos costosa de los tipos de tubos rectos y haz desmontable. Los fluidos del lado de la coraza y del lado del tubo se retienen mediante anillos de empaque distintos separados por un anillo de cierre hidráulico y se instalan en el espejo flotante.(Gregorig, 1979)

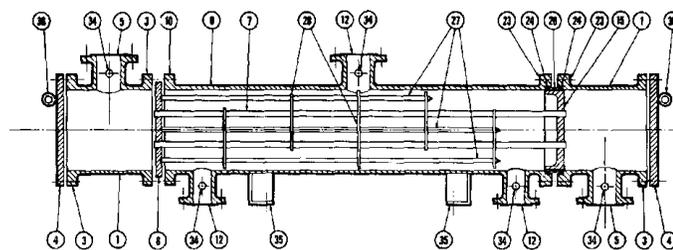


Figura 26: Intercambiador de Anillo de Cierre Hidráulico

Fuente: (FELIX A. PEUSER, 2005)

.- **Intercambiador de cabezal flotante con empaque exterior:** el fluido del lado de la coraza se retiene mediante anillos de empaque, que se comprimen dentro de un prensaestopas mediante un anillo seguidor de junta. Esta construcción fue utilizada con frecuencia en la industria química; sin embargo, su empleo ha disminuido en los años recientes. (Kerkn, 1998)

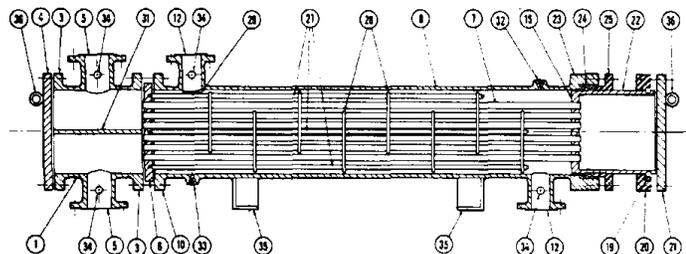


Figura 27: Intercambiador de cabezal flotante con empaque exterior

Fuente: (FELIX A. PEUSER, 2005)

.- **Intercambiador de cabezal flotante interno:** el diseño de cabezal flotante interno se utiliza mucho en las refinerías petroleras, pero su uso ha declinado en años recientes. En este tipo de cambiador de calor el haz de tubos y el espejo flotante se desplaza (o flota) para acomodar las dilataciones diferenciales entre la coraza y los tubos.

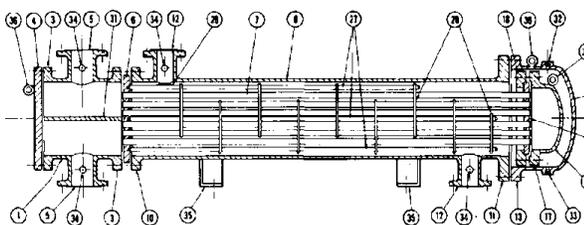


Figura 28: Intercambiador de Cabezal Flotante Interno

Fuente: (FELIX A. PEUSER, 2005)

.- Intercambiador de cabezal flotante removible: la construcción es similar a la del intercambiador de cabezal flotante interno con anillo dividido de respaldo, con la excepción de que la cubierta del cabezal flotante se sujeta directamente con pernos en el espejo flotante. Esta característica reduce el tiempo de mantenimiento durante la inspección y las reparaciones. (Kerkn, 1998)

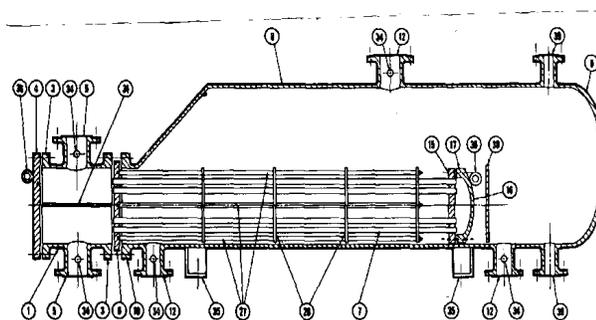


Figura 29: Intercambiador de cabezal flotante removible

Fuente: (ENRIQUE CABRERA MARCET, 1996)

.- Intercambiador de doble tubo: Este tipo de cambiador de calor está formado por uno o más tubos pequeños contenidos en un tubo de diámetro más grande. Al tubo externo se le llama anulo. (en las siguientes figuras se ejemplifica este tipo de intercambiador) (Gregorig, 1979)

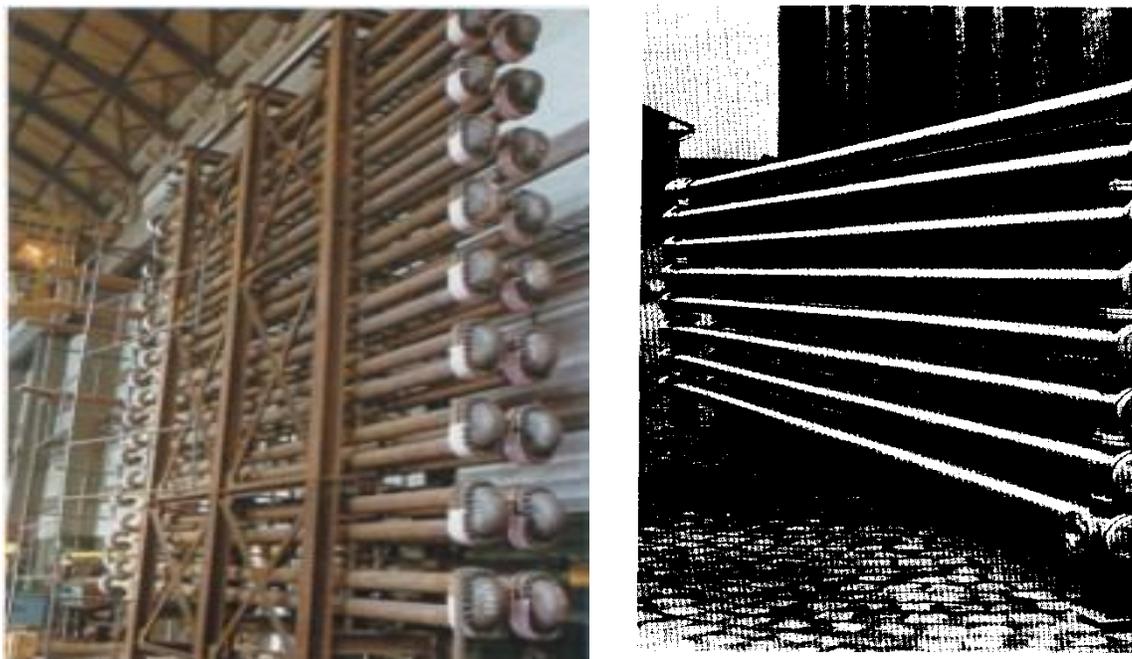


Figura 30: Intercambiadores de doble Tubo

Fuente: (Gutierrez, 2012)

.- Intercambiadores del tipo de placa: Existen intercambiadores de tipo de placa en varias formas: en espiral, de placa (y armazón), de aleta con placa soldada y de aleta de placa y tubo. (Gregorig, 1979)

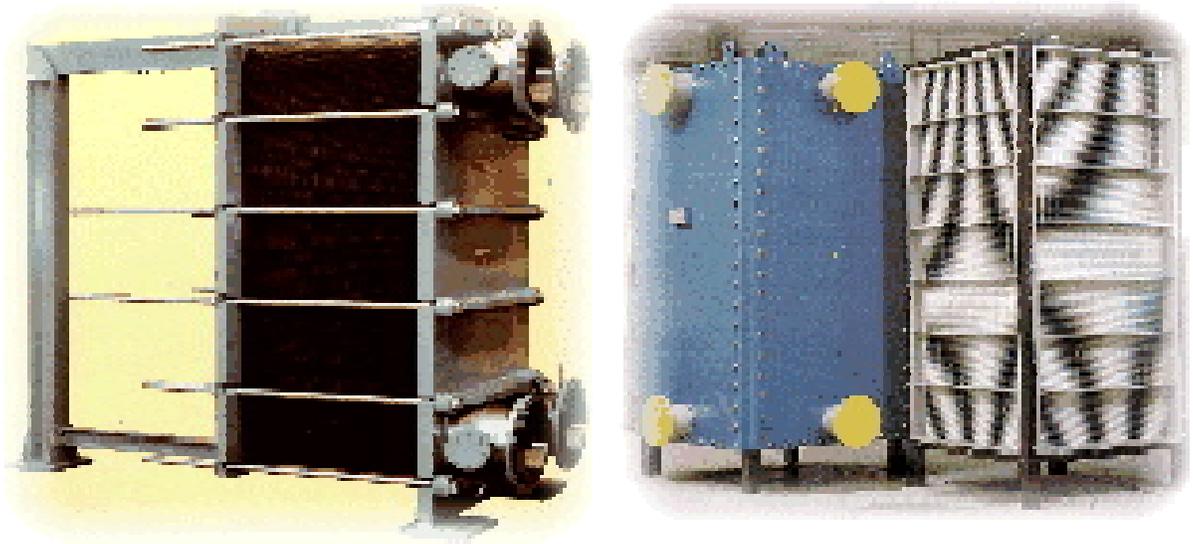


Figura 31: Intercambiadores de tipo placa

Fuente: (Gutierrez, 2012)

.- Intercambiadores de placa en espiral: el intercambiador de placa en espiral se hace con un par de placas laminadas para proporcionar dos pasos rectangulares relativamente largos para los fluidos con flujo en contracorriente. La trayectoria continua elimina la inversión del flujo (y la caída consiguiente de la presión), las desviaciones y los problemas de dilataciones diferenciales. Los sólidos se pueden mantener en suspensión (como se muestra en la figura).(Gregorig, 1979)

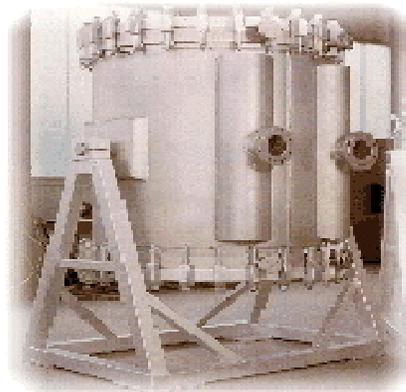


Figura 32: Intercambiadores de tipo placa espiral

Fuente: (Gutierrez, 2012)

.- **Intercambiadores de placa y armazón:** los intercambiadores de placa y armazón consisten en placas estándares, que sirven como superficies de transferencia de calor y un armazón para su apoyo (ver siguiente figura).(Kerkn, 1998)

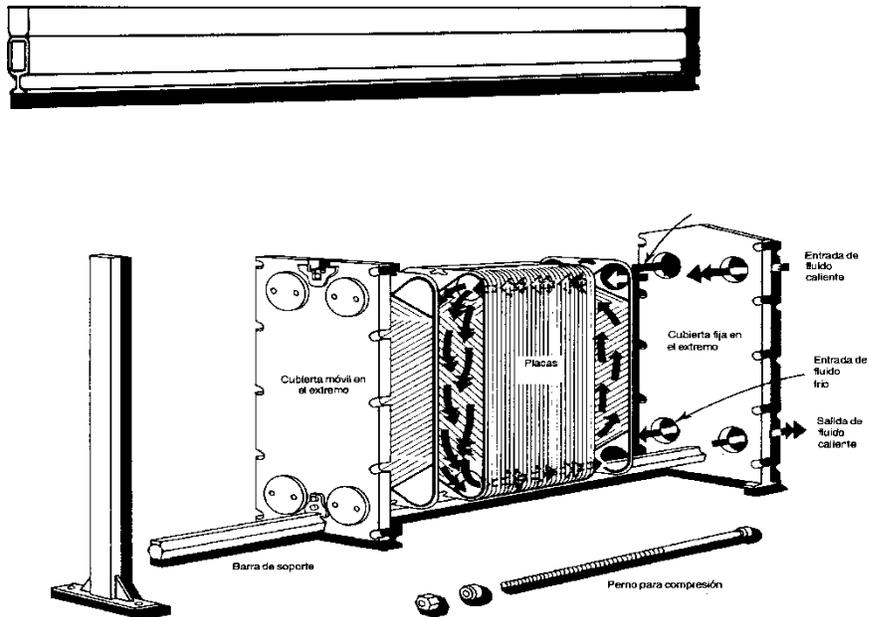


Figura 33: Intercambiadores de tipo placa y armazón

Fuente: (Gutierrez, 2012)

.- **Intercambiador de calor de aleta y placa con soldadura fuerte:** la superficie de transferencia de calor de aleta y placa se compone de una pila de capas, cada una de las cuales consiste en una aleta corrugada entre láminas metálicas planas, selladas en los dos lados mediante canales o barras, para formar un paso para el flujo del fluido.(como se muestra en la figura) (Gregorig, 1979)



Figura 34: Intercambiadores de aleta y placa con soldadura

Fuente: (Gutierrez, 2012)

.- Superficie de placa, aleta y tubo: las aletas rectangulares se perforan, forman, acampanan y apilan antes de que se inserten los tubos en las abrazaderas de las aletas y se dilaten para producir la superficie de placa, aleta y tubo. (Kerkn, 1998)

.- Intercambiadores de bloques de grafito: Los intercambiadores cúbicos de grafito impermeable consiste en cubos sólidos, perforados con hileras de orificios paralelos que están en ángulo recto con los superiores y los inferiores. Los cabezales sujetos con pernos a los lados opuestos de las caras verticales del cubo proporcionan el flujo del fluido de proceso a través del bloque. Los cabezales apropiados en las caras verticales restantes dirigen el medio de calentamiento o enfriamiento a través de los intercambiadores. (Incropera, 1999)

También hay un intercambiador de tipo de bloque que consiste en una serie de bloques cilíndricos de grafito impermeable con pasajes radiales y axiales. El intercambiador del bloque cúbico de grafito no está sujeto a daños a partir de choque mecánico, como sucede con el intercambiador de coraza y tubo del mismo material.(Kerkn, 1998)

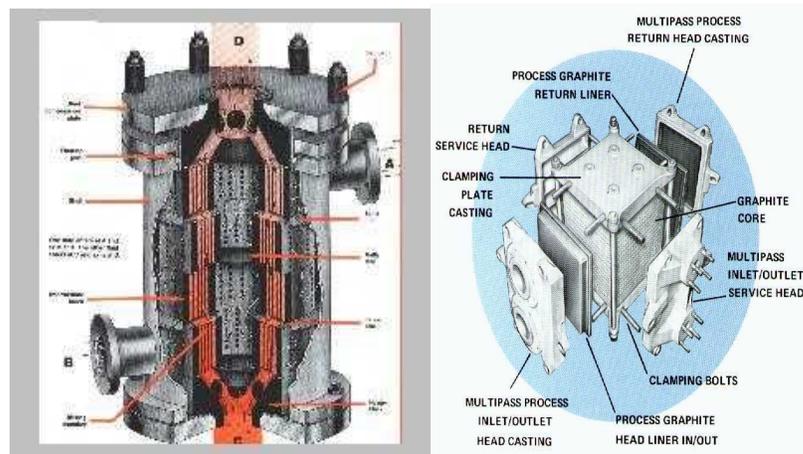


Figura 35: Intercambiadores de bloque de grafito

Fuente: (Incropera, 1999)

.- Enfriadores en cascada: Los enfriadores en cascada consisten en una serie de tubos montados horizontalmente, uno sobre otros. Se denominan a veces enfriadores de trombón, enfriadores de goteo o de serpentín. El agua de enfriamiento de un depósito de distribución se desliza sobre cada tubo y, a continuación, va a un dren. El fluido caliente circula generalmente en flujo a contracorriente, del fondo a la parte superior del grupo de tubos. Existen enfriadores en cascada de vidrio, grafito impermeable, hierro colado y otros materiales. (Kerkn, 1998)

.- Enfriadores atmosféricos: Las secciones atmosféricas consisten en tubos lisos arreglados en haces de tubos rectangulares, que se instalen encima de estanques de agua en la parte inferior de una torre de enfriamiento. El fluido de proceso o el agua de enfriamiento primario fluyen dentro de los tubos. (Kerkn, 1998)

.- Intercambiador tubular tipo bayoneta: Este tipo de intercambiadores son útiles cuando existe una diferencia extrema de temperatura entre los fluidos del lado de la coraza y lado del tubo, ya que todas las partes sujetas a expansión diferencial son libres para moverse, independientes entre si. Esta construcción única no sufre falla debido al congelamiento del condensado de vapor, porque el vapor en la parte interna del tubo funde cualquier hielo que pueda formarse durante períodos de operación intermitente. Los costos son relativamente altos, ya que sólo los tubos externos del haz transfieren calor al fluido del lado de la coraza. Los tubos internos no son apoyados. Los tubos externos son apoyados por deflectores convencionales o placas de apoyo. (Gregorig, 1979)

.- Intercambiadores de tubo en espiral: Los intercambiadores de tubo en espiral consisten en un grupo de serpentines concéntricos arrollados en espiral, por lo general conectados por múltiples (manifolds). Entre sus características se incluye flujo a contracorriente, eliminación de las dificultades de la expansión diferencial, velocidad constante y compactación. (Gregorig, 1979)

.- Intercambiadores de tubo en espiral para servicio criogénico: En algunos de los intercambiadores de servicio criogénico se requiere que exista reversibilidad termodinámica con pequeñas diferencias en temperaturas y es en estos casos cuando se utilizan unidades del tipo espiral. Los intercambiadores en planta para la separación de aire llevan el gas de alta presión dentro de los tubos y el gas de baja presión fuera de los mismos en una combinación de flujos a contracorriente y cruzado. (Gregorig, 1979)

.- Intercambiadores de película descendente: Las principales ventajas de estos intercambiadores de calor son la alta velocidad de transferencia de calor, la existencia nula de caída de presión interna, corto tiempo de contacto (característica muy importante para materiales sensibles al calor), facilidad de acceso a los tubos para su limpieza y, en algunas ocasiones, prevención de fugas de un lado a otro. (Gregorig, 1979)

Estos intercambiadores de calor se utilizan en diversos servicios, como se describe a continuación:

- Enfriadores y Condensadores de Líquidos.
- Evaporadores.
- Absorbedores.

- Congeladores.

4.6 SELECCIÓN DE MATERIALES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Tubería de cobre

El cobre es uno de los metales más importantes industrialmente. Es un gran conductor de electricidad, es dúctil y posee una coloración rojiza. La tubería de cobre ha confirmado su reputación como material ligero, fuerte y resistente al diseño, construcción, y operacionalización de un intercambiador de calor tipo tubo y carcasa. En la actualidad, el tubo de cobre es empleado para instalaciones hidráulicas, calefacción y acondicionamiento del aire. En el mercado se dispone de tubos en temple estirado y recocido, en una amplia gama de diámetros y espesores de pared. Asimismo se encuentra con gran facilidad, accesorios prefabricados para cualquier aplicación de diseño. Las uniones son sencillas, confiables y económicas, lo que se traduce en grandes ventajas para la elección de tubería de cobre. (Almeida & Armas, 2013)

Además, existen diversos tipos de tubería de cobre K, L, M o G. Cada tipo representa una serie de diámetros con diferentes espesores de pared. El tubo tipo K tiene paredes más gruesas que el tipo L, y a su vez, esta posee paredes más gruesas que la M. Los diámetros interiores dependen del tamaño del tubo y del espesor de pared. El tubo rígido puede unirse mediante soldadura común o soldadura fuerte (con plata), utilizando conexiones capilares. A continuación se presentan tablas que indican las características de cada tipo de tubería. (Almeida & Armas, 2013)

Acero al carbón

El acero al carbón es una aleación formado principalmente de hierro, máximo de 1% de carbón, y otros elementos necesarios para su producción tales como silicio, magnesio e impurezas como azufre, fósforo, oxígeno e hidrógeno. Este es considerado el material más común utilizado en las plantas de procesos y equipos industriales.(Almeida & Armas, 2013)

El aumento del contenido de carbón en el acero produce un aumento de su resistencia a la tracción, un incremento del índice de fragilidad en frío y disminución de la tenacidad y la ductilidad. Existen diversos tipos de acero al carbono como son:

Acero dulce: Contiene porcentaje de carbón de 0,25%. Presenta una resistencia mecánica de 48 - 55 kg/mm² y una dureza de 135 - 160 HB. Se puede soldar con una técnica adecuada. Se lo utiliza para la fabricación de piezas de resistencia media de buena tenacidad, deformación en frío, embutición, plegado, y herrajes. (Almeida & Armas, 2013)

Acero semidulce: Posee 0,35% de carbón. Tiene una resistencia mecánica de 55 - 62 kg/mm² y una dureza de 150 - 170 HB. Presenta un buen temple. Se lo utiliza para la producción de ejes, elementos de maquinaria, piezas resistentes y tenaces, pernos, tornillos, y herrajes. (Almeida & Armas, 2013)

Acero semiduro: su porcentaje de carbón es de 0,45%. Tiene una resistencia mecánica de 62 - 70 kg/mm² y una dureza de 280 HB. Se temple bien, aunque puede tener deformaciones. Sus principales aplicaciones son la elaboración de ejes y elementos de

máquinas, piezas bastante resistentes, y cilindros de motores de explosión, y transmisiones. (Almeida & Armas, 2013)

Acero duro: El porcentaje de carbón que contiene es de 0,55%. Tiene una resistencia mecánica de 70 - 75 kg/mm², y una dureza de 200 - 220 HB. Templa bien en agua y en aceite. Se lo utiliza para la producción de ejes, transmisiones, tensores y piezas regularmente cargadas y de espesores no muy elevados. (Almeida & Armas, 2013)

El material de construcción más utilizado para los intercambiadores de calor es el acero al carbono, pero tenemos también otros materiales en orden de utilización como son:

- Acero inoxidable de la serie 300
- Níquel
- Monel
- Aleaciones de cobre, como latón Admiralty
- Aluminio
- Acero inoxidable de la serie 400

Los materiales a utilizar se seleccionan por su resistencia a la corrosión. Se utilizan tubos bimetálicos cuando las condiciones de temperatura y requisitos de corrosión no permiten la utilización de una aleación simple. Consisten en dos materiales laminados juntos. Hay que tener cuidado con la acción galvánica. (Paguay, 2012)

También se encuentran intercambiadores de construcción no metálica como son, tubos de vidrio, en casco de vidrio o acero y también los hay de grafito y teflón. (Paguay, 2012)

4.7 PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL EQUIPO

4.7.1 PRUEBA A BIOREACTOR

Prueba 1:

Equipo Utilizado: Un reactor con capacidad de 0.5 m³, campo de colectores de 3000 W térmicos, termómetro -20 a 1000 °C, indicadores de presión de 0 a 120 PSI. En la figura 4.2.1 se puede observar el sistema de conversión compuesto por reactor con calefacción externa, y el campo de colectores.



Figura 36: Biorreactor

Ubicación del Equipo: En Santa Clara - Sangolquí, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha Universidad de las Fuerzas Armadas-DECEM

4.7.2 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN Y EXTRACCIÓN DE GAS

Materia prima para Biodigestor:

- Tipo Animal: Estiércol de Ganado Vacuno.
- Tipo Vegetal: Cascara de Cacao.

Cantidad de materia prima colocada en el Biodigestor:

- 70% Estiércol de Ganado Vacuno.
- 29% Cascara de Cacao molido
- 1% Urea.

Esta composición se la realizó en 10 Kg de biomasa que fueron colocados en el biorreactor.

Es importante resaltar que las sustancias toxicas presentes en los elementos que se utiliza para realizar la biomasa son mínimas y además que ciertos materiales no deben ser cargados al biodigestor ya que mal logran los procesos entre estos se tiene:

- Sólidos y otros materiales como arena, rocas, piedras, aserrín o paja que en muchas ocasiones se pueden introducir a la mezcla.
- Materiales tóxicos que inhiben la digestión como amoniac, residuos de pesticidas, metales pesados, aceites y grasas.
- Otros materiales como residuos medicinales como antibióticos, detergentes, ácidos o bases, sustancias con elementos halógenos, etc. Pueden ser nocivos para la acción de las bacterias anaerobias.

Almacenamiento de residuos:

- Recolectar los elementos de la mezcla en un solo punto hace más fácil y eficiente la carga en el biorreactor.
- Mezclar los residuos de tipo animal y vegetal de manera uniforme y homogénea de acuerdo a las proporciones indicadas.

Calidad de Residuos:

- La calidad e la materia prima en términos de rendimiento del gas dependerá en parte de su frescura, entre mayor sea esta el gas tiene un rendimiento eficiente y tendrá menor peligro de acidificarse (Guasumba, 2007).
- Si bien es cierto la digestión anaerobia es un proceso complejo y largo, el cual puede ajustarse a pequeños cambios, pero se debe evitar que estos sean drásticos con la materia prima principalmente y siempre respetando la composición de la mezcla (Guasumba, 2007).

Pre tratamiento de los residuos

- Separación de sólidos inertes y materiales extraños como arena, gravas, troncos, etc.
- Acondicionar los residuos vegetales en este caso el cacao mediante un proceso de corte, picado y molienda (Guasumba, 2007).
- Mezcla y homogenización de residuos

NITRÓGENO Y RELACIÓN C/N EN VARIAS MATERIAS			
MATERIAL		% N₂	C/N
Residuos de comida	Fruta	1,52	34,80
	Mataderos	7,0-10	2
Estiércoles	Vaca	1,70	18
	Cerdo	3,75	20
	Aves	6,30	15
	Oveja	3,75	22
Fangos activados	Digeridos	1,88	15,70
	Crudos	5,60	6,30
Madera y paja	Serrín	0,10	200-500
	Paja trigo	0,30	128
	Madera pino	0,07	723
Papel	Mezclado	0,25	173
	Periódico	0,05	983
	Revistas	0,07	470
Residuos de jardín	Césped	2,15	20,10
	Hojas caídas	0,5-1	40-80
Biomasa	General	1,96	20,90

Figura 37: Relación C/N en biomasa común

Fuente: (Elias & Velo, 2005)

4.7.3 CARACTERÍSTICAS DEL BIODIGESTOR

El biodigestor es un sistema que provee de las condiciones necesarias para que exista una proliferación bacteriana óptima, las bacterias anaerobias descomponen y tratan los residuos dejando como subproducto gas combustible y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada.

Temperatura

La temperatura es uno de los principales factores que afectan el crecimiento de las bacterias responsables de la producción de biogas. La producción de biogas se puede producir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de temperatura de 4°C a 68°C (Guasumba J, 2006).

A medida que la temperatura aumenta, la tasa de producción de gas también se incrementa y por ende disminuye el tiempo de retención de la materia orgánica dentro del digestor, la temperatura óptima para la generación es de 32 ° C. En algunos casos se hace necesario implementar un sistema de calor suplementario para mejorar el rendimiento del proceso.

Método de Carga

Para que el rendimiento del gas sea mayor, se debe cargar la mezcla lo más fresca posible, y así mezclar de acuerdo a la composición indicada de manera homogénea y uniforme.

Ya que al no hacerlo de esta manera la producción de biogas se verá reducida en función de la cantidad de biomasa inmersa en el digestor.

Tiempo de Retención

Esta variable depende de la temperatura ambiente y junto con la carga del digestor determinan las dimensiones del sistema. La figura 38 representa los días de retención en función de la temperatura a la cual estuvo sometido el biodigestor

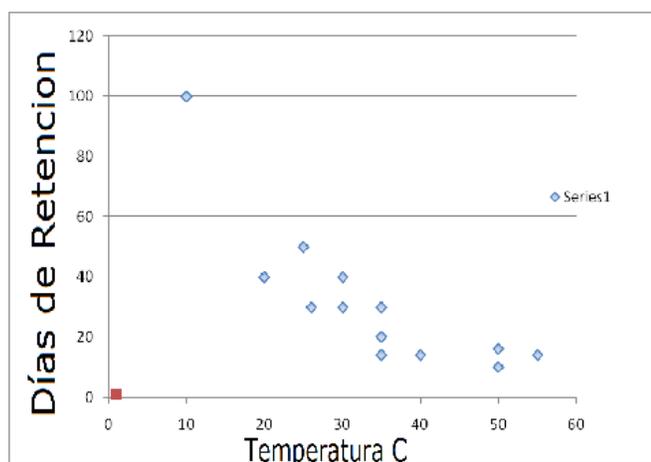


Figura 38: Temperatura vs Tiempo de Retención

Tiempo de Espera

Una variable fundamental para la obtención de biogas de calidad es el tiempo en espera de descomposición en los métodos tradicionales de obtención de CH₄ este tiempo puede llegar hasta 70 días para la fermentación de determinadas sustancias orgánicas, embargo hay que considerar que el biodigestor cuenta con un sistema de optimización de la temperatura donde haciendo uso de la energía solar para que esta sea captada en paneles planos de 500 W y así por medio de su intercambiador se puede realizar un incremento de temperatura en la pared externa de biodigestor llegando a los 32 °C (Guasumba, 2007)

El rendimiento en la producción de biogás se optimiza con la preparación de la materia prima además la biomasa debe tener una partícula de biomasa menor a 1 mm, en el procedimiento de generación se cuantifica por cargas y estas se agregan con partes menores de estiércol y urea con el propósito de generar un relación Carbono/Nitrógeno igual a 25/1, que resulta ser una condición interesante para la biorreacción. El

contenido de humedad en el sustrato es del 85%, con las variables expuestas anteriormente se logra reducir el tiempo de descomposición anaerobia a 12 días que como resultado tenemos un mayor volumen por kg de carga. (Guasumba, 2007)

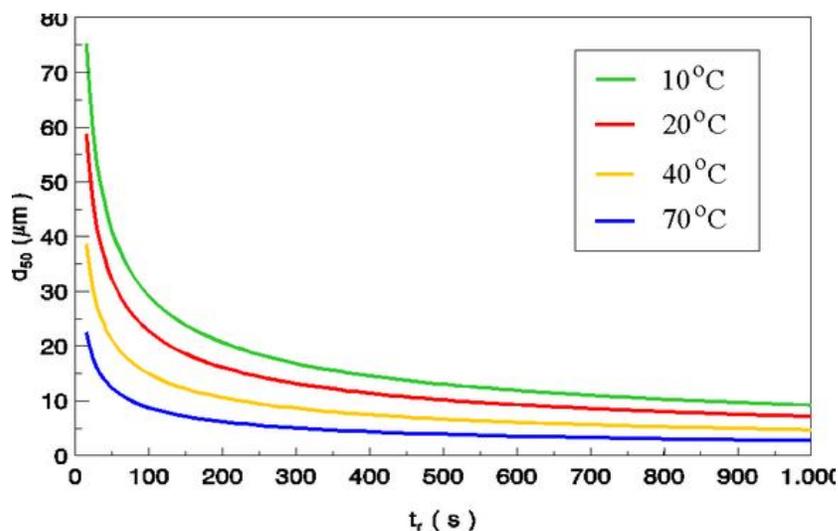


Figura 39 Diámetro de partícula o gota, d_{50} , que se separa en función del tiempo de residencia, t_r , para distintas temperaturas.

Fuente: (Elias & Velo, 2005)

Extracción de Gas

La recolección de la muestra resulta un proceso crítico puesto que si el gas generado llegase a contaminarse con el aire circundante sus propiedades se verán afectadas y entregaría valores erróneos al análisis.

Para sustentar este problema se utilizó un sistema aislado de jeringuillas y tubos de suero, asegurando que la muestra obtenida no interactúe con el aire de la atmósfera, por otro lado la escala presente en estos elementos son de gran ayuda para cuantificar

de manera exacta la cantidad de gas requerido para el estudio ponderal, el volumen solicitado no debe ser mayor a 60 ml.



Figura 40: Jeringa para Extracción de Muestra

Análisis de la Muestra

Una vez levantado el espécimen de evaluación este fue enviado al laboratorio para obtener sus componentes y principalmente conocer su poder calórico entre otros. Ver Anexo 1

Valor de Ph

El valor óptimo para la degradación metano orgánica es de 6.5 a 7.5 cuando esta baja de 5 o a su vez sube de 8 se puede inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo. Normalmente cuando se trabaja con residuos del agro o domésticos, la dinámica del proceso por si sólo ajusta los valores de Ph requeridos.

El Ph se puede corregir de manera práctica:

Extrayendo frecuentemente el efluente y agregando materia prima fresca en la misma cantidad y de forma simultánea. (López Pérez, 2010)

Cuando el Ph es bajo se puede agregar fertilizante, cenizas, agua amoniacal diluida, o una mezcla de ambos y licor fermentado. (López Pérez, 2010)

Selección del Ciclo Térmico

Con los valores obtenidos en el laboratorio es necesario realizar un análisis para realizar una selección del ciclo térmico, el resultado del poder calórico del gas resulto de 213.05 BTU/pe3 y por lo expuesto respecto a la eficiencia del ciclo térmico se considera un ciclo Otto porque se tiene un rendimiento del 25-30 %.

Flujo másico = 0.5 Kg/s

5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico estudia la estructura y evolución de los resultados del proyecto de tesis (ingresos y gastos) y de la rentabilidad de los capitales utilizados. Este análisis se realiza a través de la cuenta de Pérdidas y Ganancias. Para un estudio adecuado del capital requerido para el desarrollo de un proyecto se toman en consideración todos los detalles de costos involucrados en el proceso.

El presente capítulo tiene la finalidad de establecer la rentabilidad de la inversión del proyecto valiéndonos herramientas matemáticas y como variables fundamentales para definir la inversión tenemos (Mora Navas, 2005):

- Pago de la inversión (**K**), que es el número en unidad monetaria que el inversor debe desembolsar para conseguir que el proyecto inicie. (HAMFORD, 2014)
- Vida útil del proyecto (**n**), se trata de la cantidad estimada de años en número, periodo en el cual el proyecto genera rendimientos. (HAMFORD, 2014)
- Flujo de caja (**R_i**), se trata de los resultados de efectuar la diferencia entre cobros y pagos obteniendo un margen de evaluación sin importar si estos se realizan de manera ordinaria o extraordinaria, el cual se evaluara en cada uno de los años de la vida útil del proyecto. (Mora Navas, 2005)

Criterios de Rentabilidad

Los parámetros mencionados se aplican en los siguientes métodos de evaluación:

- Valor Actual Neto (**VAN**), es un indicador de la ganancia o la rentabilidad obtenida en un proyecto. Podemos describirla como lo que el inversor entrega a la inversión (**K**) diferenciado con lo que la inversión devuelve al inversor (**R_j**). (Mora Navas, 2005)

Cuando el proyecto obtiene un VAN mayor que cero, se entiende que para el interés escogido el proyecto resulta viable desde el punto de vista financiero. (Mora Navas, 2005)

Se calcula mediante la siguiente expresión (HAMFORD, 2014):

$$\text{VAN} = -K + R_i \times \frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n} \quad (5.1)$$

Relación beneficio / inversión: Mide el cociente entre el VAN y La cifra de inversión (HAMFORD, 2014)

(K), Indica el valor de ganancia neta generada por el proyecto por cada unidad monetaria invertida. A mayor Q más interesa la inversión. (Mora Navas, 2005)

$$Q=VAN/K \quad (5.2)$$

Ralación de interes de la inversión (HAMFORD, 2014)

- Plazo de recuperación. Es el número de años que transcurre entre el inicio del proyecto hasta la suma de los cobros actualizados se hace exactamente igual a la suma de los pagos actualizados. La inversión es mucho más interesante cuando más reducido sea su plazo de recuperación.
- Tasa interna de rentabilidad (**TIR**), tipo de interés que haría que el VAN fuera nulo. Para que la inversión sea rentable, este valor debe de ser mayor al tipo de interés del mercado. (Mora Navas, 2005)

INGENIERIA INVERSA

ITEM	PROCESO	VALOR
1	Desarmado	\$ 200,00
2	Limpieza	\$ 50,00
3	Cambio de chapa	\$ 150,00
4	Proceso de Corte	\$ 100,00
5	Cambio de Pernos	\$ 50,00
6	Varios	\$ 70,00
SUBTOTAL		\$ 620,00
IVA 12%		\$ 74,40
TOTAL		\$ 694,40

INSTRUMENTACION

ITEM	PROCESO	VAOLR
1	Balanza	\$ 70,00
2	Termómetro 1	\$ 25,00
3	Termómetro 2	\$ 25,00
4	Manómetro 1	\$ 80,00
5	Manómetro 2	\$ 80,00
6	Voltmetro	\$ 40,00
7	Sistema de Adquisición	\$ 300,00
8	Varios	\$ 60,00
SUBTOTAL		\$ 585,00
IVA 12%		\$ 70,20
TOTAL		\$ 655,20

GENERACION ELÉCTRICA

ITEM	PROCESO	VAOLR
1	Motor a combustion	\$ 500,00
2	Schiglores	\$ 25,00
3	Dinamómetro	\$ 200,00
4	Estructura de soporte	\$ 80,00
5	Varios	\$ 60,00
SUBTOTAL		\$ 865,00
IVA 12%		\$ 103,80
TOTAL		\$ 968,80

5.2 ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero en una empresa tiene como objetivo el análisis e interpretación a través de técnicas y métodos especiales para obtener una proyección de tiempo de recuperación del capital invertido y cuál va ser su tasa de interés de retorno, sin embargo en el presente proyecto no podemos aplicar un análisis financiero puesto que el equipo reacondicionado no tiene fines económicos por lo contrario su presencia está para afianzar los conocimientos y realizar experimentación con diferentes tipos de biomasa para generar aplicaciones en proyectos puntuales que dependiendo de su alcance, ubicación y aplicación se podría realizar un análisis correcto que tendrá diferente proyección en función de las variables mencionadas (HAMFORD, 2014).

Los usuarios y sus razones para realizar un análisis financiero pueden ser:

- Inversionistas (accionistas, socios, etc.): para determinar la distribución de utilidades o dividendos, para decidir si vender o adquirir acciones de la empresa, para evaluar la gestión y sus resultados, etc (HAMFORD, 2014).
- Acreedores (proveedores, bancos, etc.): para proteger el crédito otorgado para saber si conceder crédito o nuevos préstamos (HAMFORD, 2014).
- Gerencia: para evaluar su propia gestión para proponer la división de utilidades o dividendos (HAMFORD, 2014).
- Entidades gubernamentales: para determinar los impuestos que una empresa debe pagar, con el objetivo de controlar y supervisar a la empresa (HAMFORD, 2014).

En general los objetivos de un análisis económico y financiero se fija en la medición de la rentabilidad de la empresa a través de los resultados, teniendo claro la liquidez de su situación financiera por lo tanto el cumplimiento de los

objetivos de este tipo de análisis dependerá de la calidad de los datos, cuantitativos y cualitativos, e informaciones financieras que sirven de base para el análisis.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado la memoria de cálculo de todos los parámetros de diseño del bioreactor en lo referente al sistema hidráulico del campo de colectores al bioreactor.
- Se seleccionó y definió la instrumentación óptima tanto técnica como económica de sensores e instrumentación necesaria para una correcta toma de datos, minimizando así la introducción de errores tipos como el de paralaje.
- Se caracterizó tres tipos de biomasa con los que se obtuvieron parámetros de funcionamiento diferentes con cada una de las pruebas realizadas.
- Se generó curvas características ayudados por el cromatógrafo de gases utilizado.
- Se realizó la ingeniería inversa y se implementó la instrumentación necesaria para la generación de 1 KW, y activación de un motor de 745 W.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para el buen desarrollo de la investigación se recomienda diseñar y construir una máquina para analizar las características del compost a fin de mejorar la eficiencia en el proceso de generación de gas a partir de biomasa.
- Estudiar el análisis morfológico del compost (propiedades y características físico-químicas) y adicionalmente la composición microbiológica de la materia fecal (predominio de especies), a fin de asociar los elementos bióticos del sistema con los abióticos y ganar en conocimiento del comportamiento del compost en los biorreactores.

7.BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, A., & Armas, D. (2013). *Diseño, Construcción y Operacionalización de un Intercambiador de calor tipo tubo y carcasa, destinado para el laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK*. Quito.
- Baldwinfilter. (agosto de 2014). *BaldwinFilters*. Acceso em 19 de enero de 2015, disponible em <http://www.baldwinfilter.com/literature/Spanish/TechTips/201408TechTipsHydraulicMaintenanceS.pdf>
- blogspot. (23 de Junio de 2012). *Biodigestores*. Acceso em 10 de Enero de 2015, disponible em <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>
- Carpintero, O. (2006). *Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico*. El ecologista.
- Castillo, V. C. (1983). *La Bioconversión de Energía* . Madrid: Pirámide .
- CORRAL, J. M. (1994). *INSTRUMENTACION ELECTRONICA SENSORES I*. VALENCIA, ESPAÑA : UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA .
- De Lucas, A., Martínez, J., Villaseñor, Camacho, J., & Lobato. (2004). *Termotecnia básica para ingenieros químicos: bases de termodinámica aplicada*. Castilla.
- Elias, X., & Velo, E. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos.
- ENRIQUE CABRERA MARCET, V. E. (1996). *CURSO DE INGENIERIA HIDRAULICA APLICADA* . VALENCIA, ESPAÑA : U.D. MECANICA DE FLUIDOS, UNIVERSIDAD TECNICA DE VALENCIA .
- Estevan, A. (2008). *Biocombustibles: la agricultura al servicio del automóvil*. El ecologista.
- FELIX A. PEUSER, K. H. (2005). *SISTEMAS SOLARES TERMICOS* . MADRID : S.A. PROGENSA .

- Gaona, P. (2015). *Fuente Propia*. Quito.
- Gauge, F. (13 de Diciembre de 2012). *fullgauge*. Acceso em 12 de Enero de 2015, disponible em <http://www.fullgauge.com/es/public/uploads/files/products/pentaiii.pdf-hk3.pdf>
- Gregorig, R. (1979). *Cambiadores de Calor*. España: URMO S.A.
- Guasumba. (2007). *GENERACION RAPIDA DE BIOGAS COMO ALTERNATIVA ENERGETICA PROMISORIA*. Sangolquí.
- Guasumba J, V. F. (2006). *Calefaccion Solar en la Fermentación Anaeróbica*. Sangolquí.
- Guevara Vera, A. (1996). *Fundamentos Básicos para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales*. Lima-Perú.
- Gutierrez, Q. D. (2012). *Sistemas Hidráulicos*. Cuzco.
- HAMFORD, T. (2014). *EL ECONOMISTA CAMUFLADO*. EEUU: DEBOLSILLO.
- Incropera, F. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (cuarta edición ed.). España.
- ININTEC, I. d. (1983). *Como Construir un Biodigestor*. Lima.
- Jarabo, F., & Fernandez, J. (1999). *La Energía de la Biomasa*. Sociedad Anonima de Publicaciones Técnicas.
- JAVIER PONCE GARCIA, T. F. (2005). *FORMATEC*. VALENCIA : U.D. VALENCIA.
- Kerkn, D. .. (1998). *Procesos de Transferencia de Calor*. México: Continental S.A.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. México: Continental, S.A. de C.V.
- López Pérez, A. C. (2010). *VALORIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL DE CERDO A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS*.
- Manuel., C. (2002). *Los Biocombustibles*. Madrid : Mundi Prensa.

- Margalef, R. (1980). *La biosfera, entre la termodinámica y el juego*. Barcelona: Omega.
- Mora Navas, A. (2005). *Anjeo IV, Estudio Económico*. Real : UCLM.
- NAVAS LOPEZ, J. E., & GUERRAS MARTIN, L. A. (2007). *DIRECCION ESTRATEGICA DE LA EMPRESA: TEORIA Y APLICACIONES*. CIVITAS.
- Pineda, M., & Cabello, P. (1998). *Energía de la Biomasa: Realidades y Perspectivas* . Córdoba: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Primo Yúfera, E. (1996). *Química Básica y Aplicada: de la molécula a la industria* (Vol. I). Reverté.
- SAGARPA. (2009). *bioenergéticos.gob.mx*. Acceso em 14 de Junio de 2014, disponible em <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/introduccion/tipos-de-biocombustibles.html>
- UNET. (22 de Julio de 2012). *Fenomenos de Transporte* . Acceso em 12 de Enero de 2015, disponible em http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-151.htm
- UPC. (Enero de 2014). *Universitat Politècnica de Catalunya*. Acceso em 20 de Enero de 2015, disponible em http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/intercanviadors_calor.html
- Wordpress. (17 de Septiembre de 2009). *wordpress*. Acceso em 10 de Enero de 2015, disponible em <https://energiacasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>
- Almeida, A., & Armas, D. (2013). *Diseño, Construcción y Operacionalización de un Intercambiador de calor tipo tubo y carcasa, destinado para el laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK*. Quito.
- Baldwinfilter. (agosto de 2014). *BaldwinFilters*. Recuperado el 19 de enero de 2015, de <http://www.baldwinfilter.com/literature/Spanish/TechTips/201408TechTipsHydraulicMaintenanceS.pdf>

- blogspot. (23 de Junio de 2012). *Biodigestores*. Recuperado el 10 de Enero de 2015, de <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>
- Carpintero, O. (2006). *Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico*. El ecologista.
- Castillo, V. C. (1983). *La Bioconversión de Energía*. Madrid: Pirámide .
- CORRAL, J. M. (1994). *INSTRUMENTACION ELECTRONICA SENSORES I. VALENCIA, ESPAÑA : UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA* .
- De Lucas, A., Martínez, J., Villaseñor, Camacho, J., & Lobato. (2004). *Termotecnia básica para ingenieros químicos: bases de termodinámica aplicada*. Castilla.
- Elias, X., & Velo, E. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos.
- ENRIQUE CABRERA MARCET, V. E. (1996). *CURSO DE INGENIERIA HIDRAULICA APLICADA* . VALENCIA, ESPAÑA : U.D. MECANICA DE FLUIDOS, UNIVERSIDAD TECNICA DE VALENCIA .
- Estevan, A. (2008). *Biocombustibles: la agricultura al servicio del automóvil*. El ecologista.
- FELIX A. PEUSER, K. H. (2005). *SISTEMAS SOLARES TERMICOS* . MADRID : S.A. PROGENSA .
- Gaona, P. (2015). *Fuente Propia*. Quito.
- Gauge, F. (13 de Diciembre de 2012). *fullgauge*. Recuperado el 12 de Enero de 2015, de <http://www.fullgauge.com/es/public/uploads/files/products/pentaiiii.pdf-hk3.pdf>
- Gregorig, R. (1979). *Cambiadores de Calor*. España: URMO S.A.
- Guasumba. (2007). *GENERACION RAPIDA DE BIOGAS COMO ALTERNATIVA ENERGETICA PROMISORIA*. Sangolquí.
- Guasumba J, V. F. (2006). *Calefaccion Solar en la Fermentación Anaeróbica*. Sangolquí.

- Guevara Vera, A. (1996). *Fundamentos Básicos para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales* . Lima-Perú.
- Gutierrez, Q. D. (2012). *Sistemas Hidráulicos*. Cuzco.
- HAMFORD, T. (2014). *EL ECONOMISTA CAMUFLADO* . EEUU: DEBOLSILLO .
- Incropera, F. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (cuarta edición ed.). España.
- ININTEC, I. d. (1983). *Como Construir un Biodigestor* . Lima .
- Jarabo, F., & Fernandez, J. (1999). *La Energía de la Biomasa*. Sociedad Anonima de Publicaciones Técnicas.
- JAVIER PONCE GARCIA, T. F. (2005). *FORMATEC* . VALENCIA : U.D. VALENCIA .
- Kerkn, D. .. (1998). *Procesos de Transferencia de Calor*. México: Continental S.A.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. México: Continental, S.A. de C.V. .
- López Pérez, A. C. (2010). *VALORIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL DE CERDO A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS*.
- Manuel., C. (2002). *Los Biocombustibles*. Madrid : Mundi Prensa.
- Margalef, R. (1980). *La biosfera, entre la termodinámica y el juego*. Barcelona: Omegas.
- Mora Navas, A. (2005). *Anjeo IV, Estudio Económico*. Real : UCLM.
- NAVAS LOPEZ, J. E., & GUERRAS MARTIN, L. A. (2007). *DIRECCION ESTRATEGICA DE LA EMPRESA: TEORIA Y APLICACIONES*. CIVITAS.
- Pineda, M., & Cabello, P. (1998). *Energía de la Biomasa: Realidades y Perspectivas* . Córdoba: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Primo Yúfera, E. (1996). *Química Básica y Aplicada: de la molécula a la industria* (Vol. I). Reverté.

- SAGARPA. (2009). *bioenergéticos.gob.mx*. Recuperado el 14 de Junio de 2014, de <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/introduccion/tipos-de-biocombustibles.html>
- UNET. (22 de Julio de 2012). *Fenomenos de Transporte* . Recuperado el 12 de Enero de 2015, de http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-151.htm
- UPC. (Enero de 2014). *Universitat Politècnica de Catalunya*. Recuperado el 20 de Enero de 2015, de http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/intercanviadors_calor.html
- Wordpress. (17 de Septiembre de 2009). *wordpress*. Recuperado el 10 de Enero de 2015, de <https://energiasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>

8. ANEXOS

8.1 INFORME DE CROMATOGRAFÍA

8.2 ISOMÉTRICO DEL SISTEMA

8.3 ISMÉTRICO TUBERIA, TERMOCUPLA

8.4 BIORREACTOR SÓLIDO

8.5 BIORREACTOR ELEMENTOS EXPUESTO

8.6 BIORREACTOR PT 100

8.7 COLECTOR SOLAR PLANO

8.8 COLECTOR SOLAR EXPUESTO