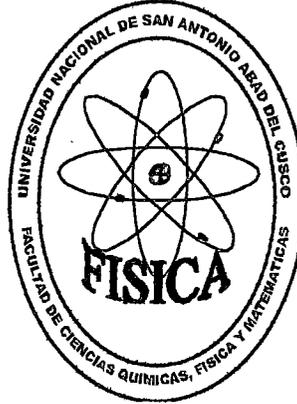


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

CARRERA PROFESIONAL DE FÍSICA



**“EVALUACION DE UN BIODIGESTOR SOLAR DE FLUJO
CONTINUO, CILINDRICO”.**

PRESENTADO POR:

**BR. JEANETTE QUISPE DELGADO.
BR. ABELARDO HUAMAN GUZMAN.**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE FÍSICO.**

**ASESOR:
MGT. SANTIAGO SONCCO TUMPI.**

**CO-ASESOR:
LIC. GUSTAVO JANQUI EZQUIBEL.**

AUSPICIADO POR EL CONSEJO DE INVESTIGACIÓN - UNSAAC

**CUSCO - PERÚ
2013**

DEDICATORIA

A mis queridos padres:

Cristóbal y Josefina, quienes me inculcaron el camino hacia el bien y a mis hermanos Virgilio y Nancy y a mi querido hijo Rodrigo y a todos mis familiares y compañeros que contribuyeron en mi formación profesional

JEANETTE

A mis queridos padres:

Silverio y Rosa Julia, quienes me inculcaron el camino hacia el bien y a mis hermanos Alex, Luz Marina y Mariza y a mi querida hija Astrid Erika y a todos mis compañeros y parientes que contribuyeron en mi formación profesional

ABELARDO

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento sincero al Mgt. Santiago Soncco Tumpi por su asesoramiento en el desarrollo de la tesis, por sus sabios consejos en base a su amplia experiencia en el tema de energías renovables, por hacernos entender que el desarrollo sostenible es esencial en el desarrollo de la sociedad.

Nuestro aprecio al Físico Gustavo Janqui Esquivel, al Mgt. Domingo Walter Kehuarucho Cárdenas y al Lic. Raúl Huacoto Tapia, por su colaboración, por sus consejos sabios y acertados hasta la culminación del presente trabajo.

Agradezco sinceramente a todos los docentes del Departamento Académico de Física por haberme brindado sus conocimientos durante los cinco años de formación profesional y también por el incesante apoyo moral y académico en el desarrollo de la tesis.

Especial agradecimiento al Consejo de Investigación por el apoyo económico que nos han brindado para el desarrollo de la presente tesis.

INDICE

INTRODUCCIÓN

ASPECTOS GENERALES

1. ANTECEDENTES

2. PROBLEMA

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5. HIPÓTESIS

6. JUSTIFICACIÓN

7. TIPO DE INVESTIGACIÓN

9. UBICACIÓN DEL PROYECTO

CAPITULO I

FUNDAMENTACION TEORICA

1.1.	BIOGAS.....	1
1.2.	COMPOSICIÓN DEL BIOGAS.....	2
	1.2.1. PODER CALORICO.....	3
	1.2.2. DENSIDAD APARENTE.....	3
	1.2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD RELATIVA (H.R).....	4
	1.2.4. PORCENTAJE DE CENIZAS.....	4
1.3.	PROPIEDAD FISICA Y CALORICAS DEL BIOGAS (METANO).....	4
	1.3.1. OBTENCION DEL BIOGAS.....	4
	1.3.2. EL CIENO DE FERMENTACION.....	5
	1.3.3. DIGESTION ANAEROBICA.....	6
	1.3.4. ETAPAS DE LA DIGESTION ANAEROBICA... ..	7
	1.3.4.1. HIDROLISIS.....	9
	1.3.4.2. ACIDOGENESIS.....	9
	1.3.4.3. METANOGENESIS.....	10
1.4.	VARIABLES DE INFLUENCIA.....	10
	1.4.1. PH.....	11

1.4.2.	TEMPERATURA.....	11
1.4.3.	NUTRIENTES.....	12
1.4.4.	TOXICIDAD.....	13
1.4.5.	NIVEL DE CARGA.....	13
1.4.6.	TIEMPO DE RETENCIÓN.....	14
1.5.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DIGESTION ANAEROBICA.....	15
1.5.1.	VENTAJAS.....	15
1.5.2.	DESVENTAJAS.....	15
1.6.	UTILIZACION DEL BIOGAS.....	15
1.7.	BIODIGESTOR.....	16
1.7.1.	PARTES DE UN DIGESTOR.....	17
1.7.2.	CARACTERISTICAS DEL BIODIGESTOR.....	17
1.7.3.	CRITERIO A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR.....	17
1.7.4.	CLASIFICACION DE LOS BIODIGESTORES.....	18
1.7.4.1.	BIODIGESTORES DE CARGA CONTINUA.....	18
1.7.4.1.1.	VENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES CONTÍNUOS.....	19
1.7.4.1.2.	DESVENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES CONTÍNUOS.....	19
1.7.4.2.	BIODIGESTORES DE CARGA DISCONTINUA, (BATCH).20	
1.7.4.2.1.	VENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES DISCONTINUOS.....	20
1.7.4.2.1.	DESVENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES DISCONTINUOS.....	20
1.8.	TRANSFERENCIA DE CALOR.....	21
1.8.1.	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.....	22
1.8.2.	LEY DE FOURIER PARA LA TRANSFERENCIA DE CALOR.....	22
1.8.3.	CONDUCTIVIDAD TERMICA (K).....	23
1.8.3.	RESISTENCIA TÉRMICA (RT).....	23
1.8.4.	CONDUCCIÓN DE CALOR EN UN CILINDRO.....	24
1.8.5.	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN.....	25
1.8.6.	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN NATURAL...27	
1.8.6.1.	APLICACIONES CONVECCION NATURAL.....	27

1.8.6.2. PRINCIPIOS FÍSICOS EN EL ANÁLISIS DE LA CONVECCIÓN NATURAL.....	29
1.8.6.3. CONVECCIÓN NATURAL DESDE LAS PLACAS PLANAS Y CILINDRICOS.....	30
1.8.6.4. CONVECCIÓN NATURAL EN UN CILINDRO HORIZONTAL.....	31
1.8.6.5. CONVECCION NATURAL ENTRE CILINDROS CONCENTRICOS.....	32
1.8.6.6. CONVECCION NATURAL EN EL EXTERIOR DE CILINDROS HORIZONTALES.....	33
1.9. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN.....	33
1.9.1 LEY DE STEFAN BOLTZMANN.....	34
1.9.2 TEORIA DE SKY.....	34
1.10. BALANCE ENERGÉTICO EN UN BIODIGESTOR.....	35
1.10.1. TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL BIODIGESTOR SOLAR....	36
1.11. ECUACIÓN DE CALOR.....	37
1.11.1 FLUJO DE CALOR EN LA SUPERFICIE DEL BIODIGESTOR.....	39
1.11.2 FLUJO DE CALOR DENTRO DEL BIODIGESTOR.....	42
1.12.3 FLUJO DE CALOR EN EL COBERTOR.....	42
1.12.4 MÉTODO DE DIFERENCIAS FINITAS.....	44
1.12. PÉRDIDAS DE CALOR POR CONDUCCIÓN – CONVECCIÓN.....	46
1.12.1 PÉRDIDAS POR RENOVACIÓN.....	47
1.12.2 PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN EN EL SUELO.....	47
1.12.3 PÉRDIDAS POR RADIACIÓN.....	48

CAPITULO II

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACION DEL BIODIGESTOR SOLAR DE FLUJO CONTINUO CILINDRICO

2.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO Y CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICA.....	49
2.2. DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	51
2.2.1. INSTALACION DEL BIODIGESTOR.....	52
2.3. PROCESO DE INSTALACION DEL BIODIGESTOR.....	56

2.3.1.	LOCALIZACIÓN DE LA ZANJA.....	56
2.3.2.	PROCESO DE APERTURA DE LA ZANJA.....	57
2.3.3.	COLOCADO DE ESTIERCOL, PAJA Y PLASTICO AGROFILM EN LA ZANJA.....	57
2.3.4.	LLENANDO AIRE AL BIODIGESTOR.....	58
2.3.5.	INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR.....	58
2.3.6.	INSTALACIÓN TUBERÍAS.....	59
2.3.7.	INSTALACIÓN VÁLVULA DE SEGURIDAD.....	59
2.3.8.	TECHADO DEL FITOTOLDO.....	60
2.3.9.	SUMINISTRO DE ESTIERCOL VACUNO AL BIODIGESTOR.....	61
2.3.10	AGITACIÓN DE LA MEZCLA.....	61
2.3.11	UTILIZACIÓN DEL BIOGAS.....	61
2.3.12	POZA PARA RETIRAR EL BIOL.....	62
2.3.14	PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE.....	63
2.4.	DIMENSIONAMIENTO BIODIGESTOR TUBULAR.....	63
2.5.	DATOS EXPERIMENTALES.....	67
2.5.1.	INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDIDA.....	67
2.5.2.	TABLAS DE TEMPERATURAS.....	68
2.5.3.	TABLAS DE LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR.....	70
2.5.4.	TABLA DE PH DEL BIOL.....	71

CAPITULO III

ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

3.1.	BALANCE ENERGÉTICO DE BIODIGESTOR.....	72
3.1.1.	PÉRDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR.....	72
3.1.1.1.	PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE JUNIO).....	73
3.1.1.2.	PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE JULIO).....	75
3.1.1.3.	PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE AGOSTO).....	78
3.1.1.4.	PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE SETIEMBRE).....	81

3.1.1.5. PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE OCTUBRE).....	84
3.1.1.6. PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE NOVIEMBRE).....	87
3.2. CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR.....	91
3.2.1. CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR (MES DE JUNIO).....	91
3.2.2. CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR (MES DE JULIO).....	92
3.2.3. CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR (MES DE AGOSTO).....	93
3.2.4. CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR (MES DE SEPTIEMBRE).....	94
3.2.5. CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR (MES DE OCTUBRE).....	94
3.2.6. CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR (MES DE NOVIEMBRE).....	95
3.3. CALOR ÚTIL EN EL BIODIGESTOR.....	96
3.3.1. CALOR UTIL EN EL BIODIGESTOR (MES DE JUNIO).....	96
3.3.2. CALOR UTIL EN EL BIODIGESTOR (MES DE JULIO).....	96
3.3.3. CALOR UTIL EN EL BIODIGESTOR (MES DE AGOSTO).....	97
3.3.4. CALOR UTIL EN EL BIODIGESTOR (MES DE SEPTIEMBRE).....	97
3.3.5. CALOR UTIL EN EL BIODIGESTOR (MES DE OCTUBRE).....	97
3.3.6. CALOR UTIL EN EL BIODIGESTOR (MES DE NOVIEMBRE).....	97
3.4. DETERMINACION DEL FLUJO DEL CALOR.....	98
3.4.1. FRONTERA EN LA SUPERFICIE DEL BIODIGESTOR.....	98
3.4.1.1. FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN.....	98
3.5. FLUJO DE CALOR POR CONVECCIÓN.....	99
3.6. FLUJO DE CALOR POR RADIACIÓN.....	101
3.7. FRONTERA EN LA SUPERFICIE DEL COBERTOR.....	105

3.7.1. FLUJO DE CALOR POR CONVECCIÓN.....	105
3.8. FLUJO DE CALOR POR RADIACIÓN.....	107
3.9. CALCULO DEL VOLUMEN DE BIOGÁS GENERADO. (V_{cd}).....	110
3.10. EFICIENCIA.....	111
3.11. ANÁLISIS DE DATOS.....	113
3.11.1. GRAFICOS DE LAS TEMPERATURAS- TIEMPO.....	113
3.11.2. GRAFICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	115
3.11.3. GRAFICO DEL PH DEL BIOL.....	116
3.11.4. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN.....	116
3.11.5. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS POR RENOVACIÓN DE AIRE.....	117
3.11.6. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL SUELO.....	117
3.11.7. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS POR RADIACIÓN.....	118
3.11.8. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS TOTAL DE CALOR.....	118
3.11.9. GRAFICO DEL CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR.....	119
3.11.10 GRAFICO DEL CALOR ÚTIL EN EL BIODIGESTOR.....	119
3.11.11 GRAFICO DEL FLUJO DE CALOR (SUP DEL BIODIGESTOR).....	120
3.11.12 GRAFICO DEL FLUJO DE CALOR (SUP DEL COBERTOR).....	120
3.11.13 EFICIENCIA DEL BIODIGESTOR.....	121

CONCLUSIONES

SUGERENCIAS

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Debido a la problemática medio ambiental que generan los desechos de las excretas de ganado en la localidad de **CONCHACALLA- ANTA**, se buscó una solución al medio y que pueda ser desarrollada sin limitaciones económicas y con materiales que se encuentran en el mercado nacional

El presente proyecto comprende el diseño y evaluación de un **BIODIGESTOR SOLAR DE FLUJO CONTINUO CILINDRICO**, para pequeños y medianos productores, para lo cual se requirieron del estudio de su comportamiento; así como también, de las condiciones de operación bajo las cuales funciona.

Por el análisis teórico, se obtienen los criterios en base de los cuales se seleccionan las dimensiones que debe tener el biodigestor y todos sus elementos constitutivos. Al mismo tiempo se analiza las alternativas de construcción, para de esta manera, conseguir un buen diseño y correcto ensamble de las partes conformantes.

Para evaluar el funcionamiento real del biodigestor, se construye el equipo y se acopla los elementos de medición necesarios para realizar el análisis experimental que confirma la validez del estudio teórico correspondiente. Las pruebas realizadas evidencian que el análisis previos en la fase de diseño y construcción son correctos.

Es así que, para promover conciencia en el uso de los desechos orgánicos y darles un mejor aprovechamiento planteamos nuevas alternativas energéticas, tal es el **“EL BIODIGESTOR SOLAR DE FLUJO CONTINUO CILINDRICO”** para la producción de biogás, y en consecuencia reducir el nivel de contaminación; logrando el ahorro de energía más elevado como es la utilización diaria de kerosene, carbón o leña, materiales utilizados dentro de la comunidad de **CONCHACALLA - ANTA**.

GENERALIDADES

1.- ANTECEDENTES.

Se afirma que la primera estación de Biogás se construyó en 1859 en Bombay, India, para tratamiento de excretas humanas, y el Biogás que en ella se generó fue utilizado para el alumbrado. Por lo tanto, el origen y el uso del Biogás datan desde los siglos XVII y XIX. También los chinos realizaron este tipo de trabajo en dichas épocas.

La ONG “**CRECIENDO**” desarrolló, durante 2006, una experiencia piloto de producción de BIOGÁS en un establo en la zona de **COCHABAMBA**, dedicado a la ganadería. El objetivo fue validar una alternativa de producción de energía de bajo costo y su facilidad de incorporación a nivel de pequeños productores.

Estudiantes de la carrera profesional de física efectuaron trabajos de Biodigestores en las localidades de Yanaoca y Yaurisque, instalando Biodigestores de polietileno de flujo continuo llegando a obtener una eficiencia de 31%. Y un biodigestor modelo chino obteniéndose una eficiencia de 30%

2.- PROBLEMA.

En la comunidad de Cconchacalla distrito de **ANTA PROVINCIA DE ANTA DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO**, por sus características ganaderas (vacunas y ovinas), genera una gran cantidad residuos orgánicos (excretas), que provocan contaminación.

Es necesario encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles, los cuales pueden ser usados para producir

biogás. De esta manera, se aprovecharán dichos residuos del ganado domestico;que permite obtener Biogás yBioabono.

3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Este proyecto plantea la necesidad de encontrar una tecnología adecuada para solucionar el problema, de la carencia de energía y proponemos como solución la obtención de Biogás para resolver el problema energético y el bioabono como solución al problema de carencia de otro tipo de abono para la agricultura.Por tanto, la tecnología del biogás puede contribuir sustancialmente a la conservación del medio ambiente y al desarrollo de dicha comunidad.

4.- OBJETIVOS.

4.1.- OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar, construir y evaluar un biodigestor de flujo continuo para la producción de Biogás y el aprovechamiento de materia orgánica.

4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar los parámetros físicos como: las temperaturas, flujo de calor, Radiación solar,ph del bioabono, presentes en el Biodigestor Solar.
- Evaluar el balance energético, para lograr un sistema de producción de biogás adecuado.
- Determinar la eficacia del Biodigestor solar.

5.- HIPÓTESIS.

Evaluar Biodigestor Solar de tipo cilíndrico para la obtención de biogás (Metano), mediante la fermentación anaeróbica (en ausencia de oxígeno), a temperaturas bajas.

6.- JUSTIFICACIÓN.

La implementación de este tipo de tecnologías, mejoraría la calidad de vida de las personas a generar su propia fuente de energía, ya que además del beneficio que genera el biogás y el abono orgánico en sí, pueden generarse puestos de trabajo en las diferentes etapas del proceso tal como recolección de excretas, transporte de excretas y funcionamiento de la planta aportando de esta manera al desarrollo de las comunidades mencionadas y de la región en general.

El biogas es una opción que ha tenido una buena aceptación como fuente alterna de energía, ya que presenta importantes ventajas económicas y ambientales.

7.- TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La evaluación del proyecto es de naturaleza Científica, Tecnológica y experimental, que permite resolver problemas medioambientales por la producción de residuos en la ganadería (estiércol de animal).

8.- METODOLOGÍA.

En nuestra primera etapa, realizamos una investigación bibliográfica del Biodigestor Solar, para luego con fines de mejor producción evaluar la implementación de un sistema solar. En una segunda etapa se evaluará el diseño y construcción de dicho prototipo. Finalmente se evaluará la producción del biogás.

9.- UBICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto se realizó en el distrito de **ANTA**, provincia de **ANTA**, ubicada a una altitud de 3352 m snm, latitud sur 14° 13", longitud oeste 71° 26", extensión territorial 2.103.76Km² que representa el 2,91% de superficie de la región del Cusco.

CAPITULO I

FUNDAMENTACION TEÓRICA

1.1. BIOGAS

El biogás se produce mediante un proceso de degradación de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas, o sea en ausencia de oxígeno. La digestión anaeróbica es producto de la acción de bacterias, las cuales se denominan metanogénicas, y las cuales degradan la materia, liberando metano en el proceso. Dichas bacterias metanogénicas son el último eslabón de una cadena de microorganismos encargados de degradar las materias orgánicas y devolver los productos descompuestos al medio ambiente. De esta forma el biogás es generado como una fuente de energía renovable.

La producción de biogás es un modo útil de tratar residuos biodegradables y a su vez se puede utilizar para diversas aplicaciones tales como: producción de energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos para el calentamiento, en diversos procesos industriales, en estufas para la cocción de

alimentos, calderas, o cualquier sistema de combustión a gas que previamente han sido adaptados para tal efecto.

Cada año entre 590-880 millones de toneladas de metano son liberados al medio ambiente en el mundo, todo debido a la actividad microbiológica. Cerca del 90% de dicho metano emitido se deriva de fuentes biológicas tales como la descomposición de biomasa

1.2. COMPOSICIÓN DEL BIOGAS

El biogás es un gas combustible formado en su mayoría por metano (CH_4) y por dióxido de carbono (CO_2), aparte de contener pequeñas cantidades de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, monóxido de carbono y trazas de sulfuro de hidrógeno (H_2S) (Tabla 1.1) el cual le proporciona un olor característico a azufre. La llama producida por el biogás al ser quemado es de color azul pálido, casi invisible a la luz del día; siendo su poder calorífico cercano a 5342 kilocalorías por m^3 .

componentes	Fórmula Química	Porcentaje (%)
Metano	CH_4	54 -70
Dióxido de Carbónico	CO_2	27 -40
Hidrógeno	H_2	1 - 10
Nitrógeno	N_2	0,5 – 3
Monóxido de Carbono	CO	0,1
Oxígeno	O_2	0,1
Ácido Sulfhídrico	H_2S	0,1

Tabla 1.1 componentes de biogas.

El porcentaje de metano depende del material de fermentación, alcanzando los siguientes valores aproximadamente:

Estiércol de gallina.....	60%
Estiércol de cerdo.....	67%
Estiércol de establo.....	55%
Pasto.....	70%
Desperdicios de cocina.....	50%

1.2.1 PODER CALÓRICO

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

El poder calórico del biogás es de 6 kW/m^3 , lo cual equivale, más o menos, a medio litro de diésel. El poder calórico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos. El rendimiento es bueno si un litro de agua hierve rápidamente. Este proceso es más largo si el quemador no está bien regulado; en tal caso el rendimiento es bajo.

La evaluación del pH del efluente de la planta, tomado en seis días diferentes, arrojó como valor medio del pH de 7,06 (desviación típica, 0,04 y C.V., 0,5 %), por lo que se encuentra dentro del rango exigido (6,6 -7,6), no comportando problemas para la instalación.

1.2.2 DENSIDAD APARENTE

Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos del proceso.

1.2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD RELATIVA (H.R)

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía. [10]

1.2.4 PORCENTAJE DE CENIZAS

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer la generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada. [10]

1.1 PROPIEDADES FISICAS Y CALÓRICAS DEL BIOGÁS (METANO)

Peso específico de 0,6 en relación al Aire (más liviano)

Poder Calórico 5500 Kcal.

Relación Aire/ Gas = 10/1

Equivalencias: 1 m^3 de BG = 0.61 m^3 Gas Nat.

1.3.1 OBTENCIÓN DEL BIOGAS

Como se mencionó anteriormente, el Biogás conocido también como "Gas de los Pantanos" se produce por la fermentación anaeróbica (sin oxígeno) de residuos orgánicos e inorgánicos que mezclados con agua y depositados en un recipiente cerrado e impermeable llamado Biodigestor a temperatura entre los 20° y 30° C se descomponen debido a las bacterias anaeróbicas. [10]

El proceso digestivo se completa entre los 30 y 40 días produciéndose la mayor cantidad de Biogás. Para mantener una producción constante se debe

renovar periódicamente los insumos. Cuando los residuos no digeribles alcanzan cierta magnitud, se limpia el biodigestor (1 a 2 veces al año) vaciándolo totalmente.

Por este motivo el mismo está provisto de mecanismos para la extracción de los lodos y sobrantes, además de dispositivos para la acumulación y expulsión de gases, dispositivos de seguridad contra explosión y la purga del digestor. [10]

1.3.2 EL CIENO DE FERMENTACIÓN

Cada material de fermentación o material de carga se compone de:

- Sustancias sólidas orgánicas,
- Sustancias sólidas inorgánicas, y
- Agua.

Con el agua aumenta la fluidez del material de fermentación, lo cual es importante para el funcionamiento de una planta de biogás. En un cieno de fermentación líquido, las bacterias de metano llegan con más facilidad al material de fermentación fresco. De ese modo se acelera el proceso de fermentación; por eso con una agitación periódica aumenta la producción de gas. [10]

Un cieno con 5 a 10 % de sólidos es apropiado para el funcionamiento de plantas continuas.

Todos los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por Carbono (C) y Nitrógeno (N).

La relación C/N influye sobre la producción de gas; esta será óptima cuando C/N oscile entre 20:1 y 30:1.

1.3.3 DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Aunque la digestión anaeróbica es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. [10]

La digestión anaeróbica es un proceso mediante el cual, una gran variedad de desechos orgánicos, en un ambiente sin aire, pueden ser convertidos en un gas combustible rico en metano, llamado "biogás", y un residuo semisólido, rico en nitrógeno, llamado "bioabono" o efluente. [10]

Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaeróbica se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias. [10]

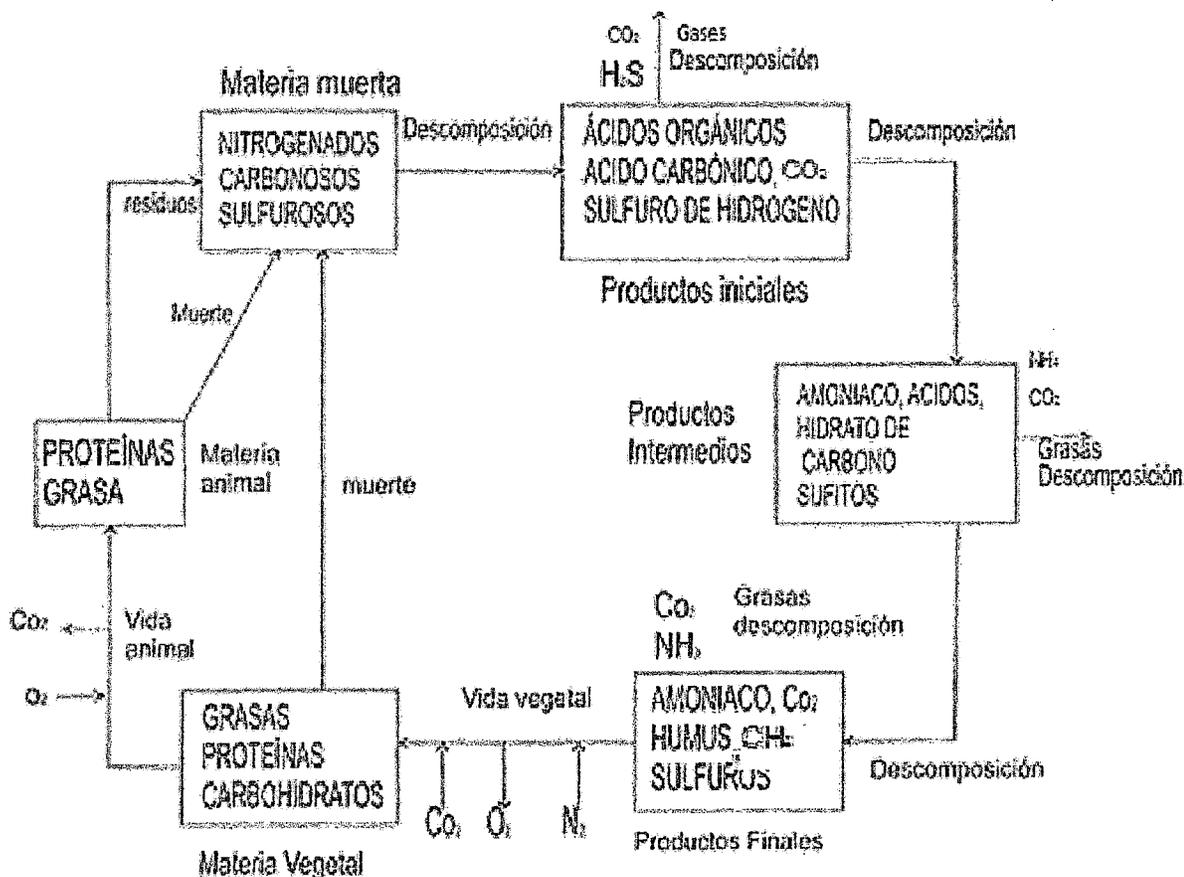
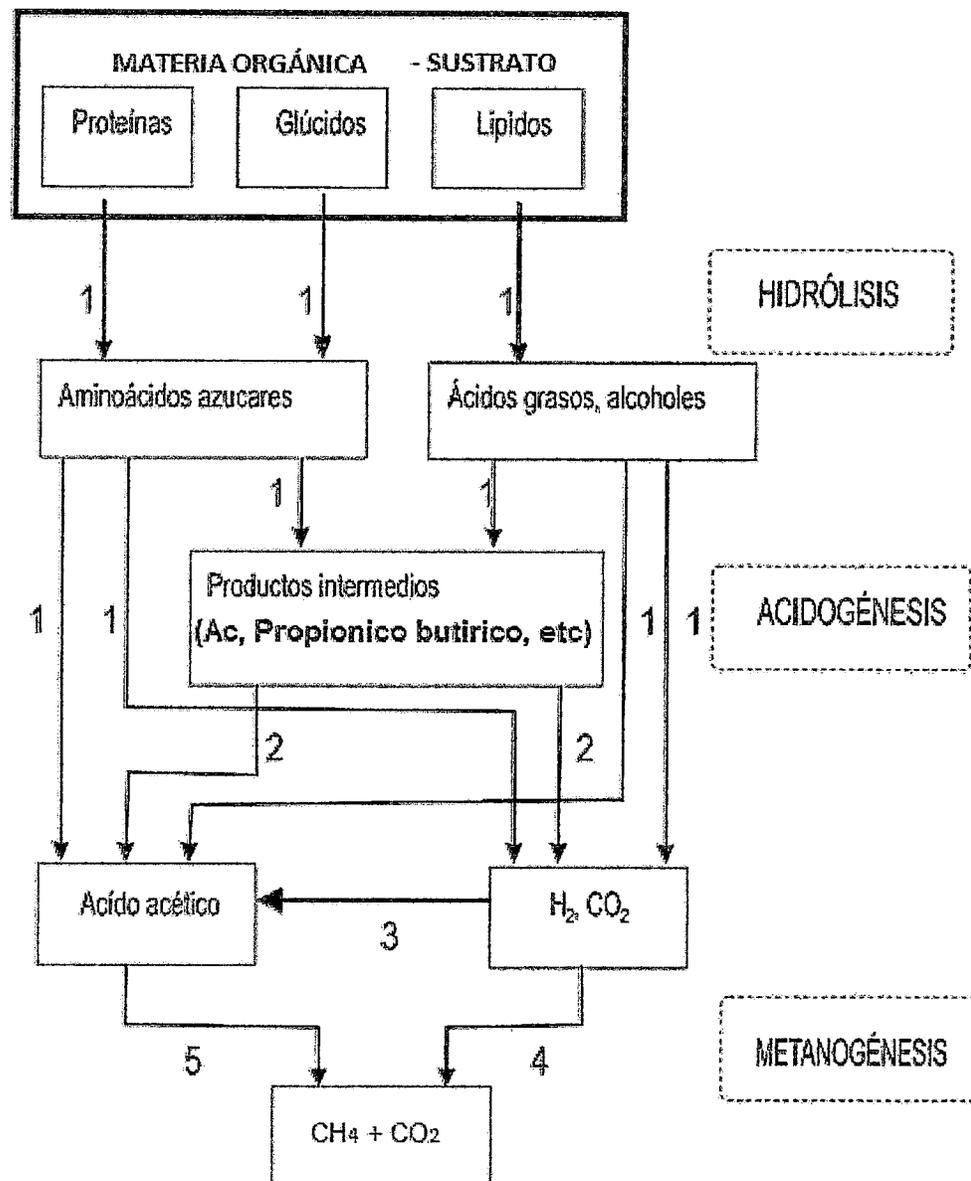


Figura 1.1. Componentes que intervienen en la digestión anaeróbica

1.3.4 ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

En el proceso de digestión anaeróbica podemos distinguir tres etapas: hidrólisis, ácido génesis y metano génesis. Obteniéndose gas y líquido. [10]

- El GAS contiene un 55-70 % de Metano, 30-40% de Dióxido de Carbono, Hidrogeno 1-3 %, 2-5 % de otros Gases.
- El LÍQUIDO conocido como **Bio-Fertilizante** contiene 20% de Proteínas, 4% de NPK solubles, 14% de Nitrógeno y 20% de Potasio, igual mezcla de residuos procesados anaeróbicamente, y con PH de 7,5.



1. Bacterias hidrolíticas - Acidogénicas
2. Bacterias acetogénicas
3. Bacterias homoacetogénicas
4. Bacterias metanogénicas hidrogenófilas
5. Bacterias metanogénicas acetoclásticas

Figura1.1 Ruta de la digestión anaeróbica

1.3.4.1 HIDRÓLISIS.

Consiste en la solubilización de la materia orgánica cruda. Esta materia orgánica está formada principalmente por polímeros de hidratos de carbono, proteínas y lípidos; y ocurre por la acción de exoenzimas secretadas por las bacterias anaeróbicas y facultativas. De esta etapa se obtienen productos orgánicos simples y solubles. [10]

Para algunos tipos de sustratos, esta es la etapa limitante del proceso ya que hay algunos materiales no digeribles o que se digieren demasiado lento. El sustrato contiene habitualmente una fracción de lignina, polímero derivado del fenil propano, que es solubilizado con bastante dificultad en los sistemas biológicos, debido a su resistencia al ataque enzimático en condiciones anaeróbicas. [10]

Las especies anaeróbicas presentes en esta etapa se pueden dividir en dos clases:

1.3.4.2 ACIDOGÉNESIS.

En esta segunda etapa los productos solubles de la etapa anterior son convertidos en ácidos orgánicos volátiles de cadena corta y alcoholes producto de la acción de endoenzimas, algunos de los ácidos grasos más importantes que se forman son: ácido acético, propiónico y butírico. [10]

Sólo el ácido acético formado da origen al 70% de la producción de metano.

Las bacterias acetogénicas son las encargadas de la degradación de los ácidos grasos de cadena larga (productos de la primera etapa) como los ácidos palmíticos y esteáricos para su posterior transformación a ácido acético. [10]

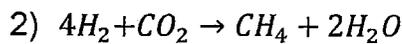
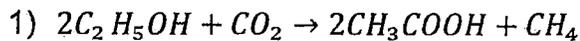
Las bacterias facultativas involucradas en esta etapa son importantes no solo porque producen los nutrientes, para los productos de metano, sino que además remueven cualquier traza de oxígeno disuelto que quede en el material orgánico debido a que las bacterias que actúan en la siguiente etapa son exclusivamente anaeróbicas. [10]

1.3.4.3 METANOGENÉISIS.

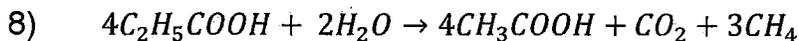
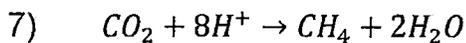
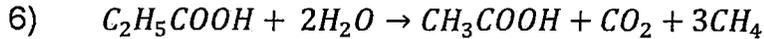
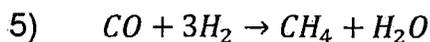
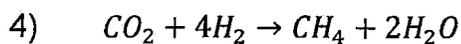
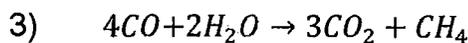
En esta etapa los ácidos orgánicos simples producidos en la etapa anterior son convertidos, por acción de las bacterias metano génicas, en sustrato para la descomposición, estabilización y producción de metano y anhídrido carbónico.

El mecanismo por el cual se forma metano considera las siguientes reacciones: [10]

a.- Producción de metano.



b.- El metano se produce como resultado de la reducción del anhídrido carbónico (CO_2) según:



En esta etapa del proceso, adquiere relevada importancia la concentración de hidrógeno debido a que permite controlar la cantidad de los productos de las reacciones anteriores. Al aumentar el hidrógeno (H_2), ya sea por sobre carga orgánica o por baja en el tiempo de retención tiende a producirse metano a partir de ácido propiónico o butírico y no a partir del ácido acético (CH_3COOH) como es lo normal. [10]

1.2 VARIABLES DE INFLUENCIA

En el proceso de conversión anaerobia también intervienen otros factores como por ejemplo: del PH, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de sustancias tóxicas, el tiempo de retención, la relación carbono – nitrógeno (C: N) y el nivel de carga. [10]

1.4.1 PH

El rango de PH óptimo es de 6.6 a 7.6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el PH del sustrato. Si las bacterias metano génicas no alcanzan a convertir rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el PH en el biodigestor. Sin embargo, el equilibrio CO_2 - bicarbonato opone resistencia al cambio de PH. [10]

Existen dos métodos prácticos para corregir los bajos niveles de PH en el biodigestor. El primero es parar la alimentación del biodigestor y dejar que las bacterias metano génicas asimilen los AGV; de esta forma aumentará el PH hasta un nivel aceptable. Deteniendo la alimentación disminuye la actividad de las bacterias fermentativas y se reduce la producción de los AGV. Una vez que se haya restablecido el PH se puede continuar la alimentación del biodigestor pero en pocas cantidades, después se puede ir aumentando gradualmente para evitar nuevos descensos. [10]

El segundo método consiste en adicionar sustancias buffer para aumentar el PH, como el agua con cal. Las cenizas de soda (carbonato de sodio) constituyen una variante más costosa, pero previenen la precipitación del carbonato de calcio. Los requerimientos de buffer varían según el residual, los sistemas de operación y tipos de operación. Las normas para calcular estos requerimientos han sido desarrolladas por Pohland y Suidon (1978). [10]

1.4.2 TEMPERATURA

Los niveles de reacción química y biológica normalmente aumentan con el incremento de la temperatura. [10]

Para los biodigestores de biogás esto es cierto dentro de un rango de temperatura tolerable para diferentes microorganismos. Las altas temperaturas causan una declinación del metabolismo, debido a la degradación de las enzimas; y esto es crítico para la vida de las células. Los microorganismos tienen un nivel óptimo de crecimiento y metabolismo dentro de un rango de temperatura bien definido, particularmente en los niveles superiores, los cuales dependen del termo-estabilidad de la síntesis de proteínas para cada tipo particular de microorganismo. [10]

Las bacterias metano génicas son más sensibles a los cambios de temperatura que otros organismos en el biodigestor. Esto se debe a que los demás grupos crecen más rápido, como las acetogénicas, las cuales pueden alcanzar un catabolismo sustancial, incluso a bajas temperaturas. [10]

Existen tres rangos de temperatura para la digestión de residuales.

El primero es el mesofílico (de 20 a 45 °C), el segundo es el termofílico (por encima de 45 °C). El óptimo puede ser de 35 a 55 °C. La ventaja de la digestión termofílica es que la producción de biogás es aproximadamente el doble que la mesofílica, así que los biodigestores termofílicos pueden ser la mitad en volumen que los mesofílicos, manteniendo su eficiencia general. [10]

Se han realizado numerosos trabajos sobre la digestión termofílica en países templados. Sin embargo, se requieren considerables cantidades de energía para calentar los residuales hasta 55 °C. El tercer rango (psicrofílico) ocurre entre los 10 y 25 °C. Existen algunas restricciones para el uso de esta temperatura en la digestión anaerobia, como son la necesidad de utilización de: reactores anaerobios de cama fija (UASB), inóculos mesofílicos, un tiempo de retención alto y mantener una acidificación baja. [10]

1.4.3 NUTRIENTES

Además de una fuente de carbono orgánico, los microorganismos requieren de nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que tienen efectos complejos. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes. Sin embargo, la deficiencia de nutrientes no debe ser un problema con los alimentos concentrados, pues estos aseguran en más que suficientes las cantidades de nutrientes. [10]

Por otra parte, la descomposición de materiales con alto contenido de carbono ocurre más lentamente, pero el período de producción de biogás es más prolongado. Los materiales con diferentes relaciones de C: N difieren grandemente en la producción de biogás. Por ejemplo, la relación de C: N en residuales porcinos es de 9 a 3; en vacunos de 10 a 20; en gallinas de 5 a 8; para humanos es de 8 y para

residuos vegetales es de 35. La relación óptima se considera en un rango de 30:1 hasta 10:1, una relación menor de 8:1 inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio. [10]

1.4.4 TOXICIDAD

Los compuestos tóxicos incluso en bajas concentraciones, afectan la digestión y disminuyen los niveles de metabolismo. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque todos los grupos pueden ser afectados. [10]

Un nutriente esencial también puede ser tóxico si su concentración es muy alta. En el caso del nitrógeno, mantener un nivel óptimo para garantizar un buen funcionamiento sin efectos tóxicos es particularmente importante. [10]

Por ejemplo, en alimentos de alto contenido de proteína para el ganado, un desbalance por altos contenidos de nitrógeno y bajas disponibilidades energéticas, causa toxicidad por generación de amonio. [10]

Usualmente, el nivel de amonio libre debe ser mantenido en 80 ppm. Sin embargo, una concentración más alta, alrededor de 1500-3000 ppm, puede ser tolerada. [10]

Se debe tener precaución para evitar la entrada al biodigestor de ciertos iones metálicos, sales, bactericidas y sustancias químicas sintéticas. Se reportado la reducción de gas cuando son utilizadas excretas de animales tratados con antibióticos. [10]

1.4.5 NIVEL DE CARGA

Este parámetro es calculado como la materia seca total (MS) o materia orgánica (MO) que es cargada o vertida diariamente por metro cúbico de volumen de biodigestor. La MO o sólidos volátiles (SV) se refiere a la parte de la MS o sólidos totales (TS), que se volatilizan durante la incineración a temperaturas superiores a 500 °C. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano. [10]

Los residuales de animales pueden tener un contenido de MS mayor del 10 % de la mezcla agua estiércol. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de MS no debe exceder el 10 % de la mezcla agua estiércol en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados. [10]

La eficiencia de la producción de biogás se determina generalmente expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de MS o SV. La fermentación de biogás requiere un cierto rango de concentración de MS que es muy amplio, usualmente desde 1% al 30%. La concentración óptima depende de la temperatura. [10]

1.4.6 TIEMPO DE RETENCIÓN

Existen dos parámetros para identificar el tiempo de retención de las sustancias en el biodigestor:

1. El tiempo de retención de los sólidos biológicos (TRSB) que se determinan dividiendo la cantidad de MO o SV que entra al biodigestor entre la cantidad de MO que sale del sistema cada día. El TRSB es asumido para representar la media del tiempo de retención de los microorganismos en el biodigestor. [10]
2. El tiempo de retención hidráulico (TRH) es la relación entre el volumen del biodigestor (VD) y la media de la carga diaria. [10]

Estos parámetros son importantes para los biodigestores avanzados de alto nivel, los cuales han alcanzado un control independiente del TRSB y del TRH a través de la retención de la biomasa. La medición del TRH es más fácil y más práctico que el TRSB al nivel de las granjas. [10]

1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Ventajas:

- El biogás sirve como combustible.
- El residuo digerido es casi inodoro y estabilizado.
- Se conservan los nutrientes del bioabono.
- Las moscas y roedores no son atraídos por el residuo.
- El residuo digerido seco puede utilizarse como bioabono.

Desventajas:

- Equipamiento grande, algo caro y experimental en ciertos diseños.
- Se requieren ciertas precauciones de manejo.
- El proceso es sensible a la temperatura, PH, velocidad de carga y cambios de tipo de carga.
- El proceso de digestión anaeróbica no genera calor.

1.4 UTILIZACIÓN DEL BIOGAS

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa en estufas simples. Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación, para calefacción y como reemplazo de la gasolina o combustible diesel en motores de combustión interna. En general, el biogás puede ser utilizado como cualquier otro gas combustible. [10]

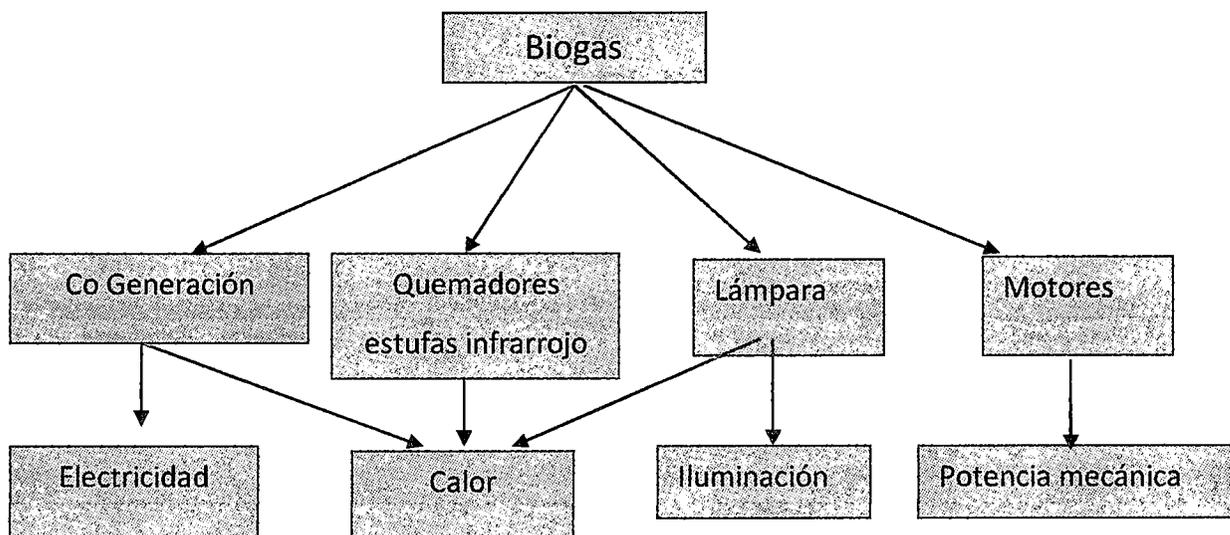


Figura1.2 USO DEL BIOGAS

1.5 BIODIGESTOR

El biodigestores un recipiente cerrado o tanque el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. El biodigestor, de forma cilíndrica o esférica posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica (por ejemplo, estiércol animal o humano, las aguas sucias de las ciudades, residuos de matadero) en forma conjunta con agua; y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor.

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. [11]

El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás. La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos: [11]

- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente.
- En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio (NH_4^+), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.
- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestor. En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35° C los coliformes fecales fueron reducidos en 50 - 70% y los hongos en 95% en 24 horas.

1.7.1 PARTES DE UN DIGESTOR

Un digestor consta de las siguientes partes: ^[11]

1. Caja de control de carga
2. Tubería de entrada del biodigestor
3. Tanque donde se va a dirigir la mezcla del agua y estiércol
4. Caja de carga de salida
5. Caja del efluente
6. Tubería de salida del gas
7. Almacenamiento del gas.

1.7.2 CARACTERÍSTICAS DEL BIODIGESTOR

Para que un biodigestor de desechos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características: ^[11]

- Deberá ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, que interfiere con el proceso, y fugas del biogás producido.
- Deberá estar terminantemente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura.
- Aun no siendo un recipiente de alta presión, el contenedor de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- Deberá contar con medios para la carga y descarga del sistema
- Los biodigestores deberán tener acceso para mantenimiento

1.7.3 CRITERIO A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

Los siguientes son los aspectos a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor: ^[11]

Factores humanos

- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.

- Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

Factores biológicos

- Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas.

Factores físicos

- Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.

Factores de construcción

- Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento, sílico-calcáreo), planchas prefabricadas, concreto, módulos prefabricados.

1.7.4 CLASIFICACIÓN DE LOS BIODIGESTORES.

En general, hay cuatro tipos de digestores. Esta clasificación se hace en cuanto al diseño de construcción, y en cuanto al tipo de proceso empleado. [11]

Atendiendo al diseño de construcción encontramos:

- ✓ Biodigestores de carga continúa
- ✓ Biodigestores de carga discontinua.

1.7.4.1 BIODIGESTORES DE CARGA CONTINÚA.

Estos digestores son cargados y descargados en forma regular y periódica de tal manera que la producción de gas y efluente es permanente. [11]

1.7.4.1.1. VENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES CONTÍNUOS:

- Permite controlar la digestión, con el grado de precisión que se quiera.
- Permite corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso, en cuanto es destacada.
- Permite manejar las variables relacionadas, carga específica, tiempo de retención y temperatura, a periodos son del orden de 10 años.
- La tarea de “puesta en marcha”, después del inicial, sólo se vuelve a repetir cuando hay que vaciarlo por razones de mantenimiento.
- Las operaciones de carga y descarga, de material a procesar y procesados, no requieren ninguna operación especial. [11]

1.7.4.1.2. DESVENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES CONTÍNUOS:

- La baja concentración de sólidos que admiten.
- No poseer un diseño apropiado para tratar materiales fibrosos, o aquellos cuyo peso específico sea menor que el del agua.
- Problemas de limpieza de sedimentos, espuma e incrustaciones.
- El alto consumo de agua, por lo que al agregado líquido se reduce, con el agregado de orinas, un buen sustituto. [11]

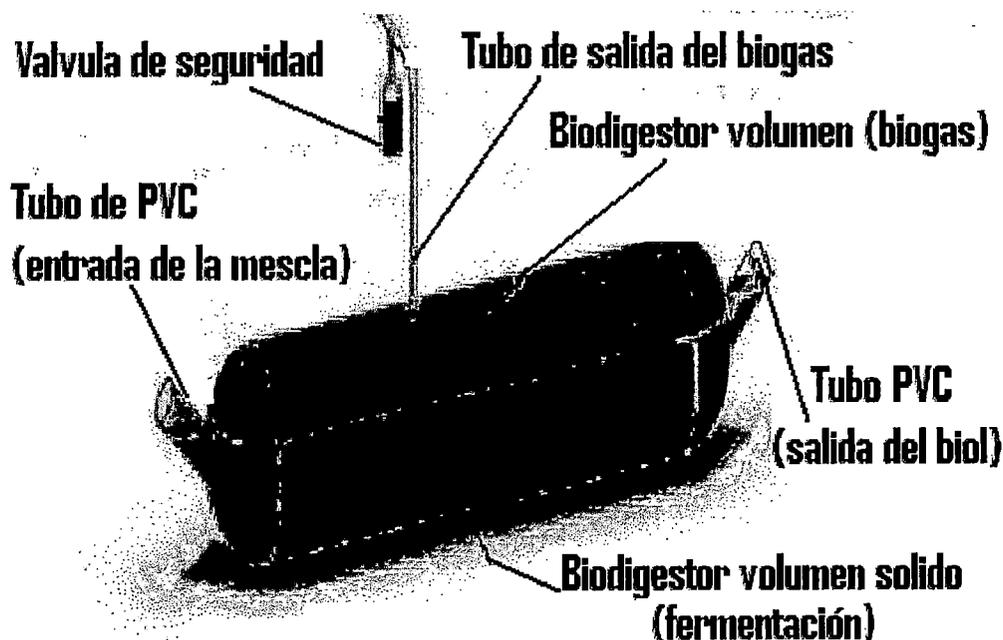


Figura 1.3. Digestores continuos

1.7.4.2 BIODIGESTORES DE CARGA DISCONTINUA (BATCH)

El ciclo de producción de gas y fertilizantes sólo puede ser continuado o reciclado una vez que la carga y descarga del total del contenido de materia prima del digestor haya ocurrido. [11]

1.7.4.2.1 VENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES DISCONTINUOS.

- Pueden procesarse una gran variedad de materiales La carga puede juntarse en campo abierto porque, aunque tenga tierra u otro inerte mezclado, no entorpece la operación del biodigestor.
- Admiten cargas secas que no absorben humedad, así como de materiales que flotan en el agua.
- Su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de materia prima no sea continua, sino periódica.
- No requiere prácticamente ninguna atención diaria. [11]

1.7.4.2.2 DESVENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES DISCONTINUOS:

- La carga requiere un considerable y paciente trabajo.
- La descarga, también es una operación trabajosa.

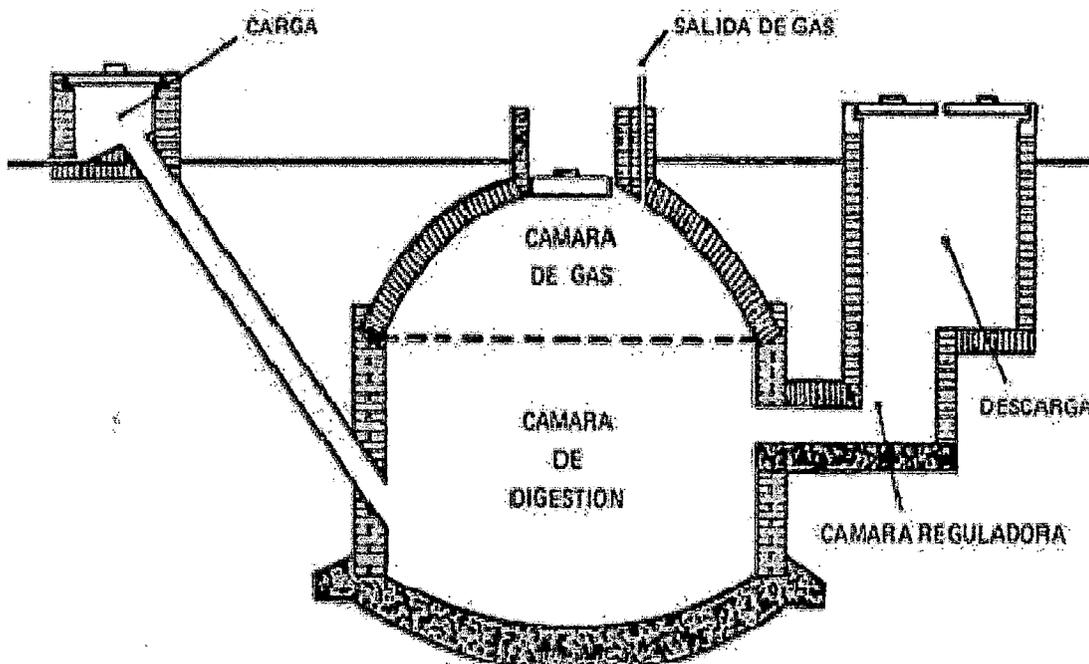


Figura 1.4 Digestores de carga discontinua

1.8 TRANSFERENCIA DE CALOR.

Es La propagación de energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos diferentes. Siempre que exista una diferencia de temperatura, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura la energía que se transfiere como resultado de una diferencia de temperatura es el calor.

Podemos definir la transferencia de calor como “el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptores”, mientras que los procesos de Transferencia de calor están relacionados con las razones de intercambio térmico que ocurren en los equipos.

Los mecanismos a través de los cuales se transmite el calor son: conducción, convección y radiación.

1.8.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de las interacciones entre las partículas. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica y del espesor del material, así como de la diferencia de temperatura.

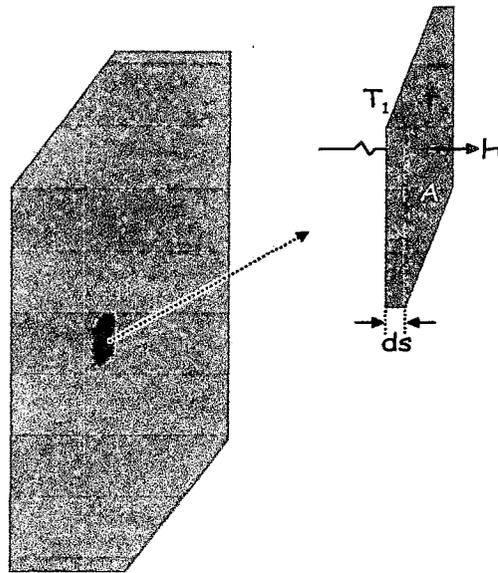


Figura 1.5. Transferencia por conducción.

1.8.2 LEY DE FOURIER PARA LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Esta ley permite cuantificar el flujo de calor conducido a partir del conocimiento de la distribución de temperatura en el medio. Establece que la tasa de transferencia de calor por conducción en una dirección dada, es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección. Para un flujo unidimensional de calor se tiene: [1]

$$\frac{dq}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad \rightarrow \quad \dot{q} = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots \text{ec (1.1)}$$

Donde:

A : Área de la sección a través de la cual fluye el calor por conducción.

$\frac{dT}{dx}$: Gradiente de temperatura.

k : Conductividad térmica del material ($W/m \cdot K$).

1.8.3 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K)

La conductividad térmica de un material se puede definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de area, por unidad de diferencia de temperaturas. [1]

Metales a 25 °c		Gases a 20 °c		Otros Materiales	
Sustancia	K(W/m K)	Sustancia	K(W/m °k)	Sustancia	K(W/m K)
Alumino	238	Aire	0.0234	Vidrio	0,84
Cobre	397	Helio	0.138	Plástico	0,2-0,3
Oro	314	Hidrógeno	0.172	Agua	0,56
Hierro	79.5	Nitrógeno	0.0234	Aire	0,026
Plomo	34.7	Oxigeno	0.0238	Madera	0.08 – 0.16
plata	427				
Laton	110				
Vidrio	0.84				

Tabla 1.2. Conductividad térmica de diferentes materiales.

1.8.4 RESISTENCIA TÉRMICA (R_T).

La **resistencia térmica** de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica. [1]

$$\dot{q} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\Delta X}{K A}} = \frac{T_1 - T_2}{R_T}$$

Donde: $R_T = \frac{\Delta X}{KA}$ ec (1,2)

1.8.5 CONDUCCIÓN DE CALOR EN UN CILINDRO.

Para estudiar la conducción de calor en un cilindro, utilizamos la ecuación de LAPLACE en coordenadas cilíndricas, para un régimen estacionario: [1]

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = 0$$

Integrando la ecuación se tiene: $\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0$; $\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0$

$$r \frac{\partial T}{\partial r} = C_1 \rightarrow \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{C_1}{r}$$

cuya solución general es: $T(r) = C_1 \ln r + C_2$

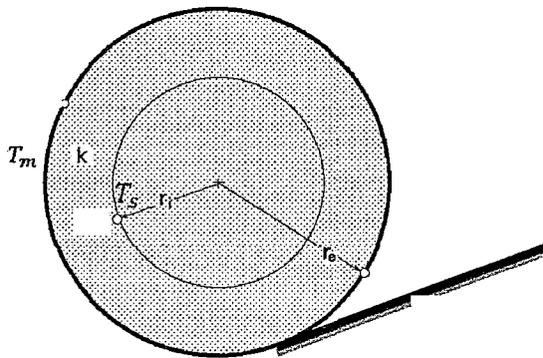


Figura 1.6. Conducción de Calor en un Cilindro.

Aplicando condiciones iniciales y reemplazando en la solución general obtenemos las constantes C_1 y C_2 . [1]

Si: $r = r_i$ y $T = T_s$ entonces $T_s = C_1 \ln r_i + C_2$

Si: $r = r_e$ y $T = T_m$ entonces $T_m = C_1 \ln r_e + C_2$

De donde se tiene: $C_1 = \frac{T_m - T_s}{\ln \frac{r_e}{r_i}}$ y $C_2 = T_s - \frac{T_m - T_s}{\ln \frac{r_e}{r_i}} \ln r_i$

De donde tenemos la distribución de la temperaturas $T(r)$:

$$T(r) = T_s + (T_m - T_s) \frac{\ln(r/r_i)}{\ln(r_e/r_i)}$$

De donde el flujo de calor esta dada por:

$$\dot{q} = -2\pi Lk \frac{dT(r)}{dr} = -2\pi Lk \frac{C_1}{r} = -2\pi Lk \frac{T_m - T_s}{\ln(r_e/r_i)} = \frac{T_s - T_m}{\frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi Lk}}$$

$$\dot{q}_{cond} = \frac{T_s - T_m}{\frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi Lk}} \dots \dots \dots \text{ec (1.3)}$$

La resistencia térmica por conducción para un cilindro es:

$$R_T = \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi L k} \dots \dots \dots \text{ec (1.4)}$$

Donde: k_{cond} : Coeficiente de conductividad térmica (w/m °C)

r_e : Radio exterior (m).

r_i : Radio interior (m).

L: Longitud del cilindro (m)

1.8.6 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia debido a la diferencia de temperatura; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.

En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección. [12]

La convección térmica se centra en la transmisión de calor entre la pared y el fluido, la definición de h esta sujeta a la especificación del incremento ΔT apropiado entre la pared y el fluido, lo cual depende de la geometría. [12]

$$q_c = h(T_{pared} - T_f)A \dots \dots \dots \text{ec (1,5)}$$

Donde:

h : Coeficiente de intercambio por convección ($W/m^2 \cdot K$).

T_f : Temperatura del fluido ($^{\circ}C$).

T_{pared} : Temperatura de la pared ($^{\circ}C$).

A : es la superficie que entrega calor con una temperatura T_{pared} al fluido adyacente, que se encuentra a una temperatura T_f

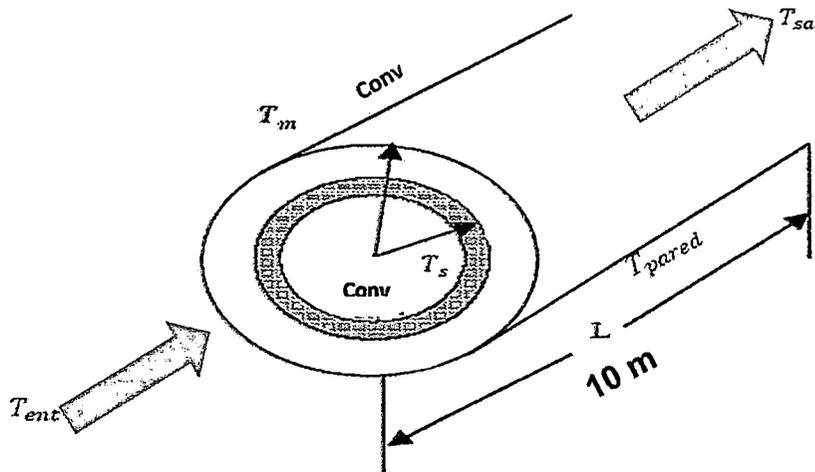


Figura 1.7. Transferencia calor por convección.

1.8.7 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN NATURAL

En convección natural el flujo resulta solamente de la diferencia de temperaturas del fluido en la presencia de una fuerza gravitatoria. La densidad de un fluido disminuye con el incremento de temperatura. En un campo gravitacional, dichas diferencias en densidades originan fuerzas de flotación. Por lo tanto, en convección natural las fuerzas de flotación generan el movimiento del fluido. Sin una fuerza gravitacional la convección natural no es posible. En convección natural una velocidad característica no es fácilmente disponible. [12]

Algunos ejemplos de transferencia de calor por convección natural son: el enfriamiento de café en una taza, transferencia de calor de un calefactor, enfriamiento de componentes electrónicos en computadoras sin ventilador para enfriar, y la transferencia de calor del cuerpo humano cuando una persona esta en descanso. [12]

1.8.7.1 APLICACIONES CONVECCION NATURAL

Dentro de las aplicaciones de convección natural podemos mencionar: [12]

I.- Aplicaciones en flujos externos:

- Pérdidas o ganancias térmicas desde equipos
- Calefacción de ambientes (radiadores, losa radiante)
- Aletas de enfriamiento

II.- Aplicaciones en flujos internos:

- Pérdidas o ganancias de calor desde ambientes habitables, frigoríficos, etc.
- Colectores solares
- Enfriamiento de componentes electrónicos
- Ventanas dobles (termopanel)

III.- Aplicaciones en el medio ambiente

- Corrientes térmicas generadas en el suelo
- Flujos geofísicos
- Lagos y reservorios.

El problema de convección natural es un problema no lineal, y acoplado ya que la temperatura aparece tanto en la ecuación de la energía como en la de movimiento. No se puede separar en un problema dinámico y un problema térmico, como se hacía en convección forzada. [12]

Se puede demostrar que el coeficiente de expansión térmica aparecen dos grupos adimensionales: el conocido número de Prandtl y el número de Grashof. [12]

$$G_r = g\beta\Delta TL^3 / \nu^2 \dots \dots \dots \text{ec (1.6)}$$

que es el parámetro fluidodinámico de la convección natural. En consecuencia, la dependencia adimensional de la transferencia de calor en convección natural es:

$$N_u = hl/k = f(G_r, P_r) \dots \dots \dots \text{ec (1,7)}$$

Nu = número de Nusselt;

h = coeficiente de convección;

L = longitud característica teniendo como valor por defecto L = 1;

k = coeficiente de conductividad térmica del fluido.

El número de Nusselt: es una magnitud bastante utilizada para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección, basada en el análisis dimensional, la cual es utilizada para determinar parámetros a través de relaciones de similitud. El número de Nusselt también es función de otro número adimensional, el número de Reynolds, así como el número de Prandtl. [12]

Las correlaciones de trabajo en convección natural se basan en esa dependencia. En cada situación geométrica se debe especificar la longitud significativa para formar los números de Nusselt y Grashof, y la diferencia de temperatura. [12]

1.8.7.2 PRINCIPIOS FÍSICOS EN EL ANÁLISIS DE LA CONVECCIÓN NATURAL

El estudio de la convección natural se basa de dos principios de la mecánica de fluidos: conservación de masa, conservación de momento y del principio de termodinámica que es la conservación de energía. Las ecuaciones de los principios mencionados se reducen a tomar en cuenta las siguientes suposiciones: [12]

- 1) $\rho = \text{constante}$, la densidad es constante
- 2) $\frac{\partial}{\partial t} = 0$, No se toma en cuenta las variaciones con respecto al tiempo
- 3) $2 - D$, El fluido se considera bidimensional
- 4) $\nu = \text{constante}$, la viscosidad estática es constante
- 5) $\frac{\partial \rho}{\partial y} = 0$, No se considera la diferencia en presiones en el eje y
- 6) $\tau_{y \approx} 0$, No hay esfuerzos cortantes a lo largo del eje y
- 7) $C_p = \text{Constante}$, el calor específico es constante
- 8) $K = \text{Constante}$, el coeficiente de conductividad es constante

Conservación de masa,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Conservación de momento,

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = g \rho \beta (T - T_{\infty}) + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

Conservación de energía.

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

En la conservación natural se tiene un parámetro llamado coeficiente volumétrico de expansión termal, β . Dicho coeficiente define la variación del volumen cuando se cambia la temperatura, es decir, la expansión termal se define de la siguiente manera: [12]

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \dots\dots\dots \text{ec}(1,8)$$

V : Volumen [m^3]

T : Temperatura [K]

Si asumimos que el fluido se comporta como un gas ideal, la ecuación se reduce a la siguiente forma:

$$\beta = \frac{1}{T} \dots\dots\dots \text{ec}(1,9)$$

1.8.7.3 CONVECCIÓN NATURAL DESDE LAS PLACAS PLANAS Y CILINDRICOS

En este caso se define el Grashof y el Nusselt como sigue. [12]

$$Gr_l = \frac{g\beta\Delta T L^3}{\nu^2} N_{ul} = hL/K \dots\dots\dots \text{ec}(1,10)$$

en que g es la aceleración de gravedad ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

β : es el coeficiente de expansión térmica del fluido

ΔT : es la diferencia de temperatura entre la pared y el fluido

L : es una dimensión vertical del cuerpo

ν : es la viscosidad cinemática.

La correlación disponible para este caso es:

$$Nu = h L/k = C (GrL P)^n \dots\dots\dots ec (1,11)$$

Donde: C=0,59 y n=0,25 en régimen laminar,

C=0,1 y n=0,333 en régimen turbulento.

La transición de flujo laminar a turbulento se produce para un valor de GrL.Pr de 10^9 .

Puede observarse en esta correlación que tanto Nu como h dependen explícitamente de la diferencia de temperatura ΔT , a diferencia de los casos de convección forzada en que no se observa esa dependencia explícita. h es proporcional a $\Delta T^{0,25}$ y a $\Delta T^{0,333}$ en régimen laminar y turbulento respectivamente. [12]

1.8.7.4 CONVECCIÓN NATURAL EN UN CILINDRO HORIZONTAL

a) El número de Nusselt medio para la convección hacia y desde cilindros horizontales, se puede calcular a partir de la ecuación :

$$Nu = C(Ra)^n \dots\dots\dots ec (1,12)$$

b) Algunas expresiones más exactas son:

Para flujo laminar:

$$Nu_{ud} = 0.36 + \frac{518 Ra_d^{1/4}}{\left(1 + \left(\frac{0.56}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{4/9}} \dots\dots\dots ec(1.13)$$

con $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-6} < Ra_d < 10^9 \\ Pr > 0.5 \end{array} \right.$

Expresiones que no coinciden para $Ra_d = 10^9$

c) Para la transferencia de calor de estos cilindros en posición horizontal hacia metales líquidos se puede utilizar: [12]

$$Nu = 0.53 \sqrt[4]{Gr Pr^2} \dots\dots\dots \text{ec (1.14)}$$

o también la ecuación de Baher:

$$Nu = 0.445 \sqrt[4]{Ra} + 0.1183 \sqrt[8]{Ra} + 0.41 \dots\dots\dots \text{ec (1.15)}$$

$$10^{-5} < Ra < 10^4$$

d) En convección natural para el caso particular el aire y los gases, para tubos horizontales y verticales calientes se puede aplicar la siguiente relación: [12]

Flujo laminar: $h_c = 1.18 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{d} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}}$

➤ Flujo turbulento: $h_c = 1.65 \sqrt[3]{\Delta T} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$

..... ec (1.16)

Donde : ΔT : Variación de temperatura (°C)

d : Distancia (m)

1.8.7.5 CONVECCION NATURAL ENTRE CILINDROS CONCENTRICOS.

El cilindro interior es el caliente y el cilindro exterior el frío; las correlaciones recomendadas para la convección natural se expresan en función de una conductividad térmica efectiva K_{efec} que se sustituye en la ecuación de conducción correspondiente: [12]

$$Q = \frac{2\pi K_{efec} d (T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)} \dots\dots\dots \text{ec (1.17)}$$

Donde:

$$\frac{K_{efec}}{K} = 0.3386 \sqrt[4]{\frac{Pr Ra_{cil}}{0.861 + Pr}} 10^2 < Ra_{cil} < 10^7 ; \frac{K_{efec}}{k} > 1$$

$$Ra_{cil} = \frac{\left(\ln \frac{D_2}{D_1}\right)^4}{d^3 \left(D_1^{-3/5} + D_2^{-3/5}\right)^5} Ra_d$$

$$d = \frac{D_2 - D_1}{2}$$

1.8.7.6 CONVECCION NATURAL EN EL EXTERIOR DE CILINDROS HORIZONTALES

En este caso la dimensión significativa es el diámetro exterior D. [12]

$$NuD = h D/k = C (GrD Pr)^n \dots\dots\dots ec (1.18)$$

Donde: C=0,53 y n=0,25 en régimen laminar,

C=0,13 y n=0,333 en régimen turbulento.

La transición de flujo laminar a turbulento se produce también en este caso para un valor de Gr.Pr de 10^9 . [12]

Para los dos casos anteriores las correlaciones valen indistintamente si la superficie esta a mayor temperatura que el fluido (flujo ascendente con transferencia de calor desde el fluido a la superficie). [12]

1.9. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN.

La radiación es un mecanismo de transferencia de calor, donde la energía es emitida en forma de ondas electromagnéticas (o fotones); la energía transferida por radiación no requiere la presencia de un medio interventor, y se considera como el medio de transferencia de energía más rápido. [8]

A diferencia de la conducción y la convección que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación, de hecho, la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío. [8]

1.9.1 LEY DE STEFAN BOLTZMANN.

Nos determina la máxima razón de radiación que puede ser emitido desde una superficie a una temperatura absoluta. [8]

La emisividad o potencia total emitida por un cuerpo negro por una unidad de área a una temperatura T se determina integrando la ecuación. [8]

$$e(T) = \int_0^{\infty} e_{\lambda}(T) d\lambda \quad \text{Entonces} \quad e(T) = \sigma T^4$$

Donde: $\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}^4$ constante de Stefan Boltzmann.

1.9.2 TEORIA DE SKY.

Al firmamento podemos considerar como un cuerpo negro. Para efectos de nuestro análisis consideremos un sistema de colectores solares que son necesarios para evaluar el cambio de radiación entre la superficie y el firmamento. [8]

La radiación para una superficie con emisiones (ϵ) y temperatura (T) es:

$$Q = \epsilon A \sigma (T_{sky}^4 - T^4) \dots \dots \dots \text{ec (1.19)}$$

Donde:

A : Área de la superficie (m^2)

T_{sky} : Temperatura de Sky equivalente al cuerpo negro.

T : Temperatura en fase de la tierra.

Se sabe que la temperatura de la atmosfera no es uniforme, además la atmosfera es esencialmente transparente en las regiones de longitud de onda desde 8 a 14 μm . [8]

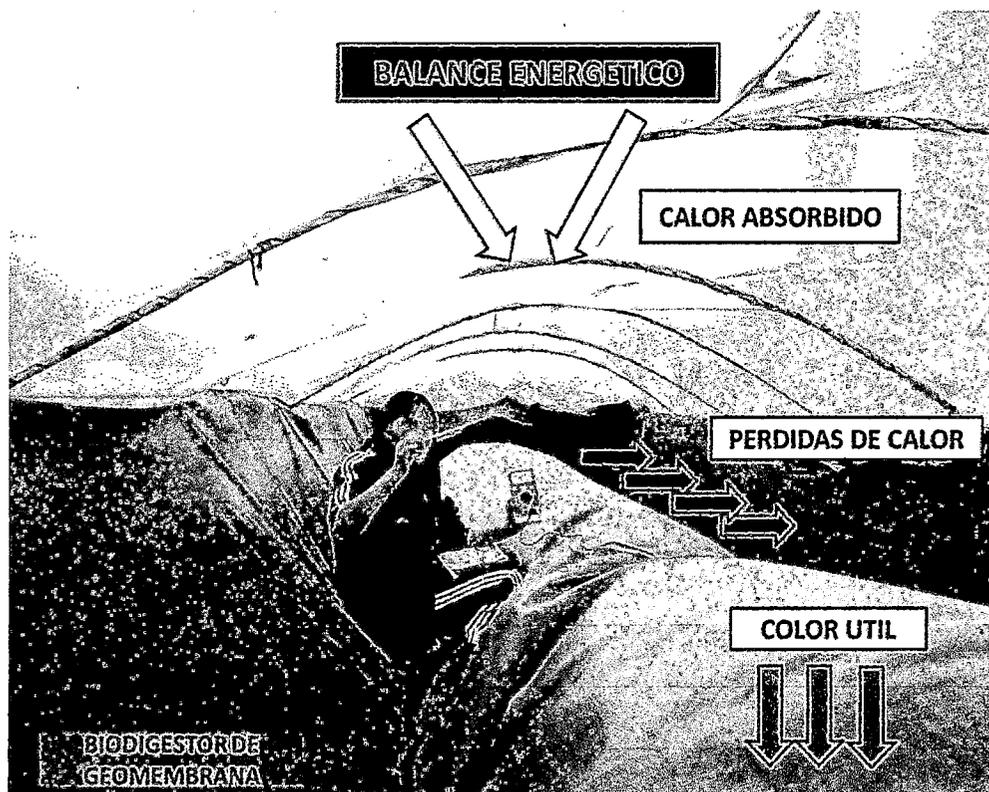
En 1987 Whillier utilizó una expresión aun más simple para calcular la temperatura del firmamento. [8]

$$T_{sky} = T_{air} - 6^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots \text{ec (1.20)}$$

Donde las temperaturas de Sky (firmamento) y del aire están dadas en grados centígrados. [8]

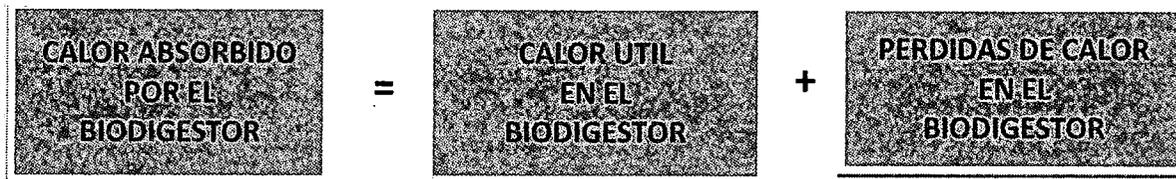
1.10. BALANCE ENERGÉTICO EN UN BIODIGESTOR.

Un balance energético en un biodigestor nos indica la distribución de la energía solar incidente en la ganancia de la energía térmica y la pérdida de la radiación, esto es que la radiación solar absorbida por el biodigestor es igual a la diferencia entre la radiación solar incidente y las pérdidas. [8]



Fuente propia.

Figura 1.8. Balance energetico



$$AI(\tau\alpha) = Q_u + (Q_{rad} + Q_{cov} + Q_{cod}) \dots\dots\dots ec (1.21)$$

Donde:

τ : Transmitancia.

α : Absortancia.

A : Área del cobertor.

I : Intensidad de la radiación solar incidente.

El primer miembro representa la energía efectiva absorbida por el colector; en el segundo miembro el término en paréntesis indica las pérdidas por radiación, convección, conducción y renovación; el siguiente termino representa la energía útil en el colector. Por consiguiente la energía útil del sistema seria:

$$U = AI(\tau\alpha) - \sum Q_{per} \dots\dots\dots ec (1.22)$$

Donde:

$$Q_{per} = (Q_{cc} + Q_{ren} + Q_s + Q_{rad}) \dots\dots\dots ec (1.23)$$

1.10.1. TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL BIODIGESTOR SOLAR

En el presente trabajo realizaremos un modelamiento producido por la transferencia de calor en el biodigestor. [8]

La ecuación del calor se resuelve para el perfil de temperaturas por medio del método de diferencias finitas implícito y el uso del método de Newton multidimensional para resolver el sistema de ecuaciones no lineales que resulta de la

discretización propuesta para las condiciones de frontera no lineales y variables en el tiempo. [8]

El objetivo de este simulador es desarrollar una solución al modelo mediante diferencias finitas que integre las condiciones de frontera dentro de la solución de los demás nodos para la transferencia de calor transitoria en el biodigestor, evitando el uso de nodos ficticios y la fragmentación de la solución numérica. [8]



Fuente propia.

Figura 1.8. Transferencia calor en el biodigestor

1.11 ECUACIÓN DE CALOR

La ecuación para describir la difusión de calor se describe mediante ecuaciones diferenciales entre derivadas parciales. Un método común para encontrar la solución numérica es discretizando la variable y resolviendo la ecuación diferencial. [8]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \dots \dots \dots \text{ec (1.24)}$$

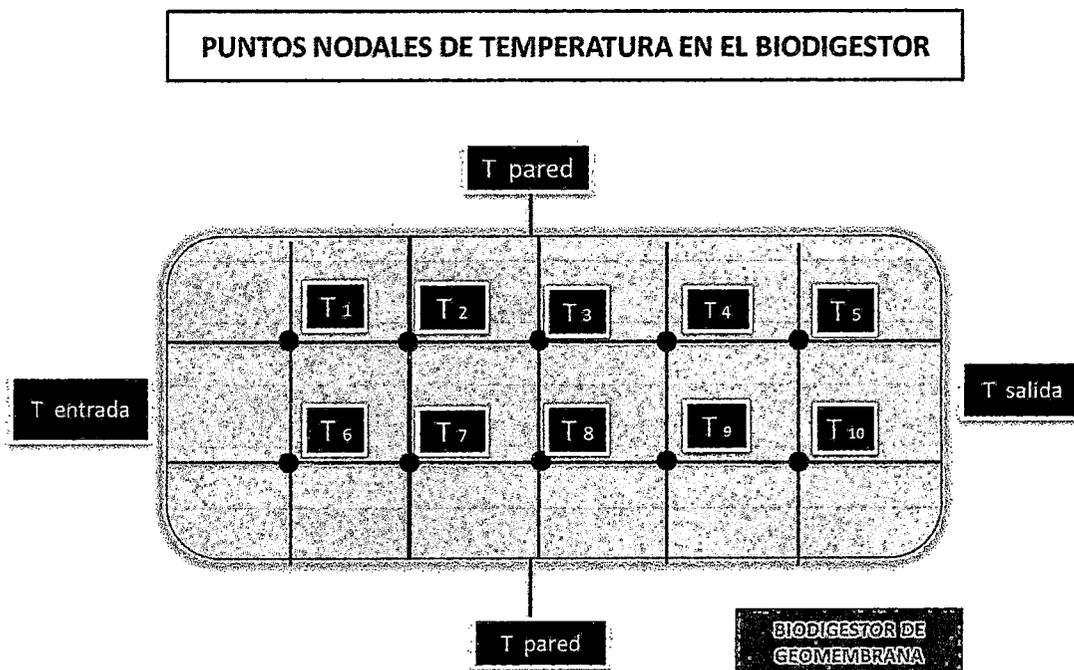
$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

Donde: α : Difusividad térmica del polietileno = $0.125 \text{ m}^2/\text{s}$
 ρ : Densidad = 1050 kg/m^3
 c_p : Calor específico = $1200 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$
 k : Conductividad térmica = $0.023 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

La ecuación del calor en la dirección z , definida positiva hacia el fondo del biodigestor. Por las condiciones de simetría geométrica y de flujo de calor en los cobertores de polietileno, se considera que el calor se mueve únicamente hacia las capas inferiores del biodigestor. [8]

Debido a que el cobertor plástico de polietileno retiene el calor, esta se considera constante en todo el dominio de solución, por lo cual la conductividad térmica y el calor específico del biodigestor no varían en el tiempo considerado para simulación ni en posición. Es necesario establecer las condiciones de frontera. [8]

Las fronteras para este caso son la superficie del biodigestor y el cobertor. Consideramos la superficie del biodigestor como un cuerpo bidimensional que se ha de dividir en incrementos iguales tanto en la dirección x e y , los puntos nodales están designados como se muestran las posiciones m que indican los incrementos en x , y las n indican el incremento y . Deseamos obtener el flujo de calor en estos puntos nodales en el biodigestor. [8]



Fuente propia.

Figura 1.9. . Puntos nodales en la superficie del biodigestor.

1.11.1 FLUJO DE CALOR EN LA SUPERFICIE DEL BIODIGESTOR.

En la superficie del biodigestor se presenta flujo de calor debido a la radiación absorbida, la convección con el aire atrapado entre la cubierta del plástico de polietileno (cobertor), el biodigestor y la conducción hacia dentro del biodigestor.

Se considera que la superficie del biodigestor no almacena calor, sino que lo transmite todo hacia dentro del biodigestor, entonces el balance de energía sobre la superficie del biodigestor es: [8]

$$\dot{q}_{cond} + \dot{q}_{conv} + \dot{q}_{rad} = 0 \dots\dots\dots ec(1.25)$$

El flujo de calor por conducción hacia dentro del biodigestor está dado por la ecuación de Fourier. De la ecuación (1.3) tenemos. [8]

$$\dot{q}_{cond} = \frac{T_s - T_m}{\frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi Lk}}$$

Donde:

$$k_{cond} : 0.343 \text{ Wm}/^\circ\text{K}$$

$$r_e : \text{Radio exterior} = 0.68 \text{ m.}$$

$$r_i : \text{Radio interior} = 0.50 \text{ m.}$$

$$L : \text{Longitud característica} = 7.45 \text{ m.}$$

Para calcular el flujo de calor por convección entre el biodigestor y el aire atrapado se utiliza la ecuación de Garzoli y Blackwell, valida por sus autores bajo diferentes condiciones climáticas. [8]

$$\dot{q}_{conv} = h_i \frac{(T_{sal} - T_{pared}) - (T_{pared} - T_{ent})}{\ln \frac{(T_{sal} - T_{pared})}{(T_{pared} - T_{ent})}} \dots\dots\dots ec (1.26)$$

Donde: $h_i = h_{int} \times S$

h = coeficiente de transferencia de calor convectivo.

S = área de la superficie del biodigestor solar

T_{pared} = temperatura de la pared.

T_{sal} = temperatura de salida del fluido.

T_{ent} = temperatura entrada del fluido.

El coeficiente conectivo (interior) se calcula de la siguiente manera:

$$h_{int} = \frac{N_u \times k}{L} \dots\dots\dots ec (1.27)$$

Donde:

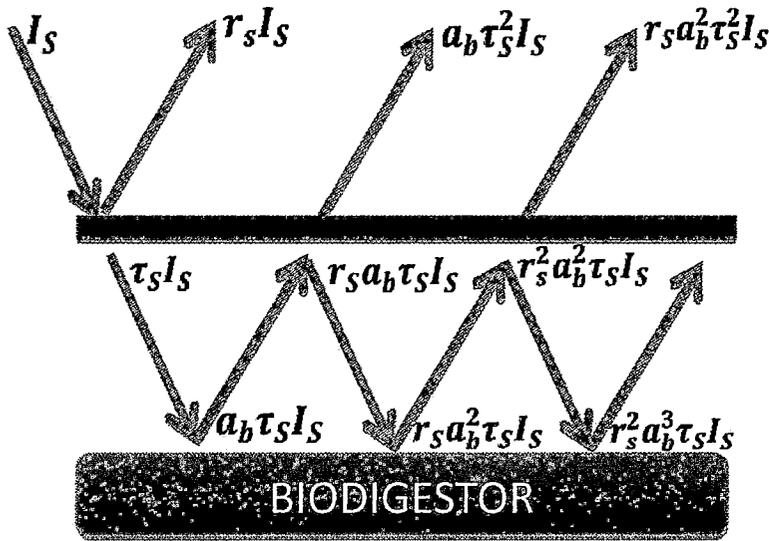
N_u : Número adimensional (Nusselt) = 2.8 para el polietileno

k : Conductividad térmica = 0.023 W/m°K

L : Longitud característica = 7.45m

El flujo de calor neto por radiación sobre la superficie del biodigestor, es la suma de la irradiación solar y difusa, la radiación atmosférica, la pérdida por emisión neta de radiación del biodigestor, y la radiación neta recibida por la emisión del cobertor donde debe tenerse en cuenta las infinitas reflexiones entre el biodigestor y el cobertor. Considerando el espacio entre la superficie del biodigestor y el cobertor (plástico de polietileno), con ayuda de un diagrama de rayos se tiene que la radiación neta de onda que absorbe la superficie del biodigestor es: [8]

$$I_{sn} = \tau_s R_s (1 - a_b) \sum_{n=0}^{\infty} (I_s a_b)^n$$



Fuente propia.

Figura 1.10. Radiación neta del biodigestor.

Como $r_s a_b < 1$, la serie geométrica converge a:

$$I_{sn} = \frac{\tau_s(1-a_b)}{1-r_s a_b} I_s \dots \dots \dots \text{ec 1.28)}$$

I_s : Radiación incidente

La radiación atmosférica sobre la superficie del biodigestor, la radiación neta sobre el biodigestor, debida a la emisión del cobertor y la radiación neta perdida por la emisión perdida de la superficie del biodigestor se derivan de forma similar entregando el flujo de calor por radiación neto sobre el biodigestor. [8]

$$\dot{q}_{rad} = \frac{\tau_s(1-a_b)}{1-r_s a_b} I_s + \frac{\epsilon_s \sigma}{1-r+r\epsilon_s} [\tau \epsilon_{sky} T_a^4 + \epsilon_m T_m^4 - (1-r) T_s^4]$$

.....ec (1.29)

La radiación atmosférica de onda larga se calcula utilizando la fórmula de Swinbank para cielo claro:

$$R_a = \varepsilon_{sky} \sigma T_a^4$$

$$\varepsilon_{sky} = T_{air} - 6^\circ C \dots \dots \dots ec (1.30)$$

1.11.2 FLUJO DE CALOR DENTRO DEL BIODIGESTOR.

El biodigestor tiene una profundidad de 1.00m, a la cual las oscilaciones de temperatura debidas a los ciclos diarios del flujo de calor son prácticamente nulas, en otras palabras, la profundidad a la cual la temperatura permanece constante en un valor 1.00m a lo largo del tiempo. [8]

El biodigestor tiene una capacidad térmica grande respecto a los flujos de calor presentes en el caso modelado, la condición de frontera en este caso es:

$$T(t, z) = T \dots \dots \dots ec (1.31)$$

1.11.3 FLUJO DE CALOR EN EL COBERTOR

Anteriormente observamos que las condiciones de frontera sobre la superficie del biodigestor dependen de la temperatura de la cubierta plástica (cobertor) por lo que es necesario conocer a cada instante del tiempo. [8] Se considera que el flujo de calor sobre la cubierta plástica (cobertor) se da únicamente por radiación y por convección debido a que esta solo hace contacto con el biodigestor en los extremos, pues hay una capa de aire atrapado entre el biodigestor y el cobertor; además, como las películas plásticas del polietileno son muy delgadas (del orden de centésimas de milímetro) se considera que el plástico de polietileno es una superficie que no almacena energía; al respecto el balance de energía es: [8]

$$\dot{q}_{conv,m} + \dot{q}_{rad,m} = 0 \dots \dots \dots ec(1.32)$$

Hay dos términos de convección, uno interno entre el aire atrapado entre el biodigestor (interior) y el cobertor y otro externo entre el cobertor y el ambiente (exterior). [8]

Para la convección interna se utiliza la ecuación de Garzoli y Blackwell:

$$\dot{q}_{conv1} = h_i \frac{(T_{sal} - T_{pared}) - (T_{pared} - T_{ent})}{\ln \frac{(T_{sal} - T_{pared})}{(T_{pared} - T_{ent})}} \dots \text{ec (1.33)}$$

Para la convección externa se utiliza otra correlación hallada por Garzoli y Blackwell:

$$\dot{q}_{conv2} = h_o (T_a - T_m) \dots \text{ec (1.34)}$$

Se tiene entonces que el total del flujo de calor por convección sobre la cubierta de plástico polietileno (cobertor) es:

$$\dot{q}_{conv,m} = h_i \frac{(T_{sal} - T_{pared}) - (T_{pared} - T_{ent})}{\ln \frac{(T_{sal} - T_{pared})}{(T_{pared} - T_{ent})}} + h_{ext} (T_m - T_a) \dots \text{ec (1.35)}$$

El análisis para calcular el flujo de calor por radiación neto sobre la cubierta plástica (cobertor) es similar a la que se hizo para la superficie del biodigestor, el resultado es:

$$\dot{q}_{rad,m} = \left[1 - r_s - \frac{\tau_s(1 - a_b + \tau_s a_b)}{1 - r_s a_b} \right] I_s + \left[1 - r - \frac{\tau(\tau + \varepsilon_s(1 - \tau))}{1 - \tau + \tau \varepsilon_s} \right] \varepsilon_{sky} \sigma T_a^4 - \left[2 - \frac{(1 - \varepsilon_s) + (1 - \tau - r)}{1 - \tau + r \varepsilon_s} \right] \varepsilon_m \sigma T_m^4 + \left[1 - \frac{\tau + r}{1 - r + r \varepsilon_s} \right] \varepsilon_s \sigma T_s^4 \dots \text{ec (1.36)}$$

1.11.4 MÉTODO DE DIFERENCIAS FINITAS.

Para la solución numérica utilizamos el método de diferencias finitas regresivo (o implícito) para la discretización de la ecuación del calor y la discretización de las condiciones de frontera. [8]

Se utiliza este método debido a que es incondicionalmente estable para los tamaños de paso en tiempo y posición, por lo cual sirve para análisis segundo a segundo o por horas; el algoritmo se realizó para pasos de tiempo de 30 minutos y puntos nodales de 2 metros, donde se presenta convergencia. [8]

La discretización de la ecuación es:

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \alpha \frac{T_{i-1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}}{\Delta z^2}$$

Reordenando los términos de tal forma que se igualen a cero se tiene:

$$-FoT_{i-1}^{n+1} + (1 + 2Fo)T_i^{n+1} - FoT_{i+1}^{n+1} - T_i^n = 0$$

.....ec (1.37)

Donde:

$Fo = \alpha\Delta t/\Delta z^2$ es el número de Fourier.

Δt : Promedio

$$\Delta z^2 = (0.68 - 0.30)^2 = 0.14m^2$$

La ecuación es válida para $i = 2, 3, \dots, M - 1$

Donde M es el número de nodos de posición.

De las ecuaciones (1,3), (1,26), (1,29) tenemos: [8]

- Los flujos de calor sobre la superficie del biodigestor

$$\dot{q}_{cond} = \frac{T_s - T_m}{\frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi Lk}} \dots \dots \dots ec (1.38)$$

$$\dot{q}_{conv} = h_i \left[\frac{(T_{sal}^{n+1} - T_{pared}^{n+1}) - (T_{pared}^{n+1} - T_{ent}^{n+1})}{\ln \left(\frac{T_{sal}^{n+1} - T_{pared}^{n+1}}{T_{pared}^{n+1} - T_{ent}^{n+1}} \right)} \right] \dots \text{ec (1.39)}$$

$$\dot{q}_{rad} = \frac{\tau_s(1-a_b)}{1-r_s a_b} I_s^{n+1} + \frac{\epsilon_s \sigma}{1-r+r\epsilon_s} \left[\tau \epsilon_{sky} (T_a^{n+1})^4 + \epsilon_m (T_m^{n+1})^4 \right] - \frac{\epsilon_s \sigma}{1-r+r\epsilon_s} (1-r) (T_s^{n+1})^4 \dots \text{ec (1.40)}$$

La discretización de la condición de frontera dentro del biodigestor es sencillamente:

$$T_M^{n+1} - T_M^n = 0$$

- Los flujos de calor sobre la superficie del cobertor son:

$$\dot{q}_{conv} = h_i \left[\frac{(T_{sal}^{n+1} - T_{pared}^{n+1}) - (T_{pared}^{n+1} - T_{ent}^{n+1})}{\ln \left(\frac{T_{sal}^{n+1} - T_{pared}^{n+1}}{T_{pared}^{n+1} - T_{ent}^{n+1}} \right)} \right] + h_{ext}^{n+1} (T_m^{n+1} - T_a^{n+1}) \dots \text{ec (1.41)}$$

$$\begin{aligned} \dot{q}_{rad} = & \left[1 - r_s - \frac{\tau_s(1 - a_b + \tau_s a_b)}{1 - r_s a_b} \right] I_s^{n+1} \\ & + \left[1 - r - \frac{\tau(\tau + \epsilon_s(1 - \tau))}{1 - r + r\epsilon_s} \right] \epsilon_{sky} \sigma (T_a^{n+1})^4 \\ & - \left[2 - \frac{(1 - \epsilon_s) + (1 - \tau - r)}{1 - r + r\epsilon_s} \right] \epsilon_m \sigma (T_m^{n+1})^4 \\ & + \left[1 - \frac{\tau + r}{1 - r + r\epsilon_s} \right] \epsilon_s \sigma (T_s^{n+1})^4 \dots \text{ec(1.42)} \end{aligned}$$

Como se puede observar en las ecuaciones anteriores todas las temperaturas son independientes a cada instante, por lo cual debe resolverse un sistema no lineal de ecuaciones en cada paso del tiempo. [8]

El perfil de temperaturas en nodo está dado por un vector columna T de $M + 2$ elementos definidos como:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_m^{n+1} \\ T_s^{n+1} \\ T_1^{n+1} \\ T_2^{n+1} \\ \vdots \\ T_{M-1}^{n+1} \\ T_M^{n+1} \end{bmatrix}$$

Se define una función vectorial $\dot{\mathbf{q}}(\mathbf{T})$ de acuerdo al flujo de calor en cada nodo.

$$\dot{\mathbf{q}}(\mathbf{T}) = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \\ \vdots \\ \dot{q}_{M+1} \\ \dot{q}_{M+2} \end{bmatrix}$$

1.12 PÉRDIDAS DE CALOR POR CONDUCCIÓN – CONVECCIÓN

Estas pérdidas son directamente proporcionales al coeficiente global de pérdidas de calor por conducción – convección a través del material cobertor, a la superficie del material del cobertor (S) y al salto térmico. [8]

$$Q_{cc} = KS\Delta T \dots\dots\dots ec (1.43)$$

Donde:

K: Coeficiente global de pérdidas por conducción y convección .

S: Superficie del material del cobertor (m^2).

ΔT : Salto térmico ($^{\circ}C$) $\Delta T = T_s - T_m$

1.12.1 PÉRDIDAS POR RENOVACIÓN

Las pérdidas por renovación se determinan mediante la siguiente relación:

$$Q_{ren} = RVP_e C_p \Delta T \dots \dots \dots ec (1.44)$$

Donde:

R : Numero de renovaciones por hora.

V : Volumen del biodigestor (m^3).

P_e : Peso específico del aire a presión constante ($1.293 kg/m^3$).

C_p : Calor específico del aire a presión constante ($0.237 kcal/kg$).

ΔT : Salto térmico. ($^{\circ}C$).

1.12.2. PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN EN EL SUELO.

La dispersión de calor a través del suelo está influenciada por la naturaleza del terreno y por el grado higrométrico. Esencialmente es función de la temperatura superficial y por ello del salto térmico entre el terreno y el ambiente que está por encima de él. Para efectos prácticos se considera el 10% del valor total de las pérdidas por conducción, convección y renovación. [8]

$$Q_s = 10\% (Q_{cc} + Q_{ren}) \dots \dots \dots ec (1.45)$$

1.12.3 PÉRDIDAS POR RADIACIÓN

Se determina mediante la siguiente relación deducida por J.N Walker (1965). [8]

$$Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} S \tau (T_s^4 - T_m^4) \dots \dots \dots \text{ec (1.46)}$$

Donde:

S : superficie de la cubierta (m^2).

τ : Coeficiente de transmisión del material de cubierta.

τ : 0.8 (Polietileno).

T_s, T_m : Temperaturas interior y exterior absolutas.

CAPITULO II

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DEL BIODIGESTOR SOLAR DE FLUJO CONTINUO CILINDRICO

2.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO Y CARACTERÍSTICAS CLIMATOLOGICAS

UBICACIÓN DEL PROYECTO: Comunidad de Cconchacalla Distrito y Provincia de Anta del Departamento del Cusco.

Distrito: Anta, Provincia de Anta a una distancia de 25 Km.del Cusco ubicada en una hermosa planicie caracterizada por ser un potencial agrícola y ganadera que provee de alimentos a la capital de la Region.

ALTITUD: Altitudinal mente el distrito de Anta se encuentra a una altura promedio de 3,340 msnm, sin embargo esta altura puede variar en cada comunidad, en el siguiente cuadro se muestra la altura promedio que se tiene en cada comunidad.

Comunidad	Altitud
Cconchacalla	3,352
Anta	3,345
Chacan	3,483
Piñanccay	3,362
Markjo	3,341
Kehuar	3,406
Mosocllacta	3,324
Chacacurqui	3,335
Occoruro	3,327
Haparquilla	3,328
Pacca	3,346
Yungaqui Grande	3,334
Compone	3,327
Inquilpata	3,329
Ccasacunca	3,781
Mantoclla	3,838
Huerta	3,333

Fuente propia.

Tabla 2.1 Altura promedio de la comunidad de Anta

TEMPERATURA MEDIA ANUAL: 12 °c

HUMEDAD RELATIVA MEDIA ANUAL: 60%

PRECIPITACIÓN ANUAL: 650 mm H₂O

En la provincia se ha encontrado el clima semi seco semi cálido con invierno seco, este tipo de clima se extiende sobre casi el total de la superficie del distrito, Presenta una precipitación anual de 750 a 1,900 mm y una temperatura media anual de 19 a 20 °C. Las precipitaciones con mayor intensidad se dan entre los meses de Diciembre a Marzo, con un periodo seco definido entre los meses de Mayo a Julio. Este tipo climático se distribuye altitudinalmente desde los 1 300 a 2,900 metros de altitud, geográficamente se extiende sobre gran parte del distrito.

La temperatura de la provincia puede variar entre los -4°C y 12°C (en las zonas altas del distrito), con precipitaciones fluviales de 500 mm a 1,200 mm. Las temperaturas más bajas se dan en los meses de Junio y Julio.

IRRADIACIÓN MEDIA DIARIA: $5.20 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{día}$

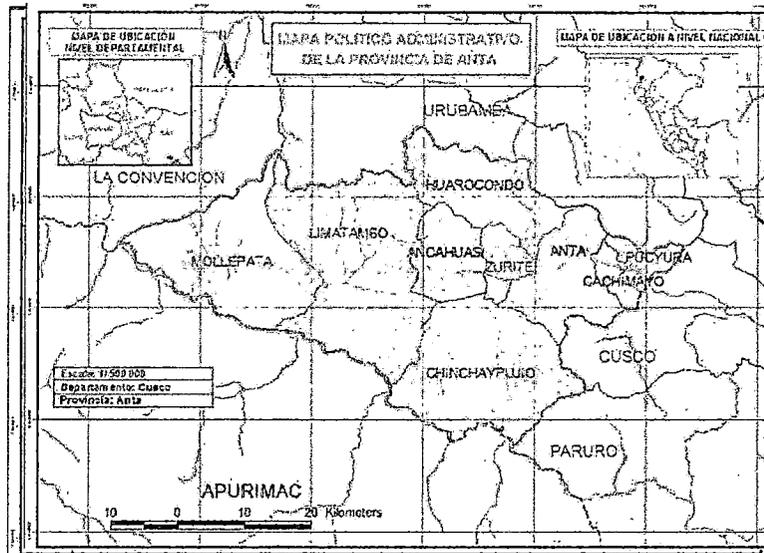


Figura 2.1 Mapa Político Administrativo de la Provincia de Anta

2.2. DISEÑO DEL BIODIGESTOR

Para el diseño del prototipo se utiliza material geomembrana de 0,2 mm de espesor por 8,00 metros de longitud de color gris claro con tapas en ambos extremos donde se instalan tres mangueras para carga y salida de efluentes y purga de biosol.



Fuente propia.

Figura 2.2. Prototipo Geomembrana

2.2.1 INSTALACION DEL BIODIGESTOR

La instalación del biodigestor solar de flujo continuo, se basa en los planos de planta, perfil y estructural que a continuación se muestra.

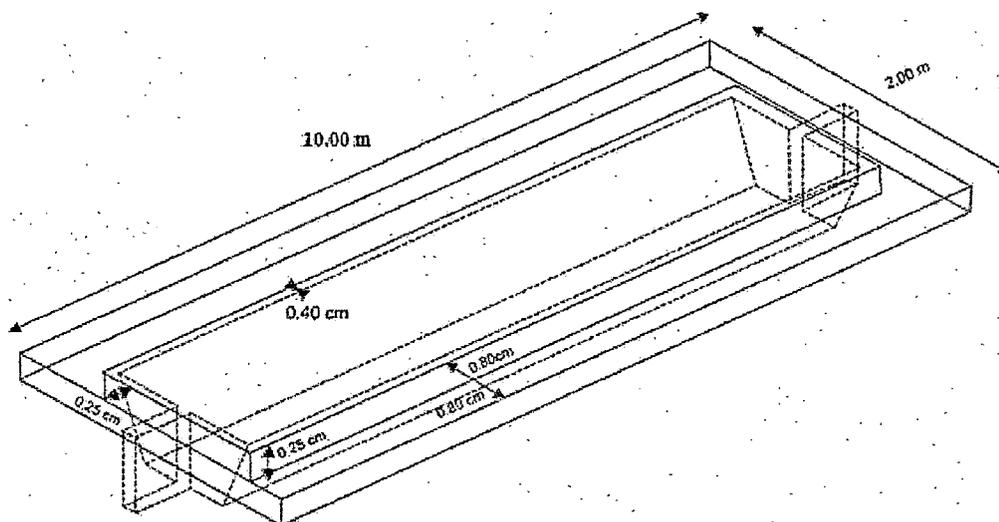
DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR

Digestor tubular o tipo manga de geomembrana PVC, producido en fábrica (CIDELSA / LIMA)

Las dimensiones del digestor son: 8.00 m (largo) X 2.00 m (diámetro) X 0.2 mm (espesor)

El digestor tiene: una tubería entrada de mezcla (4" diámetro), una tubería salida de la mezcla (4" diámetro), una tubería para retirar los sedimentos que se quedan en la parte baja del digestor (con reducción de 4" diámetro a 1" diámetro) y una tubería por donde sale el gas generado (1" diámetro).

PLANO DE PLANTA

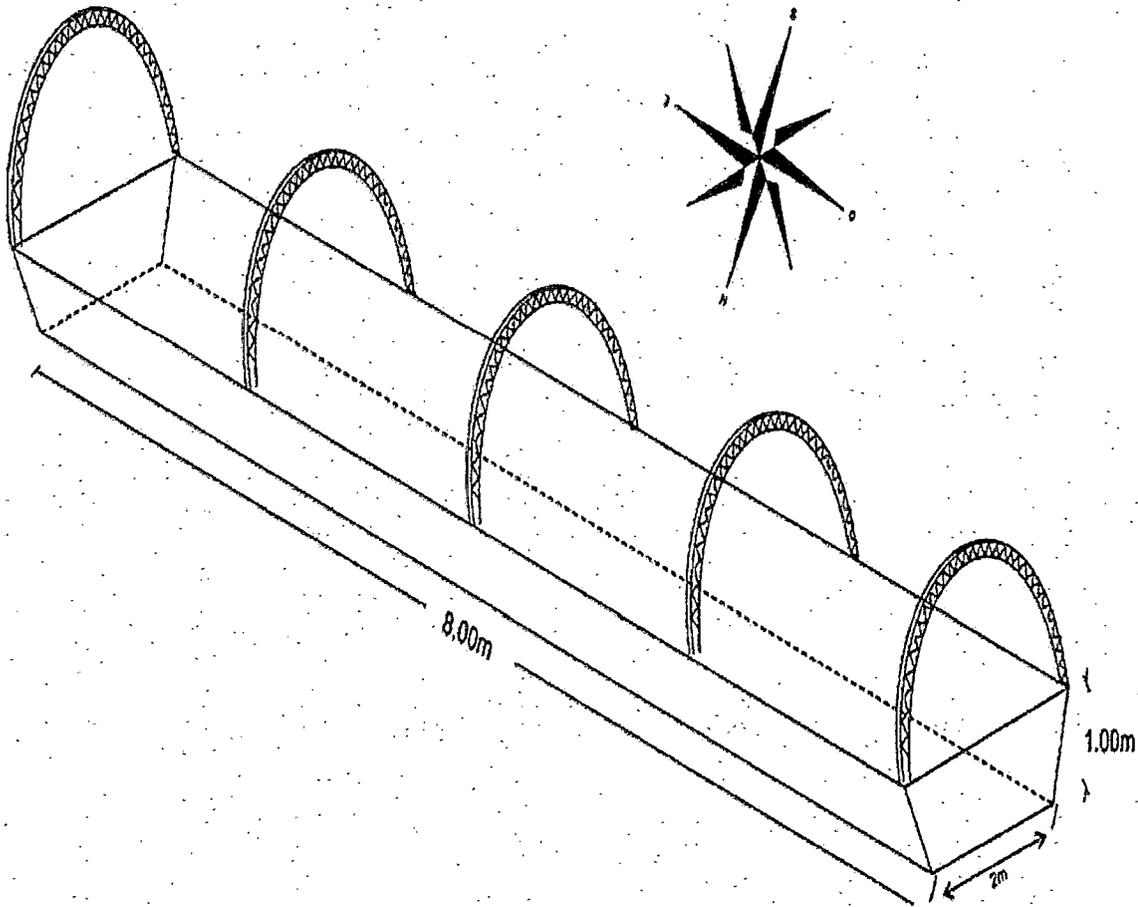


Dimensiones del canal excavado para la cimentación

Fuente propia.

Figura 2.3 Plano de planta (Dimensiones del canal excavado para la cimentación)

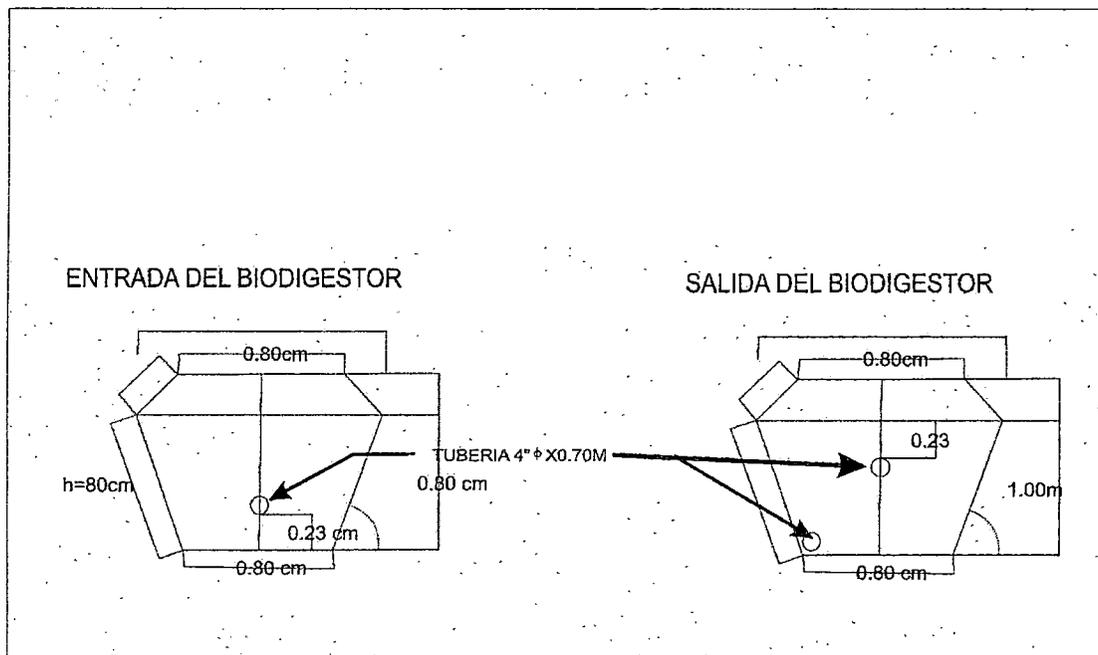
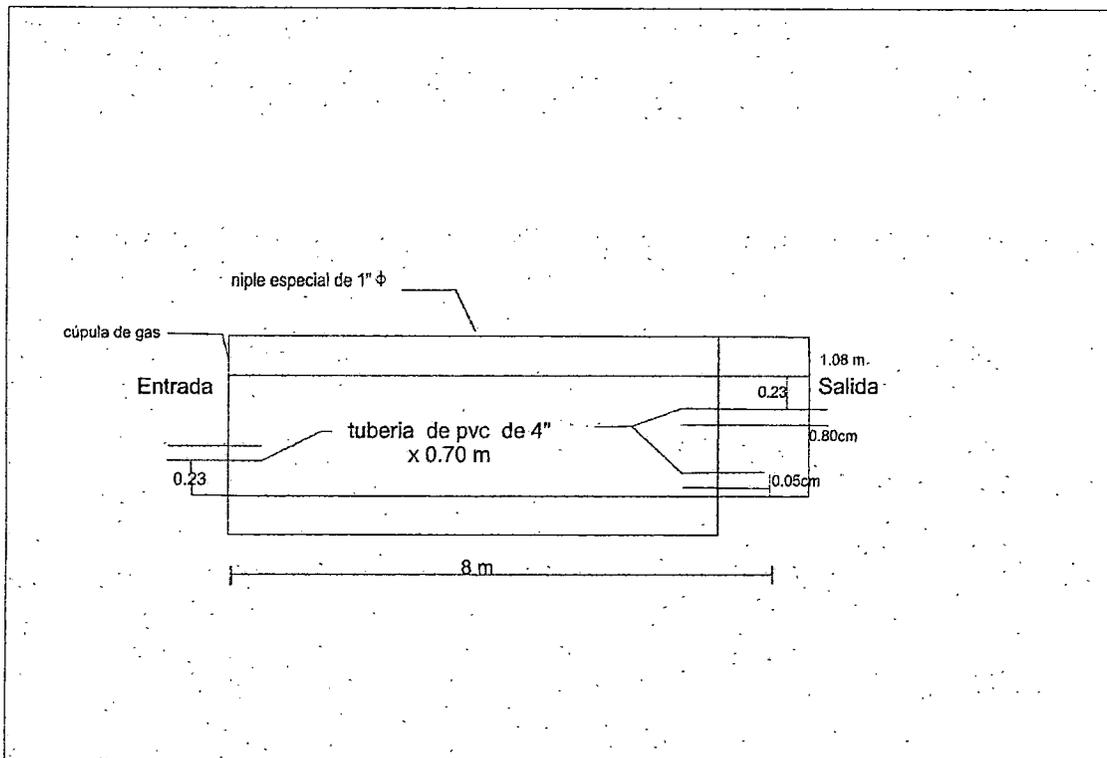
PLANO VISTA FRONTAL Y HORIZONTAL



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
PLANO:	BIODIGESTOR SOLAR "VISTA FRONTAL Y HORIZONTAL"	
BACH:	Abelardo Huaman Guzman Jeanette Quispe Delgado	FECHA: DICIEMBRE 2012
ZONA ANTA	DISTRITO ANTA	DEPARTAMENTO CUSCO
		ESCALA: 1: 25000

Fuente propia.

Figura 2.4. Plano vista frontal y horizontal del Biodigestor

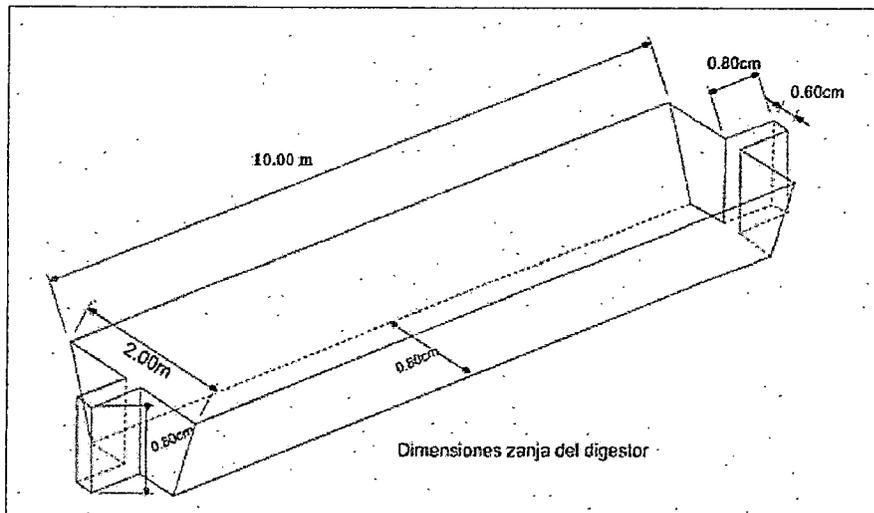


Fuente propia.

Figura 2.6 Plano cajas de entrada y salida del Biodigestor

DIMENSIONES DE LA ZANJA

Las dimensiones de la zanja son de ancho 2.00 m. por 0.80 m. de profundidad y de longitud 10.00 m.



Fuente propia.

Figura 2.7 Dimensiones de la zanja

2.3. PROCESO DE INSTALACION DEL BIODIGESTOR

2.3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZANJA

Se encontró un lugar adecuado, soleado que esté cerca del establo y también de la cocina. Facilitar el transporte del estiércol desde el establo al digestor. Se tiene que controlar que en el sitio escogido no se acumule agua en los días de lluvia.



Fuente propia.

Figura 2.8 Localización de la fosa

2.3.2. PROCESO DE APERTURA DE LA ZANJA

La zanja protegerá al digestor, Es conveniente que las paredes de la zanja tengan forma de ‘chaflán’ (las paredes inclinadas en forma de “v”), evitando de esta manera que se desmoronen las paredes. El piso y las paredes deben ser lisos, sin piedras o raíces que sobresalgan y puedan dañar el plástico. Otra función del muro es proteger al biodigestor. La zanja no debe presentar desnivel, las paredes tienen la función de acumular el calor ganado por el fitotoldo, lo cual ayudará a mantener una temperatura favorable al proceso de fermentación de la materia orgánica.

2.3.3. COLOCADO DE ESTIERCOL, PAJA Y PLASTICO AGROFILM EN LA ZANJA

Terminado la construcción de las paredes de la zanja, se procede a esparcir estiércol (abono de corral ovino) una capa delgada, paja (ichu) y luego se extiende una cubierta de plástico con la finalidad de evitar que la humedad de la tierra pueda afectar el aislamiento que se coloca y proteger la base de la superficie tubular del biodigestor evitando cortes o rupturas del Biodigestor. El plástico expandido tiene la función de reducir las pérdidas de calor ganado por el efecto invernadero y así poder ayudar a elevar la temperatura interna del Biodigestor y favorece la producción de biogás.

Se debe tener en cuenta que a mayor espesor del aislamiento a emplear, menor serán las pérdidas de calor que se tengan por las paredes de la zanja.



Fuente propia.

Figura 2.9 Reduciendo las pérdidas de calor

2.3.4. LLENANDO AIRE AL BIODIGESTOR

Antes de colocar el digestor en la zanja, se procede a llenar de aire al Biodigestor con el fin de poder detectar si presenta algún tipo de fugas y posicionarlo correctamente en la zanja. El ingreso del aire se realiza por la tubería de entrada del digestor



Fuente propia.

Figura 2.10 Suministrado aire al biodigestor

2.3.5. INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR

Estando el Biodigestor lleno de aire, se procede a colocarlo en la zanja, se traslada entre varias personas y teniendo cuidado de que ningún objeto roce. El Biodigestor se posiciona en la zanja, la tubería de salida del gas queda en la parte superior y las tuberías de entrada / salida se posicionan correctamente.



Fuente propia.

Figura 2.11 Posicionamiento del Biodigestor

2.3.6. INSTALACIÓN TUBERÍAS

Después de ubicar el digester y el gasómetro en sus lugares correspondientes y antes de techar el fitotoldo, se instala la tubería que conduce el biogás desde el digester hacia el gasómetro y los quemadores. La tubería a instalar es de PVC pesada con un diámetro de $\frac{1}{2}$ ". Las uniones de las tuberías se realizan con pegamento PVC, ya que debemos evitar las fugas de biogás. La tubería que sale del digester (conduce el biogás) está instalada en forma ascendente. El digester debe estar cerca de la cocina a fin de minimizar el uso de tubería y accesorios. Se instala una válvula de seguridad a la salida del digester.

2.3.7. INSTALACIÓN VÁLVULA DE SEGURIDAD

Tiene por función controlar los excesos de presión en el interior del digester que podrían dañarlo. Los excesos de presión se dan cuando no se usa el gas producido durante el día: el gas se acumula en el digester y el gasómetro se llena por completo, El gas escapa al ambiente cuando la presión del mismo (del gas en el interior del digester) excede al valor establecido, normalmente entre 2 cm y 10 cm de

columna de agua. La válvula de seguridad se fabrica a partir de una botella de plástico, en la que se introduce un pedazo de tubo (proviene de la conducción principal del gas) que queda cubierto de agua hasta el nivel que se crea conveniente (depende de la presión a la que trabajará el digestor).

2.3.8. TECHADO DEL FITOTOLDO

Cargado el digestor se procede a techar el fitotoldo. Para el techado del fitotoldo se emplea plástico para invernaderos (Poliétileno PE Agrofíil), fierros de 3/8, luego esto se cubre con papel periódico con el objetivo de proteger el plástico Poliétileno PE Agrofíil, Es importante que el fitotoldo esté bien cerrado; así se evita que entren corrientes de aire y podamos mantener temperaturas favorables a la producción del biogás.

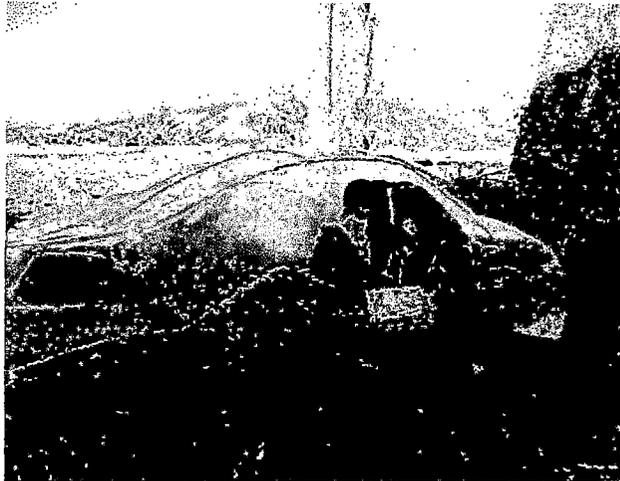


Fuente propia.

Figura 2.12 Techado del fitotoldo

2.3.9. SUMINISTRO DE ESTIERCOL VACUNO AL BIODIGESTOR

Al biodigestor se suministró estiércol de ganado el cual es un bioenergético



Fuente propia.

Figura 2.13 Suministro de estiércol de ganado

2.3.10. AGITACIÓN DE LA MEZCLA

La agitación diaria de la mezcla en fermentación ayuda a la producción de gas, reducir el tiempo de retención y rompe la capa que se forma en su parte superior. La capa de espuma forma una barrera para el gas que se produce y evita que este avance al gasómetro y a los quemadores. La agitación sirve también para mezclar el estiércol fresco y fermentando a fin de inocular el primero, para tener una distribución uniforme de la temperatura y así proporcionar condiciones uniformes dentro del digestor.

2.3.11. UTILIZACIÓN DEL BIOGAS

El biogás producido se emplea normalmente como sustituto de la leña, bosta seca o gas licuado, para cocinar. El poder calorífico del biogás es menor al del butano o propano e implica que se tarda en cocer más tiempo los alimentos que cuando se hace con gas natural o de garrafa. El consumo de una cocina doméstica normal se puede estimar en 130 - 170 litros por hora.



Fuente propia.

Figura 2.14 resultado del biogás producido

2.3.12. POZA PARA RETIRAR EL BIOL

La poza tiene dimensiones de 0.8 m x 0.9 m x 0.8 m; dando un volumen de 576 litros.

En la parte baja de la poza hay una llave de paso de 1" de diámetro, la cual permite retirar el biol que se almacena cuando se requiera.



Fuente propia.

Figura 2.15 Biol que se almacena.

2.3.14. PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE

La carga de mezcla diaria de estiércol con agua que se introduce al biodigestor será digerida por las bacterias y se producirá biogás. Pero por otro lado quedará un líquido ya digerido, que ha producido todo el biogás que podía y que se convierte en un excelente fertilizante. A este fertilizante se le suele llamar de forma general biol.

El fertilizante producido tiene un contenido en nitrógeno de 2 a 3%, de fósforo de 1 a 2%, de potasio entorno al 1% y entorno a un 85% de materia orgánica con un PH de 7.5. Para producir un mejor fertilizante es interesante aumentar los tiempos de retención, de manera que el lodo se descomponga más y sea de mayor calidad y más fácil de asimilar por las plantas.

2.4 DIMENSIONAMIENTO BIODIGESTOR TUBULAR

Para el dimensionamiento del biodigestor tubular se tendrá en cuenta algunas condiciones: [11]

- De los datos obtenidos durante la estancia en la comunidad de Cconchacalla Anta se observa que el tiempo medio de cocina para la familia se decide establecer para los cálculos es entre 04 y 05 horas. Se considera para 05 horas.
- Considerando que para cada hora de cocción se necesita aproximadamente $0.2m^3$ de biogás se puede calcular la necesidad diaria de biogás con la ecuación siguiente.

$$0.2 \frac{m^3}{hcocina} * 4 \frac{hcocina}{día} = 0.8 \frac{m^3 biogas}{día} \dots\dots\dots ec. (2.1)$$

- Considerando la cantidad de sólidos totales (ST.) del estiércol fresco de vacuno es del 16%, la relación entre los sólidos volátiles (SV) y los sólidos Totales (SV/ST) es de 81% y que el potencial del biogás por cada Kg de SV es de $0.27 m^3$ como se muestra en el cuadro.

Ganado	Factor de Producción	Factor General
Cerdo	0.25 - 05	0.39
Vacuno	0.25 - 03	0.27

Tabla 2.2 Factor de producción de biogás (m³) por Kg. De SV. Según procedencia del estiércol

- Se puede obtener la cantidad necesaria de estiércol para la producción requerida de biogás. [11]

$$0.8 \frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ Kg de SV}}{0.27 m^3 \text{ biogas}} * \frac{100 \text{ Kg de ST}}{81 \text{ Kg de SV}} * \frac{100 \text{ Kg de estiércol}}{16 \text{ Kg de ST}} = \frac{22.865}{\text{día}} =$$

$$22.87 \text{ Kg estiércol} \dots\dots\dots \text{ec. (2.2)}$$

$$B = 22.87 \text{ Kg estiércol}$$

Sabemos que para un biodigestor tubular la mezcla de estiércol debe contener una cantidad máxima de 8% se calcula este valor para diferentes relaciones de estiércol – agua para determinar la relación óptima. Para el dimensionamiento ya en el cuadro 2.3 se muestra los cálculos efectuados para una relación en masa es decir 1Kg. De estiércol por 3 Kg de agua. [11]

Esta relación se ha considerado óptima ya que no sobrepasa el valor límite de ST

	ST (%)	SV/ST (%)	Kg/día en la mezcla	ST (%)	Total ST (%)	Densidad ($\frac{Kg}{m^3}$)
Estiércol	16	81	22.87	2.72	4	630
Agua			91.48			

Tabla 2.3 Resumen de cálculos para la mezcla de entrada.

La densidad del agua es igual a 1000 ($\frac{Kg}{m^3}$)

Teniendo la relación estiércol – agua, se pueden calcular los Kg de agua en la mezcla de entrada (A) siguiendo la ecuación (2.3). [11]

A: Kg. De agua en la mezcla

$$A = 22.87 \text{ Kg} * 4 = 91.48 \text{ dm}^3 \text{ de agua} \dots\dots\dots \text{ec. (2.3)}$$

A partir de la cantidad de estiércol se pueden determinar el número de vacas necesarias para la producción del biogás requerido. Se tiene en cuenta que una vaca produce entre 12 y 15 kg de estiércol diario, según un veterinario consultado en una zona próxima a la comunidad. Se toma el valor de 12 kg diarios, considerando la condición más desfavorable. También se considera que las vacas solo están en el corral la mitad del día. Se calcula el número de vacas necesario a partir de la ecuación 2.4. [11]

$$22.87 \frac{\text{Kg estiércol}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ vaca.día}}{12 \text{ Kg estiércol}} * \frac{24 \text{ hdía}}{12 \text{ hcorral}} = 3.8116 = 4 \text{ vacas} \dots\dots\dots \text{ec. (2.4)}$$

Se procede con los cálculos tomando como cantidad de estiércol la producida por 4 vacas, para que los usuarios puedan saber fácilmente la cantidad de excreta a recolectar.

Así pues, se recalculan la cantidad de estiércol y de agua para las 4 vacas utilizando las ecuaciones anteriores. También se transforma la masa de estiércol a volumen mediante la ecuación siguiente tomando una densidad de 630 kg/m^3 . [11]

$$22.87 \text{ kg estiércol}; 22.87 \text{ kg estiércol} * \frac{1000 \text{ dm}^3 \text{ de estiércol}}{630 \text{ Kg estiércol}} = 36.3015 = 36.30 \text{ dm}^3$$

.....ec. (2.5)

Tenemos la cantidad de estiércol que es de: $36.30 \text{ dm}^3 \text{ estiércol}$

Y la cantidad de agua requeridas: $65.06 \text{ dm}^3 \text{ agua}$

Podemos calcular la cantidad de carga diaria.

$$SD = 36.30 \frac{\text{dm}^3 \text{ estiércol}}{\text{día}} + 65.06 \frac{\text{dm}^3 \text{ agua}}{\text{día}} = 101.36 \frac{\text{dm}^3}{\text{día}} = 0.10136 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \dots\dots\dots \text{ec. (2.6)}$$

Dónde: SD: Cantidad de carga diaria.

La temperatura media de trabajo es de unos 30°C, para esta temperatura, corresponde un tiempo de retención aproximado de entre 20 y 30 días, aun así, considerando que a mayor tiempo de retención, mayor es la producción de biogás y que el tiempo de retención adecuado es de 30 días, se establece este valor como el tiempo de retención a utilizar en los cálculos. [11]

A partir de este valor se calcula el volumen de digestión.

$$V_D = 40 \text{ días} * 0.10136 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 4.0544 \text{m}^3$$

V_D : Volumen de digestión.

Considerando que el volumen gaseoso es un tercio del volumen de líquido, se calcula el volumen del reactor.

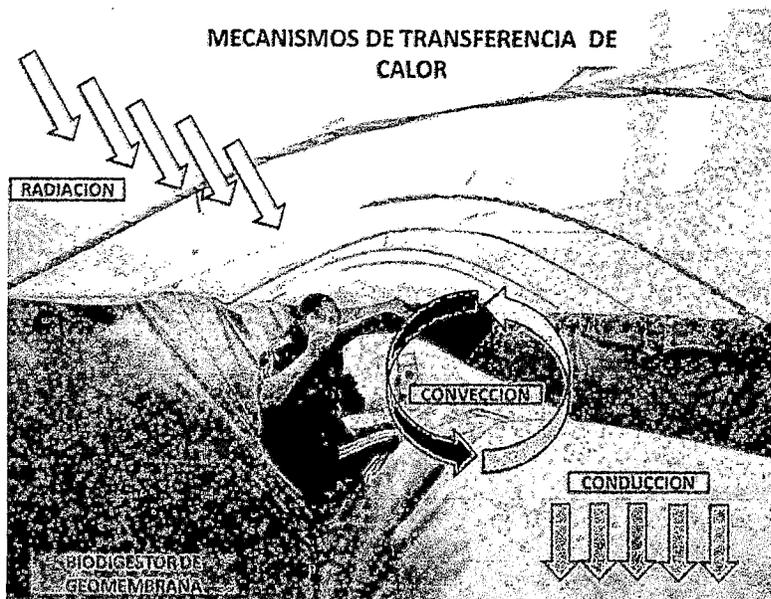
$$V_{Reactor} = 4.0544 \text{ m}^3 + \frac{1}{3} 3,47 \text{m}^3 = 5.211066 \text{m}^3$$

$$V_{Reactor} = 5.21 \text{m}^3$$

2.5. DATOS EXPERIMENTALES

Una vez que se terminó la construcción se procede a tomar los datos experimentales para probar la variación de temperaturas en el Biodigestor Solar se han instalado 12 termocuplas de la cual se tomaron temperaturas del interior, exterior y del suelo la cual se presentan los promedios de los parámetros físicos.

Se tomó las mediciones de las intensidades de las radiaciones solares en el interior y exterior del biodigestor.



Fuente propia.

Figura 2.16 tomando Temperatura interior

2.5.1. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDIDA

Termómetro de mercurio mide la temperatura.

Termocuplas: instrumentos instalados en el suelo y en las paredes del biodigestor para controlar la variación termina en el sistema.

Multímetro : instrumento para medir parámetros físicos.

Radiómetro: permite medir la energía solar y la radiación diaria en la zona.

PH – Metro : determina la acidez, el cual es sumergido el material.

2.5.2. TABLAS DE TEMPERATURAS

En la **Tabla 2.4** se muestran los datos experimentales de las temperaturas tomadas en el mes Junio, en el **ANEXO-1** se muestra las Tablas 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 de los meses Julio, Agosto, Setiembre, Octubre, Noviembre. Donde:

T_m : Temperatura de la superficie del cobertor de polietileno. (°C)

T_s : Temperatura la superficie del biodigestor (°C)

T_a : Temperatura del aire ambiente. (°C)

$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}$, : Temperatura de nodos (°C)

T_{ent} : Temperatura de entrada. (°C)

T_{sal} : Temperatura de salida. (°C)

T_p : Temperatura de la pared. (°C)

Tabla 2.4 Datos experimentales de las temperaturas tomadas en el mes junio.

HORA (min)	T _m °C	T _a °C	T _p °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T _{ent} °C	T _{sal} °C
9:00	17	11,4	13	15	15	16,6	14,8	15,6	14,6	16,4	15,6	14,8	15	12,4	17,4
9:20	16,6	12,4	12	15	16	17	17	15	16	15	15	16	15	13	18
9:40	18	12,8	10,6	15	17	19	17	17	16	15	21	16	15	12,6	19
10:00	18	12,9	12	14	15,6	16,6	16,4	16	15	15	20	16	15	15,2	20,6
10:20	18	13,2	13	14,8	15	16	17	16,8	16	16,2	20	16	16	15,6	20,4
10:40	19,2	13,2	14	14	15	15	16,8	16	15,8	16,4	20	15	16	16,8	21,8
11:00	21,6	13,2	15	14,6	16	16,4	17,4	17,8	18	18,2	20	16,2	17,4	17,6	22,6
11:20	21,6	12,6	14,4	14	15,8	15,8	16	18,4	15,2	16	18	14,6	15,6	18	21
11:40	22,6	12,8	13,2	14	15	17	15	16	15	16	15	16	16	18,2	24,4
12:00	22	13,2	14,4	15,6	16,6	19,2	18,4	17,6	19,4	20,4	18,4	17,6	16,8	20	31
12:20	23,6	12,4	13	15,6	16,4	17,6	17,8	16,2	16,6	18,4	17	16,8	16,8	19,6	30
12:40	23	12,4	14	15	16	15	16	17	17	17	16	17,2	17,4	18,8	28
13:00	23,2	12,4	15	16	15	14	15	16	15	16	15	16	16	17,4	22,6
13:20	22,4	11,4	14,4	15,6	15	14	16,6	15,6	14,4	15	16	15	16	16,8	21,4
13:40	19	11,2	14	15,4	14	14,2	15	16	13	15	14	16	17	16,6	21,2
14:00	21,2	10,8	15	14	14	13	14	15	12	15	16	12	13	14,6	21
14:20	19,4	11,8	12	14	14	15	17	12	15	16	17	14	15	14,8	19,8
14:40	18,6	11,6	13	14	15	16	16	14	15	16	16	15	16	16,8	20
15:00	16,6	11,6	13	14	15	15	15	14	15	15	16	15	16	15	20
Prom	20,08	12,28	13,42	14,72	15,3	15,92	16,22	15,89	15,47	16,21	17,16	15,54	15,84	16,31	22,12

Fuente propia.

2.5.3. TABLAS DE LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR.

En la **Tabla 2.10** se presentan los datos experimentales de la Intensidad de Radiación Solar (interior, exterior) para el mes de Junio, en el **ANEXO-2** se presentan las tablas 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15. para los demás meses mostrando en cada tabla los promedios de las intensidades.

Donde:

I_s : Intensidad de la radiación solar incidente. (W/m^2)

I_{int} : Intensidad de la radiación interior (W/m^2)

I_{ext} : Intensidad de la radiación exterior. (W/m^2)

Tabla 2.10 Datos experimentales de las intensidades tomadas en el mes Junio

HORA (min)	I_s w/m^2	I_{int} w/m^2	I_{ext} w/m^2
9:00	404	141,8	82,4
9:20	434	155	96,4
9:40	453,8	177	105,2
10:00	472,2	191,8	118,8
10:20	485,8	212,6	134,4
10:40	498	254	140,4
11:00	530,8	268	146,4
11:20	554	296,2	152,4
11:40	607,4	315,8	163,2
12:00	644	360	181,8
12:20	649	368	174
12:40	630,4	355,6	158,8
13:00	611,6	322,8	141,2
13:20	594,4	297,6	122,8
13:40	561,6	284	114,2
14:00	536	272,2	97,8
14:20	524,8	256	95
14:40	502	240	84,8
15:00	477,6	208	75,6
Promedio	535,34	261,92	125,56

Fuente propia.

2.5.4. TABLA DE PH DEL BIOL.

En la **Tabla 2.16.** se presentan los datos experimentales del PH del biol.

Hora	PH
09:00	6.5
09:20	6.8
09:40	6.9
10:00	6.9
10:20	6.8
10:40	6.7
11:00	6.9
11:20	6.6
11:40	6.9
12:00	7
12:20	7.2
12:40	7.3
13:00	7.3
13:20	7.1
13:40	7
14:00	6.9
14:20	6.8
14:40	6.7
15:00	6
Promedio	6.86

Fuente propia.

CAPITULO III

ANALISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

3.1 BALANCE ENERGÉTICO DEL BIODIGESTOR

Analizaremos el comportamiento térmico del Biodigestor solar con los datos de temperatura interior, exterior y radiación solar que se tomaron, de ganancia y pérdida de calor en el Biodigestor solar.

3.1.1 PÉRDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR

Utilizando la ecuacion

$$Q_U = Q_{solar} - (Q_{cc} + Q_{rad} + Q_s + Q_{ren}) \quad (kcal/h)$$

3.1.1.1. PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE JUNIO)

- **Perdidas por Conducción - Convección**

$$Q_{cc} = K S \Delta T$$

Donde:

Constante de conductividad del material (Geomenbrana): $K = 0,360 \text{ W/m}^2\text{°K}$

Área de la cubierta: $S = \pi r l = 25,13 \text{ m}^2$

Temperatura de la superficie del biodigestor: T_s

Temperatura de la superficie del cobertor: T_m

$$\Delta T = T_s - T_m = (15,83 - 14,73)\text{°C}$$

$$\Delta T = 1,10\text{°C}$$

Reemplazando en se tiene:

$$Q_{cc} = (0,36 \text{ W/m}^2\text{°K}) \times (25,13 \text{ m}^2) \times (1,10\text{°C})$$

$$Q_{cc} = 9,95 \text{ W}$$

- **Perdidas por Renovación de Aire**

Utilizando la ecuación $Q_{ren} = R V P_e C_p \Delta T$

Numero de Renovaciones por hora: $R = 1$

Volumen del Biodigestor: $V = 10 \text{ m}^3$

Peso especifico del aire a presion constante: $P_e = 1,293 \text{ Kg/m}^3$

Calor especifico del aire a presion constante: $C_p = 0,237 \text{ Kcal/kg}$

$$\Delta T = T_s - T_m = 1,10 \text{ °C}$$

Reemplazando se tiene en la ecuación:

$$Q_{ren} = 1 \times 10 \times 1,293 \times 0,237 \times 1,10\text{°C}$$

$$Q_{ren} = 3,37 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$Q_{ren} = \frac{3,37 \times 4184}{3600}$$

$$Q_{ren} = 3.91 \text{ W}$$

- **Perdidas por Conducción a Travez del Suelo**

Teniendo la ecuación:

$$Q_s = 10\% (Q_{cc} + Q_{ren})$$

$$Q_s = 10\% (9.95 + 3,91)$$

$$Q_s = 1.38 \text{ W}$$

- **Perdidas por Radiación**

Usando la ecuación: $Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} S \tau (T_s^4 - T_m^4)$

Donde:

$$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s} \dots\dots\dots (\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\tau_s = \frac{125,26}{535,34}$$

$$\tau_s = 0,23$$

Coefficiente de transmision del material de *cubierta*(Geomenbrana): $\tau = 0.8$

$$\text{Area total de la cubierta: } S = \pi r l$$

Donde r : *radio del biodigestor.*

l : *longitud del biodigestor.*

$$S = \pi * 1 * 8$$

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

Temperatura interior: $T_s = 15,830 \text{ }^\circ\text{C} \approx 288,98 \text{ }^\circ\text{k}$

$$T_s^4 = 6973826635,921 \text{ }^\circ\text{k}$$

Temperatura exterior: $T_m = 14,73 \text{ °C} \approx 287,88 \text{ °K}$

$$T_m^4 = 6868248121,811 \text{ °K}$$

Reemplazando

$$Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} \times 25,13 \text{ m}^2 \times 0,23 \times (6973826635,921 - 6868248121,811)$$

$$Q_{rad} = 8,06 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{rad} = \frac{8,06 \times 4184}{3600} = 26,85 \text{ W}$$

- **Perdida Total de Calor**

Usando la ecuación:

$$Q_{per} = (Q_{cc} + Q_{ren} + Q_s + Q_{rad})$$

Donde:

Reemplazando

$$Q_{per} = (9,95 + 3,91 + 1,38 + 26,85)$$

$$Q_{per} = 42,9 \text{ W}$$

3.1.1.2. PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE JULIO)

- **Perdidas por Conducción - Convección**

$$Q_{cc} = K S \Delta T$$

Donde

Constante de conductividad del material (Geomembrana): $K = 0,360 \text{ W/m}^2\text{°K}$

Área de la cubierta: $S = \pi r l = 25,13 \text{ m}^2$

Temperatura de la superficie del biodigestor: T_s

Temperatura de la superficie del cobertor: T_m

$$\Delta T = T_s - T_m = (17,14 - 15,13)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 2,01^\circ\text{C}$$

Reemplazando en se tiene:

$$Q_{cc} = (0,36 \text{ W/m}^2\text{K}) \times (25,13 \text{ m}^2) \times (2,01^\circ\text{C})$$

$$Q_{cc} = 18,18 \text{ W}$$

- **Perdidas por Renovación de Aire**

Utilizando la ecuación $Q_{ren} = R V P_e C_p \Delta T$

Numero de Renovaciones por hora: $R = 1$

Volumen del Biodigestor: $V = 10 \text{ m}^3$

Peso especifico del aire a presion constante: $P_e = 1,293 \text{ Kg/m}^3$

Calor especifico del aire a presion constante: $C_p = 0,237 \text{ Kcal/kg}$

$$\Delta T = T_s - T_m = 2,01^\circ\text{C}$$

Reemplazando se tiene en la ecuación:

$$Q_{ren} = 1 \times 10 \times 1,293 \times 0,237 \times 2,01^\circ\text{C}$$

$$Q_{ren} = 6,16 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$Q_{ren} = \frac{6,16 \times 4184}{3600}$$

$$Q_{ren} = 7,16 \text{ W}$$

- **Perdidas por Conduccion a Travez del Suelo**

Teniendo la ecuación:

$$Q_s = 10\% (Q_{cc} + Q_{ren})$$

$$Q_s = 10\% (18,18 + 7,16)$$

$$Q_s = 2.53 \text{ W}$$

- **Perdidas por Radiación**

Usando la ecuación: $Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} S \tau (T_s^4 - T_m^4)$

Donde:

$$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s} \dots\dots\dots (\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\tau_s = \frac{127,93}{540,51}$$

$$\tau_s = 0,24$$

Coefficiente de transmision del material de *cubierta* (Geomenbrana): $\tau = 0.24$

$$\text{Area total de la cubierta: } S = \pi r l$$

Donde r : *radio del biodigestor.*

l : *longitud del biodigestor.*

$$S = \pi * 1 * 8$$

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

Temperatura interior: $T_s = 17,14 \text{ }^\circ\text{C} \approx 290,29^\circ\text{K}$

$$T_s^4 = 7101143705^\circ\text{K}^4$$

Temperatura exterior: $T_m = 15,13^\circ\text{C} \approx 288,28^\circ\text{K}$

$$T_m^4 = 6906500595^\circ\text{K}^4$$

Reemplazando

$$Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} \times 25,13 \text{ m}^2 \times 0,24 \times (7101143705 - 6906500595)$$

$$Q_{rad} = 51,65 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{rad} = \frac{15,50 \times 4184}{3600} = 60,03 \text{ W}$$

- **Perdida Total de Calor**

Usando la ecuación:

$$Q_{per} = (Q_{cc} + Q_{ren} + Q_s + Q_{rad})$$

Donde:

Reemplazando

$$Q_{per} = (18.18 + 7,16 + 249.65 + 60,03)$$

$$Q_{per} = 335.02 \text{ W}$$

3.1.1.3. PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE AGOSTO)

- **Perdidas por Conducción - Convección**

$$Q_{cc} = K S \Delta T$$

Donde

Constante de conductividad del material (Geomembrana): $K = 0,360 \text{ W/m}^2\text{°K}$

Área de la cubierta: $S = \pi r l = 25,13 \text{ m}^2$

Temperatura de la superficie del biodigestor: T_s

Temperatura de la superficie del cobertor: T_m

$$\Delta T = T_s - T_m = (19.88 - 15,26)\text{°C}$$

$$\Delta T = 4,62\text{°C}$$

Reemplazando se tiene:

$$Q_{cc} = (0,36 \text{ W/m}^2\text{°K}) \times (25,13 \text{ m}^2) \times (4,62\text{°C})$$

$$Q_{cc} = 41.80 \text{ W}$$

- **Perdidas por Renovación de Aire**

Utilizando la ecuación $Q_{ren} = R V P_e C_p \Delta T$

Numero de Renovaciones por hora: $R = 1$

Volumen del Biodigestor: $V = 10 \text{ m}^3$

Peso específico del aire a presión constante: $P_e = 1,293 \text{ Kg/m}^3$

Calor específico del aire a presión constante: $C_p = 0,237 \text{ Kcal/kg}$

$$\Delta T = T_s - T_m = 4,62 \text{ }^\circ\text{C}$$

Reemplazando se tiene en la ecuación:

$$Q_{ren} = 1 \times 10 \times 1,293 \times 0,237 \times 4,62^\circ\text{C}$$

$$Q_{ren} = 14,16 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$Q_{ren} = \frac{14,16 \times 4184}{3600}$$

$$Q_{ren} = 16,45 \text{ W}$$

- **Perdidas por Conduccion a Travez del Suelo**

Teniendo la ecuación:

$$Q_s = 10\% (Q_{cc} + Q_{ren})$$

$$Q_s = 10\% (41,80 + 16,45)$$

$$Q_s = 58,25 \text{ W}$$

- **Perdidas por Radiación**

Usando la ecuación: $Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} S \tau_s (T_s^4 - T_m^4)$

Donde:

$$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s} \dots\dots\dots (\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\tau_s = \frac{160,38}{545,65}$$

$$\tau_s = 0,29$$

Coefficiente de transmisión del material de *cubierta*(Geomenbrana): $\tau = 0.29$

$$\text{Area total de la cubierta: } S = \pi r l$$

Donde

r : radio del biodigestor.

l: longitud del biodigestor.

$$S = \pi * 1 * 8$$

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

Temperatura interior: $T_s = 19,88 \text{ }^\circ\text{C} \approx 293,03^\circ\text{K}$

$$T_s^4 = 7373069715^\circ\text{K}^4$$

Temperatura exterior: $T_m = 15,26^\circ\text{C} \approx 288,41^\circ\text{K}$

$$T_m^4 = 6918966983^\circ\text{K}^4$$

Reemplazando

$$Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} \times 25,13 \text{ m}^2 \times 0,24 \times (7373069715 - 6918966983)$$

$$Q_{rad} = 120,51 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{rad} = \frac{120,51 \times 4184}{3600} = 138,85 \text{ W}$$

- **Perdida Total de Calor**

Usando la ecuación:

$$Q_{per} = (Q_{cc} + Q_{ren} + Q_s + Q_{rad})$$

Donde:

Reemplazando

$$Q_{per} = (41.80 + 16,45 + 58,25 + 138,85)$$

$$Q_{per} = 255.35 \text{ W}$$

3.1.1.4. PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE SETIEMBRE)

- **Perdidas por Conducción - Convección**

$$Q_{cc} = K S \Delta T$$

Donde

Constante de conductividad del material (Geomembrana): $K = 0,360 \text{ W/m}^2\text{°K}$

Área de la cubierta: $S = \pi r l = 25,13 \text{ m}^2$

Temperatura de la superficie del biodigestor: T_s

Temperatura de la superficie del cobertor: T_m

$$\Delta T = T_s - T_m = (33,99 - 25,74)\text{°C}$$

$$\Delta T = 8,25\text{°C}$$

Reemplazando se tiene:

$$Q_{cc} = (0,36 \text{ W/m}^2\text{°K}) \times (25,13 \text{ m}^2) \times (8,25\text{°C})$$

$$Q_{cc} = 74.64 \text{ W}$$

- **Perdidas por Renovación de Aire**

Utilizando la ecuación $Q_{ren} = R V P_e C_p \Delta T$

Numero de Renovaciones por hora: $R = 1$

Volumen del Biodigestor: $V = 10 \text{ m}^3$

Peso específico del aire a presión constante: $P_e = 1,293 \text{ Kg/m}^3$

Calor específico del aire a presión constante: $C_p = 0,237 \text{ Kcal/kg}$

$$\Delta T = T_s - T_m = 8,25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Reemplazando se tiene en la ecuación:

$$Q_{ren} = 1 \times 10 \times 1,293 \times 0,237 \times 8,25^\circ\text{C}$$

$$Q_{ren} = 25,28 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$Q_{ren} = \frac{25,28 \times 4184}{3600}$$

$$Q_{ren} = 29,38 \text{ W}$$

- **Perdidas por Conduccion a Travez del Suelo**

Teniendo la ecuación:

$$Q_s = 10\% (Q_{cc} + Q_{ren})$$

$$Q_s = 10\% (74,64 + 29,38)$$

$$Q_s = 10,40 \text{ W}$$

- **Perdidas por Radiación**

Usando la ecuación: $Q_{rad} = 4,4 \times 10^{-8} S \tau_s (T_s^4 - T_m^4)$

Donde:

$$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s} \dots\dots\dots (\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\tau_s = \frac{211,63}{591,79}$$

$$\tau_s = 0,36$$

Coefficiente de transmisión del material de cubierta (Geomembrana): $\tau_s = 0,36$

$$\text{Área total de la cubierta: } S = \pi r l$$

Donde r : radio del biodigestor.

l : longitud del biodigestor.

$$S = \pi * 1 * 8$$

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

Temperatura interior: $T_s = 33,99 \text{ }^\circ\text{C} \approx 307,14 \text{ }^\circ\text{K}$

$$T_s^4 = 8899088376 \text{ }^\circ\text{K}^4$$

Temperatura exterior: $T_m = 25,74 \text{ }^\circ\text{C} \approx 298,89 \text{ }^\circ\text{K}$

$$T_m^4 = 7980783694 \text{ }^\circ\text{K}^4$$

Reemplazando

$$Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} \times 25,13 \text{ m}^2 \times 0,36 \times (8899088376 - 7980783694)$$

$$Q_{rad} = 365,54 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{rad} = \frac{365,54 \times 4184}{3600} = 421,18 \text{ W}$$

- **Perdida Total de Calor**

Usando la ecuación:

$$Q_{per} = (Q_{cc} + Q_{ren} + Q_s + Q_{rad})$$

Donde:

Reemplazando

$$Q_{per} = (74,64 + 29,38 + 10,40 + 421,18)$$

$$Q_{per} = 535,6 \text{ W}$$

3.1.1.5. PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE OCTUBRE)

- **Perdidas por Conducción - Convección**

$$Q_{cc} = K S \Delta T$$

Donde

Constante de conductividad del material (Geomenbrana): $K = 0,360 \text{ W/m}^2\text{°K}$

Área de la cubierta: $S = \pi r l = 25,13 \text{ m}^2$

Temperatura de la superficie del biodigestor: T_s

Temperatura de la superficie del cobertor: T_m

$$\Delta T = T_s - T_m = (38,27 - 27,21)\text{°C}$$

$$\Delta T = 11,06\text{°C}$$

Reemplazando se tiene:

$$Q_{cc} = (0,36 \text{ W/m}^2\text{°K}) \times (25,13 \text{ m}^2) \times (11,06\text{°C})$$

$$Q_{cc} = 100,06 \text{ W}$$

- **Perdidas por Renovación de Aire**

Utilizando la ecuación $Q_{ren} = R V P_e C_p \Delta T$

Numero de Renovaciones por hora: $R = 1$

Volumen del Biodigestor: $V = 10 \text{ m}^3$

Peso especifico del aire a presion constante: $P_e = 1,293 \text{ Kg/m}^3$

Calor especifico del aire a presion constante: $C_p = 0,237 \text{ Kcal/kg}$

$$\Delta T = T_s - T_m = 11,06 \text{ °C}$$

Reemplazando se tiene en la ecuación:

$$Q_{ren} = 1 \times 10 \times 1,293 \times 0,237 \times 11,06^\circ\text{C}$$

$$Q_{ren} = 33,89 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$Q_{ren} = \frac{25,28 \times 4184}{3600}$$

$$Q_{ren} = 39,39 \text{ W}$$

- **Perdidas por Conduccion a Travez del Suelo**

Teniendo la ecuación:

$$Q_s = 10\% (Q_{cc} + Q_{ren})$$

$$Q_s = 10\% (100,06 + 39,39)$$

$$Q_s = 13,95 \text{ W}$$

- **Perdidas por Radiación**

Usando la ecuación: $Q_{rad} = 4,4 \times 10^{-8} S \tau_s (T_s^4 - T_m^4)$

Donde:

I_s : Intensidad de la radiación incidente

$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s}$ (Transmitancia a la Radiación Solar).

$$\tau_s = \frac{218,92}{630,24}$$

$$\tau_s = 0,35$$

Coficiente de transmision del material de *cubierta*(Geomenbrana): $\tau_s = 0,35$

Area total de la cubierta: $S = \pi r l$

Donde

r : radio del biodigestor.

l: longitud del biodigestor.

$$S = \pi * 1 * 8$$

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

Temperatura interior: $T_s = 38,27 \text{ }^\circ\text{C} \approx 311,42 \text{ }^\circ\text{K}$

$$T_s^4 = 9405589091 \text{ }^\circ\text{K}^4$$

Temperatura exterior: $T_m = 27,21 \text{ }^\circ\text{C} \approx 300,36 \text{ }^\circ\text{K}$

$$T_m^4 = 8138950040 \text{ }^\circ\text{K}^4$$

Reemplazando

$$Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} \times 25,13 \text{ m}^2 \times 0,35 \times (9405589091 - 8138950040)$$

$$Q_{rad} = 490,19 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{rad} = \frac{490,19 \times 4184}{3600} = 569,71 \text{ W}$$

- **Perdida Total de Calor**

Usando la ecuación:

$$Q_{per} = (Q_{cc} + Q_{ren} + Q_s + Q_{rad})$$

Donde:

Reemplazando

$$Q_{per} = (100,06 + 39,39 + 13,95 + 569,71)$$

$$Q_{per} = 723.11 \text{ W}$$

3.1.1.6. PERDIDAS DE CALOR EN EL BIODIGESTOR (MES DE NOVIEMBRE)

- **Perdidas por Conducción - Convección**

$$Q_{cc} = K S \Delta T$$

Donde

Constante de conductividad del material (Geomenbrana): $K = 0,360 \text{ W/m}^2\text{°K}$

Área de la cubierta: $S = \pi r l = 25,13 \text{ m}^2$

Temperatura de la superficie del biodigestor: T_s

Temperatura de la superficie del cobertor: T_m

$$\Delta T = T_s - T_m = (41,95 - 26,55)\text{°C}$$

$$\Delta T = 15,4\text{°C}$$

Reemplazando en se tiene:

$$Q_{cc} = (0,36 \text{ W/m}^2\text{°K}) \times (25,13 \text{ m}^2) \times (15,4\text{°C})$$

$$Q_{cc} = 139,32 \text{ W}$$

- **Perdidas por Renovación de Aire**

Utilizando la ecuación $Q_{ren} = R V P_e C_p \Delta T$

Numero de Renovaciones por hora: $R = 1$

Volumen del Biodigestor: $V = 10 \text{ m}^3$

Peso especifico del aire a presion constante: $P_e = 1,293 \text{ Kg/m}^3$

Calor especifico del aire a presion constante: $C_p = 0,237 \text{ Kcal/kg}$

$$\Delta T = T_s - T_m = 15,4 \text{ °C}$$

Reemplazando se tiene en la ecuación:

$$Q_{ren} = 1 \times 10 \times 1,293 \times 0,237 \times 15,04^\circ\text{C}$$

$$Q_{ren} = 46,09 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$Q_{ren} = \frac{46,09 \times 4184}{3600}$$

$$Q_{ren} = 53,10 \text{ W}$$

- **Perdidas por Conduccion a Travez del Suelo**

Teniendo la ecuación:

$$Q_s = 10\% (Q_{cc} + Q_{ren})$$

$$Q_s = 10\% (139,32 + 53,10)$$

$$Q_s = 19,24 \text{ W}$$

- **Perdidas por Radiación**

Usando la ecuación: $Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} S \tau_s (T_s^4 - T_m^4)$

Donde:

$$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s} \dots\dots\dots(\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\tau_s = \frac{364,37}{652,05}$$

$$\tau_s = 0,56$$

Coefficiente de transmisión del material de cubierta (Geomembrana): $\tau_s = 0,56$

$$\text{Area total de la cubierta: } S = \pi r l$$

Donde r : radio del biodigestor.

l : longitud del biodigestor.

$$S = \pi * 1 * 8$$

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

Temperatura interior: $T_s = 41,95 \text{ }^\circ\text{C} \approx 315,1^\circ\text{K}$

$$T_s^4 = 9858108930^\circ\text{K}^4$$

Temperatura exterior: $T_m = 26,55^\circ\text{C} \approx 299,7^\circ\text{K}$

$$T_m^4 = 8067648568^\circ\text{K}^4$$

Reemplazando

$$Q_{rad} = 4.4 \times 10^{-8} \times 25,13 \text{ m}^2 \times 0,35 \times (9858108930 - 8067648568)$$

$$Q_{rad} = 692,91 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{rad} = \frac{692,91 \times 4184}{3600} = 805,32 \text{ W}$$

- **Perdida Total de Calor**

Usando la ecuación:

$$Q_{per} = (Q_{cc} + Q_{ren} + Q_s + Q_{rad})$$

Donde:

Reemplazando

$$Q_{per} = (139,32 + 53,10 + 19,24 + 805,32)$$

$$Q_{per} = 1016,98 \text{ W}$$

Meses	Q _{cc} (W)
Junio	9,95
Julio	18,18
Agosto	41,80
Setiembre	74,64
Octubre	100,06
Noviembre	139,32

Fuente propia.

Tabla 3.1. Perdidas de calor por conduccion- convección

Meses	Q _{ren} (W)
Junio	3.91
Julio	7.16
Agosto	16.45
Setiembre	29.38
Octubre	39.39
Noviembre	53.1

Fuente propia.

Tabla 3.2. Perdidas por renovacion de aire.

Meses	Q _s (W)
Junio	1,38
Julio	2,53
Agosto	58,25
Setiembre	10,40
Octubre	13,95
Noviembre	19,24

Fuente propia.

Tabla 3.3. Perdidas por conduccion atravez del suelo.

Meses	Q _{rad} (W)
Junio	26,85
Julio	60,03
Agosto	138,85
Setiembre	421,18
Octubre	569,71
Noviembre	805,32

Fuente propia.

Tabla 3.4. Perdidas por radiacion.

Meses	Q_{per} (W)
Junio	42,09
Julio	335,02
Agosto	255,35
Setiembre	535,6
Octubre	723,11
Noviembre	1016,96

Fuente propia.
Tabla 3.5. Perdidas total de calor

Meses	$Q_{abs}(W)$
Junio	2 661,16
Julio	3231,49
Agosto	3466,21
Setiembre	4016,02
Octubre	4316,49
Noviembre	8531

Fuente propia.
Tabla 3.6. Calor absorbido por el biodigestor

Meses	$Q_u(W)$
Junio	2619,07
Julio	2896,47
Agosto	3210,86
Setiembre	3480,42
Octubre	3593,38
Noviembre	7514,04

Fuente propia.
Tabla 3.7. Calor util en el biodigestor

3.2. CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR.

3.2.1. Calor absorbido por el biodigestor (Mes de Junio)

Utilizando la $Q_{abs} = SI(\tau_s \epsilon_s)$

Donde:

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

I : Intensidad de la radiacion solar incidente W/m^2

$$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s} \dots\dots\dots(\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\varepsilon_s = 1 - (r_s - \tau_s) \dots\dots (\text{Absortancia a la Radiación Solar})$$

$$r_s = \frac{I_{int}}{I_s} \dots\dots\dots(\text{Reflectancia a la Radiación Solar}).$$

$$r_s = \frac{261,92}{535,34} = 0,49$$

$$\varepsilon_s = 1 - (r_s - \tau_s) = 1 - (0,49 - 0,23) = 0,74$$

$$Q_{abs} = 25,13 \times 535,34(0,23 \times 0,74) = 2289,72 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{abs} = \frac{2289,72 \times 4184}{3600} = 2661,16W.$$

3.2.2. Calor absorbido por el biodigestor (mes de Julio)

Utilizando la $Q_{abs} = SI(\tau_s \varepsilon_s)$

Donde:

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

I: Intensidad de la radiación solar incidente W/m^2

$$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s} \dots\dots\dots(\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\varepsilon_s = 1 - (r_s - \tau_s) \dots\dots (\text{Absortancia a la Radiación Solar})$$

$$r_s = \frac{I_{int}}{I_s} \dots\dots\dots(\text{Reflectancia a la Radiación Solar}).$$

$$r_s = \frac{180.45}{540.51} = 0.33$$

$$\varepsilon_s = 1 - (r_s - \tau_s) = 1 - (0.33 - 0.23) = 0.89$$

$$Q_{abs} = 25,13 \times 540.51(0,23 \times 0,89) = 2780,44 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{abs} = \frac{2780,44 \times 4184}{3600} = 3231,49 \text{ W.}$$

3.2.3 Calor absorbido por el biodigestor (mes de Agosto)

Utilizando la $Q_{abs} = SI(\tau_s \varepsilon_s)$

Donde:

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

I : Intensidad de la radiación solar incidente W/m^2

$$\tau_s = \frac{I_{ext}}{I_s} \dots\dots\dots(\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\varepsilon_s = 1 - (r_s - \tau_s) \dots\dots (\text{Absortancia a la Radiación Solar})$$

$$r_s = \frac{I_{int}}{I_s} \dots\dots\dots(\text{Reflectancia a la Radiación Solar}).$$

$$r_s = \frac{293,84}{545.65} = 0.54$$

$$\varepsilon_s = 1 - (r_s - \tau_s) = 1 - (0.54 - 0.29) = 0.75$$

$$Q_{abs} = 25,13 \times 545,65(0,29 \times 0,75) = 2982,40 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{abs} = \frac{2982,40 \times 4184}{3600} = 3466,21 \text{ W.}$$

3.2.4. Calor absorbido por el biodigestor (mes de Setiembre)

Utilizando la $Q_{abs} = SI(\tau_S \varepsilon_S)$

Donde:

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

I : Intensidad de la radiación solar incidente W/m^2

$$\tau_S = \frac{I_{ext}}{I_S} \dots\dots\dots (\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\varepsilon_S = 1 - (r_S - \tau_S) \dots\dots (\text{Absortancia a la Radiación Solar})$$

$$r_S = \frac{I_{int}}{I_S} \dots\dots\dots (\text{Reflectancia a la Radiación Solar}).$$

$$r_S = \frac{390,03}{591,79} = 0,66$$

$$\varepsilon_S = 1 - (r_S - \tau_S) = 1 - (0,66 - 0,36) = 0,7$$

$$Q_{abs} = 25,13 \times 545,65(0,36 \times 0,7) = 3455,47 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{abs} = \frac{3455,47 \times 4184}{3600} = 4016,02 \text{ W.}$$

3.2.5. Calor absorbido por el biodigestor (mes de Octubre)

Utilizando la $Q_{abs} = SI(\tau_S \epsilon_S)$

Donde:

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

I : Intensidad de la radiación solar incidente W/m^2

$$\tau_S = \frac{I_{ext}}{I_S} \dots\dots\dots(\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\epsilon_S = 1 - (r_S - \tau_S) \dots\dots (\text{Absortancia a la Radiación Solar})$$

$$r_S = \frac{I_{int}}{I_S} \dots\dots\dots(\text{Reflectancia a la Radiación Solar}).$$

$$r_S = \frac{428,61}{630,24} = 0,68$$

$$\epsilon_S = 1 - (r_S - \tau_S) = 1 - (0,68 - 0,35) = 0,67$$

$$Q_{abs} = 25,13 \times 630,24(0,35 \times 0,67) = 3713,99 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{abs} = \frac{3713,99 \times 4184}{3600} = 4316,49 \text{ W.}$$

3.2.6. Calor absorbido por el biodigestor (mes de Noviembre)

Utilizando la $Q_{abs} = SI(\tau_S \epsilon_S)$

Donde:

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

I : Intensidad de la radiación solar incidente W/m^2

$$\tau_S = \frac{I_{ext}}{I_S} \dots\dots\dots(\text{Transmitancia a la Radiación Solar}).$$

$$\varepsilon_s = 1 - (r_s - \tau_s) \dots\dots (\text{Absortancia a la Radiación Solar})$$

$$r_s = \frac{I_{int}}{I_s} \dots\dots\dots (\text{Reflectancia a la Radiación Solar}).$$

$$r_s = \frac{498,45}{652,05} = 0,76$$

$$\varepsilon_s = 1 - (r_s - \tau_s) = 1 - (0,76 - 0,56) = 0,8$$

$$Q_{abs} = 25,13 \times 652,05(0,56 \times 0,8) = 7340,9 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{abs} = \frac{7340,9 \times 4184}{3600} = 8531W.$$

3.3. CALOR ÚTIL EN EL BIODIGESTOR.

Utilizando la ecuación

$$Q_{abs} = Q_u + Q_{per}$$

$$Q_u = Q_{abs} - Q_{per}$$

3.3.1. Calor útil en el biodigestor (mes de Junio)

Reemplazando valores en la ecuación tenemos:

$$Q_u = 2661,16 - 42,09 = 2619,07 W.$$

3.3.2. Calor útil en el biodigestor (mes de Julio)

Reemplazando valores en la ecuación tenemos:

$$Q_u = 3231,49 - 335,02 = 2896,47 \text{ W.}$$

3.3.3. Calor util en el biodigestor (mes de Agosto)

Reemplazando valores en la ecuación tenemos:

$$Q_u = 3466,21 - 255,35 = 3210,86 \text{ W.}$$

3.3.4. Calor util en el biodigestor (mes de Setiembre)

Reemplazando valores en la ecuación tenemos:

$$Q_u = 4016,02 - 535,6 = 3480,42 \text{ W.}$$

3.3.5. Calor util en el biodigestor (mes de Octubre)

Reemplazando valores en la ecuación tenemos:

$$Q_u = 4316,49 - 723,11 = 3593,38 \text{ W.}$$

3.3.6. Calor util en el biodigestor (mes de Noviembre)

Reemplazando valores en la ecuación tenemos:

$$Q_u = 8531 - 1016,96 = 7514,04 \text{ W.}$$

3.4. DETERMINACION DEL FLUJO DEL CALOR.

3.4.1. FRONTERA EN LA SUPERFICIE DEL BIODIGESTOR.

3.4.1.1. FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN.

Utilizando la ecuación.

$$\dot{q}_{cond} = - \frac{T_m - T_s}{\frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi Lk}}$$

$$k_{cond} = 0.36 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

$$r_e = \text{radio exterior} = 1,25 \text{ m.}$$

$$r_i = \text{radio interior} = 1.00 \text{ m.}$$

$$L = \text{Longitud caracteristica} = 8 \text{ m.}$$

- Mes de Junio.

$$\dot{q}_{cond} = - \frac{14,73 - 15,83}{\frac{\ln(1,25/1)}{2\pi \times 8 \times 0,36}} = 89,43 \text{ W/m}^2$$

- Mes de Julio.

$$\dot{q}_{cond} = - \frac{15,13 - 17,14}{\frac{\ln(1,25/1)}{2\pi \times 8 \times 0,36}} = 163,41 \text{ W/m}^2$$

- Mes de Agosto.

$$\dot{q}_{cond} = - \frac{15,26 - 19,88}{\frac{\ln(1,25/1)}{2\pi \times 8 \times 0,36}} = 375,60 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Setiembre**

$$\dot{q}_{cond} = - \frac{25,74 - 33,99}{\frac{\ln(1,25/1)}{2\pi \times 8 \times 0,36}} = 670,73 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Octubre**

$$\dot{q}_{cond} = - \frac{27,21 - 38,27}{\frac{\ln(1,25/1)}{2\pi \times 8 \times 0,36}} = 899,19 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Noviembre**

$$\dot{q}_{cond} = - \frac{26,55 - 41,95}{\frac{\ln(1,25/1)}{2\pi \times 8 \times 0,36}} = 1252,03 \text{ W/m}^2$$

3.5. FLUJO DE CALOR POR CONVECCIÓN.

Utilizando la ecuación

$$\dot{q}_{conv} = h_{int} \frac{(T_{sal} - T_{pared}) - (T_{pared} - T_{ent})}{\ln \frac{(T_{sal} - T_{pared})}{(T_{pared} - T_{ent})}}$$

h = coeficiente de transferencia de calor convectivo

$S = 25,13 \text{ m}^2$, area de la superficie del biodigestor solar

$N_u = 2.8$, numero adimensional (Nusselt) de la superficie del biodigestor

$k = 0.360 \text{ W/m}^2\text{°K}$, conductividad termica

$L = 8 \text{ m}$ Longitud característica

Calculando el coeficiente conectivo (interior):

$$h_{int} = \frac{N_u \times k}{L} = \frac{2.8 \times 0.360}{8} = 0.13 \text{ Wm}^2/\text{°K}$$

$$h_i = h_{int} \times S$$

$$h_i = 0.13 \times 25,13 = 3,17$$

- **Mes de Junio.**

$$\dot{q}_{conv} = 0,13 \frac{(22,12 - 16,31) - (16,31 - 13,42)}{\ln \frac{(22,12 - 16,31)}{(16,31 - 13,42)}} = 0,54 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Julio.**

$$\dot{q}_{conv} = 0,13 \frac{(25 - 19,63) - (19,63 - 13,80)}{\ln \frac{(25 - 19,63)}{(19,63 - 13,80)}} = 0,73 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Agosto.**

$$\dot{q}_{conv} = 0,13 \frac{(26,16 - 21,15) - (21,15 - 13,44)}{\ln \frac{(26,16 - 21,15)}{(21,15 - 13,44)}} = 0,81 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Setiembre**

$$\dot{q}_{conv} = 0,13 \frac{(37,37 - 32,82) - (32,82 - 15,37)}{\ln \frac{(37,37 - 32,82)}{(32,82 - 15,37)}} = 1,25 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Octubre**

$$\dot{q}_{conv} = 0,13 \frac{(41,21 - 35,74) - (35,74 - 17,79)}{\ln \frac{(41,21 - 35,74)}{(35,74 - 17,79)}} = 1,36 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Noviembre**

$$\dot{q}_{conv} = 0,13 \frac{(46,05 - 42,21) - (42,21 - 16,91)}{\ln \frac{(46,05 - 42,21)}{(42,21 - 16,91)}} = 1,45 \text{ W/m}^2$$

3.6. FLUJO DE CALOR POR RADIACIÓN.

Utilizando la ecuación

$$\dot{q}_{rad} = \frac{\tau_s(1 - a_b)}{1 - r_s a_b} I_s + \frac{\epsilon_s \sigma}{1 - r + r \epsilon_s} [\tau \epsilon_{sky} T_a^4 + \epsilon_m T_m^4 - (1 - r) T_s^4]$$

τ : Transmitancia en el plástico de polietileno (cobertor) = 0.921

r : Reflectancia en el plástico de polietileno (cobertor) = 0.041

ϵ_m : Absortancia del plástico polietileno (cobertor) = 0.038

a_b : Albedo del biodigestor, $a_s = 0.2$

σ : Constante de Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-4}$

τ_s : Transmitancia a la Radiación Solar.

r_s : Reflectancia a la Radiación Solar.

$$\epsilon_{sky} = T_a - 6^\circ \text{C}$$

- **Mes de Junio**

$$\epsilon_{sky} = 12.28 - 6^\circ \text{C} = 6,28$$

$$\tau_s = 0,23$$

$$r_s = 0,49$$

$$\epsilon_s = 0,74$$

$$\begin{aligned}\dot{q}_{rad} &= \left(\frac{0,23(1 - 0,2)}{1 - (0,49 \times 0,2)} \right) 535,34 \\ &+ \left(\frac{0,74 \times 5,67 \times 10^{-8}}{1 - 0,041 + (0,041 \times 0,074)} \right) [0,921 \times 6,28(12,28)^4 \\ &+ 0,038(14,73)^4 - (1 - 0,041)(15,83)^4]\end{aligned}$$

$$\dot{q}_{rad} = 109,20 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Julio**

$$\varepsilon_{sky} = 13,20 - 6^\circ\text{C} = 7,2$$

$$\begin{aligned}\tau_s &= 0,24 \\ r_s &= 0,33 \\ \varepsilon_s &= 0,89\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{q}_{rad} &= \left(\frac{0,24(1 - 0,2)}{1 - (0,33 \times 0,2)} \right) 540,51 \\ &+ \left(\frac{0,89 \times 5,67 \times 10^{-8}}{1 - 0,041 + (0,041 \times 0,89)} \right) [0,921 \times 7,2(13,20)^4 \\ &+ 0,038(15,13)^4 - (1 - 0,041)(17,14)^4]\end{aligned}$$

$$\dot{q}_{rad} = 111,12 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Agosto**

$$\varepsilon_{sky} = 13,19 - 6^\circ\text{C} = 7,19$$

$$\begin{aligned}\tau_s &= 0,29 \\ r_s &= 0,54 \\ \varepsilon_s &= 0,75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{q}_{rad} &= \left(\frac{0,29(1 - 0,2)}{1 - (0,54 \times 0,2)} \right) 545,65 \\ &+ \left(\frac{0,75 \times 5,67 \times 10^{-8}}{1 - 0,041 + (0,041 \times 0,75)} \right) [0,921 \times 7,19(13,19)^4 \\ &+ 0,038(15,26)^4 - (1 - 0,041)(19,88)^4] \\ \dot{q}_{rad} &= 141,92 \text{ w/m}^2\end{aligned}$$

- **Mes de Setiembre**

$$\varepsilon_{sky} = 16,28 - 6^\circ\text{C} = 10,28$$

$$\begin{aligned}\tau_s &= 0,36 \\ r_s &= 0,66 \\ \varepsilon_s &= 0,7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{q}_{rad} &= \left(\frac{0,36(1 - 0,2)}{1 - (0,66 \times 0,2)} \right) 591,79 \\ &+ \left(\frac{0,7 \times 5,67 \times 10^{-8}}{1 - 0,041 + (0,041 \times 0,7)} \right) [0,921 \times 10,28(16,28)^4 \\ &+ 0,038(25,74)^4 - (1 - 0,041)(33,99)^4] \\ \dot{q}_{rad} &= 196,50 \text{ w/m}^2\end{aligned}$$

- **Mes de Octubre**

$$\varepsilon_{sky} = 18,62 - 6^\circ\text{C} = 12,62$$

$$\begin{aligned}\tau_s &= 0,35 \\ r_s &= 0,68 \\ \varepsilon_s &= 0,67\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{q}_{rad} &= \left(\frac{0,35(1 - 0,2)}{1 - (0,68 \times 0,2)} \right) 630,24 \\ &+ \left(\frac{0,67 \times 5,67 \times 10^{-8}}{1 - 0,041 + (0,041 \times 0,67)} \right) [0,921 \times 12,62(18,62)^4 \\ &+ 0,038(27,21)^4 - (1 - 0,041)(38,27)^4] \\ \dot{q}_{rad} &= 204,22 \text{ w/m}^2 \end{aligned}$$

• Mes de Noviembre

$$\varepsilon_{sky} = 17,39 - 6^\circ\text{C} = 11,39$$

$$\begin{aligned} \tau_s &= 0,56 \\ r_s &= 0,76 \\ \varepsilon_s &= 0,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{q}_{rad} &= \left(\frac{0,6(1 - 0,2)}{1 - (0,76 \times 0,2)} \right) 652,05 \\ &+ \left(\frac{0,8 \times 5,67 \times 10^{-8}}{1 - 0,041 + (0,041 \times 0,8)} \right) [0,921 \times 11,39(17,39)^4 \\ &+ 0,038(26,55)^4 - (1 - 0,041)(41,95)^4] \\ \dot{q}_{rad} &= 135,65 \text{ w/m}^2 \end{aligned}$$

W/m^2	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
\dot{q}_{cond}	89,43	163,41	375,60	670,73	899,19	1252,03
\dot{q}_{conv}	0,54	0,73	0,81	1,25	1,36	1,45
\dot{q}_{rad}	109,20	111,12	141,92	196,50	204,22	135,65

Fuente propia.

Tabla 3.8. Flujo de calor (cond, conv, rad).

3.7. FRONTERA EN LA SUPERFICIE DEL COBERTOR.

3.7.1. Flujo de calor por convección.

Utilizando la ecuación

$$\dot{q}_{conv,m} = h_{int} \frac{(T_{sal} - T_{pared}) - (T_{pared} - T_{ent})}{\ln \frac{(T_{sal} - T_{pared})}{(T_{pared} - T_{ent})}} + h_{ext}(T_m - T_a)$$

$$h_i = h_{int} \times S = 0,13 \times 25,13 = 3,27$$

El coeficiente conectivo (exterior) se calcula de la siguiente manera:

Utilizando la ecuación.

$$Nu = \frac{h_{ext} \times L}{k_{aire}}$$

$$h_{ext} = \frac{Nu \times k_{aire}}{L} = \frac{2,8 \times 0,026}{8} = 0,0091 \text{ Wm}^2/\text{°K}$$

Nu = numero adimensional (Nusselt) de la superficie del biodigestor

$Nu = 2,8$ para el polietileno

k_{aire} = conductividad termica del aire = $0,026 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

L = Longitud característica = 8 m

- Mes de Junio.

$$\dot{q}_{conv,m} = 0,13 \frac{(22,12 - 16,31) - (16,31 - 13,42)}{\ln \frac{(22,12 - 16,31)}{(16,31 - 13,42)}} + 0,0091(14,73 - 12,28)$$

$$\dot{q}_{conv,m} = 0,56 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Julio.**

$$\dot{q}_{conv,m} = 0,13 \frac{(25 - 19,63) - (19,63 - 13,80)}{\ln \frac{(25-19,63)}{(19,63-13,80)}} + 0,0091(15,13 - 13,20)$$

$$\dot{q}_{conv,m} = 0,74 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Agosto.**

$$\dot{q}_{conv,m} = 0,13 \frac{(26,16 - 21,15) - (21,15 - 13,44)}{\ln \frac{(26,16-21,15)}{(21,15-13,44)}} + 0,0091(15,26 - 13,19)$$

$$\dot{q}_{conv} = 0,83 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Setiembre**

$$\dot{q}_{conv,m} = 0,13 \frac{(37,37 - 32,82) - (32,82 - 15,37)}{\ln \frac{(37,37-32,82)}{(32,82-15,37)}} + 0,0091(25,74 - 16,28)$$

$$\dot{q}_{conv,m} = 1,34 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Octubre**

$$\dot{q}_{conv,m} = 0,13 \frac{(41,21 - 35,74) - (35,74 - 17,79)}{\ln \frac{(41,21-35,74)}{(35,74-17,79)}} + 0,0091(27,21 - 18,62)$$

$$\dot{q}_{conv,m} = 1,44 \text{ W/m}^2$$

- **Mes de Noviembre**

$$\dot{q}_{conv,m} = 0,13 \frac{(46,05 - 42,21) - (42,21 - 16,91)}{\ln \frac{(46,05-42,21)}{(42,21-16,91)}} + 0,0091(26,55 - 17,39)$$

$$\dot{q}_{conv,m} = 1,53 \text{ W/m}^2$$

3.8. FLUJO DE CALOR POR RADIACIÓN.

Utilizando la ecuación

$$\dot{q}_{rad,m} = \left[1 - r_s - \frac{\tau_s(1 - a_b + \tau_s a_b)}{1 - r_s a_b} \right] I_s + \left[1 - r - \frac{\tau(\tau + \varepsilon_s(1 - \tau))}{1 - \tau + \tau \varepsilon_s} \right] \varepsilon_{sky} \sigma T_a^4$$

$$- \left[2 - \frac{(1 - \varepsilon_s) + (1 - \tau - r)}{1 - \tau + r \varepsilon_s} \right] \varepsilon_m \sigma T_m^4 + \left[1 - \frac{\tau + r}{1 - r + r \varepsilon_s} \right] \varepsilon_s \sigma T_s^4$$

τ : Transmitancia en el plástico de polietileno (cobertor) = 0.921

r : Reflectancia en el plástico de polietileno (cobertor) = 0.041

ε_m : Absortancia del plástico polietileno (cobertor) = 0.038

a_b : Albedo del biodigestor, $a_s = 0.2$

σ : Constante de Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-4}$

- **Mes de Junio**

$$\dot{q}_{rad,m} = \left[1 - 0,49 - \frac{0,23(1 - 0,2 + (0,23)0,2)}{1 - (0,23 \times 0,2)} \right] 535,34$$

$$+ \left[1 - 0,041 - \frac{0,921(0,921 + 0,06(1 - 0,921))}{1 - 0,921 + 0,921(0,06)} \right] 6,28 \times 5,67$$

$$\times 10^{-8} (12,28)^4$$

$$- \left[2 - \frac{(1 - 0,06) + (1 - 0,921 - 0,041)}{1 - 0,921 + 0,041(0,06)} \right] (0,038) 5,67$$

$$\times 10^{-8} (14,73)^4 + \left[1 - \frac{0,921 + 0,041}{1 - 0,041 + 0,041(0,06)} \right] (0,06) 5,67$$

$$\times 10^{-8} (15,83)^4$$

$$\dot{q}_{rad,m} = 200,15 \text{ w/m}^2$$

• **Mes de Julio**

$$\begin{aligned} \dot{q}_{rad,m} = & \left[1 - 0,33 - \frac{0,24(1 - 0,2 + (0,24)0,2)}{1 - (0,33 \times 0,2)} \right] 540,51 \\ & + \left[1 - 0,041 - \frac{0,921(0,921 + 0,89(1 - 0,921))}{1 - 0,921 + 0,921(0,89)} \right] 7,2 \times 5,67 \\ & \times 10^{-8} (13,20)^4 \\ & - \left[2 - \frac{(1 - 0,89) + (1 - 0,921 - 0,041)}{1 - 0,921 + 0,041(0,89)} \right] (0,038) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (15,13)^4 + \left[1 - \frac{0,921 + 0,041}{1 - 0,041 + 0,041(0,89)} \right] (0,89) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (17,14)^4 \end{aligned}$$

$$\dot{q}_{rad,m} = 244,36 \text{ w/m}^2$$

• **Mes de Agosto**

$$\begin{aligned} \dot{q}_{rad,m} = & \left[1 - 0,54 - \frac{0,29(1 - 0,2 + (0,29)0,2)}{1 - (0,54 \times 0,2)} \right] 545,65 \\ & + \left[1 - 0,041 - \frac{0,921(0,921 + 0,25(1 - 0,921))}{1 - 0,921 + 0,921(0,25)} \right] 7,19 \times 5,67 \\ & \times 10^{-8} (13,19)^4 \\ & - \left[2 - \frac{(1 - 0,25) + (1 - 0,921 - 0,041)}{1 - 0,921 + 0,041(0,25)} \right] (0,038) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (15,26)^4 + \left[1 - \frac{0,921 + 0,041}{1 - 0,041 + 0,041(0,25)} \right] (0,25) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (19,88)^4 \end{aligned}$$

$$\dot{q}_{rad,m} = 98,77 \text{ w/m}^2$$

• **Mes de Setiembre**

$$\begin{aligned} \dot{q}_{rad,m} = & \left[1 - 0,66 - \frac{0,36(1 - 0,2 + (0,36)0,2)}{1 - (0,66 \times 0,2)} \right] 591,79 \\ & + \left[1 - 0,041 - \frac{0,921(0,921 + 0,7(1 - 0,921))}{1 - 0,921 + 0,921(0,7)} \right] 10,28 \times 5,67 \\ & \times 10^{-8} (16,28)^4 \\ & - \left[2 - \frac{(1 - 0,7) + (1 - 0,921 - 0,041)}{1 - 0,921 + 0,041(0,7)} \right] (0,038) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (25,74)^4 + \left[1 - \frac{0,921 + 0,041}{1 - 0,041 + 0,041(0,7)} \right] (0,7) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (33,99)^4 \end{aligned}$$

$$\dot{q}_{rad,m} = 128,2 \text{ w/m}^2$$

• **Mes de Octubre**

$$\begin{aligned} \dot{q}_{rad,m} = & \left[1 - 0,68 - \frac{0,68(1 - 0,2 + (0,35)0,2)}{1 - (0,68 \times 0,2)} \right] 630,24 \\ & + \left[1 - 0,041 - \frac{0,921(0,921 + 0,67(1 - 0,921))}{1 - 0,921 + 0,921(0,67)} \right] 12,69 \times 5,67 \\ & \times 10^{-8} (18,62)^4 \\ & - \left[2 - \frac{(1 - 0,67) + (1 - 0,921 - 0,041)}{1 - 0,921 + 0,041(0,67)} \right] (0,038) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (27,21)^4 + \left[1 - \frac{0,921 + 0,041}{1 - 0,041 + 0,041(0,67)} \right] (0,67) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (38,27)^4 \end{aligned}$$

$$\dot{q}_{rad,m} = 432,96 \text{ w/m}^2$$

• **Mes de Noviembre**

$$\begin{aligned} \dot{q}_{rad,m} = & \left[1 - 0,76 - \frac{0,56(1 - 0,2 + (0,56)0,2)}{1 - (0,76 \times 0,2)} \right] 652,05 \\ & + \left[1 - 0,041 - \frac{0,921(0,921 + 0,8(1 - 0,921))}{1 - 0,921 + 0,921(0,8)} \right] 11,39 \times 5,67 \\ & \times 10^{-8} (17,39)^4 \\ & - \left[2 - \frac{(1 - 0,8) + (1 - 0,921 - 0,041)}{1 - 0,921 + 0,041(0,8)} \right] (0,038) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (26,55)^4 + \left[1 - \frac{0,921 + 0,041}{1 - 0,041 + 0,041(0,8)} \right] (0,8) 5,67 \\ & \times 10^{-8} (41,95)^4 \end{aligned}$$

$$\dot{q}_{rad,m} = 236,22 \text{ w/m}^2$$

	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
$\dot{q}_{conv,m} \text{ w/m}^2$	0,56	0,75	0,83	1,34	1,44	1,53
$\dot{q}_{rad,m} \text{ w/m}^2$	200,15	244,36	98,77	128,2	432,96	236,22

Fuente propia.

Tabla 3.9 Flujo de calor (*conv,m rad,m*).

3.9. CALCULO DEL VOLUMEN DE BIOGÁS GENERADO. (V_{cd})

De la ecuación

$$(V_{cd}) = \frac{V}{TR}$$

$$V = 1,75 \text{ m}^3$$

TR: Tiempo de Retencion

$$(V_{cd}) = \frac{1,75}{12} = 0.15 \text{ m}^3/\text{dia}$$

3.10. EFICIENCIA.

De la ecuación

$$\eta = \frac{Q_u}{I_s \times S}$$

η : Eficiencia del Biodigestor (%)

Q_u : calor útil (W)

I_s : Intensidad de la radiación solar incidente. (W/m²)

$$S = 25,13 \text{ m}^2$$

- Mes de Junio

$$\eta = \frac{2619,07}{535,34 \times 25,13} = 0,195$$

- Mes de Julio

$$\eta = \frac{2896,47}{540,51 \times 25,13} = 0,213$$

- Mes de Agosto

$$\eta = \frac{3466,21}{545,65 \times 25,13} = 0,253$$

- **Mes de Setiembre**

$$\eta = \frac{3480,42}{591,79 \times 25,13} = 0,234$$

- **Mes de Octubre**

$$\eta = \frac{3593,38}{630,24 \times 25,13} = 0,227$$

- **Mes de Noviembre**

$$\eta = \frac{7514,04}{652,05 \times 25,13} = 0,45$$

MESES	η %
JUNIO	19,5
JULIO	21,3
AGOSTO	25,3
SETIEMBRE	23,4
OCTUBRE	22,7
NOVIEMBRE	45,0

Fuente propia.

Tabla 3.10. Eficiencia

3.11 ANÁLISIS DE DATOS.

La toma de datos se evaluó en el mes de Junio, Julio, Agosto, Setiembre, Octubre y Noviembre del 2012.

3.11.1. GRAFICOS DE LAS TEMPERATURAS- TIEMPO

En la **Grafica 3.1** se muestran los datos experimentales de las temperaturas tomadas en el mes junio, en el **ANEXO-3** se muestra las Graficas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 de los meses Julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre.

Donde:

T_m : Temperatura de la superficie del cobertor de polietileno. (°C)

T_s : Temperatura la superficie del biodigestor (°C)

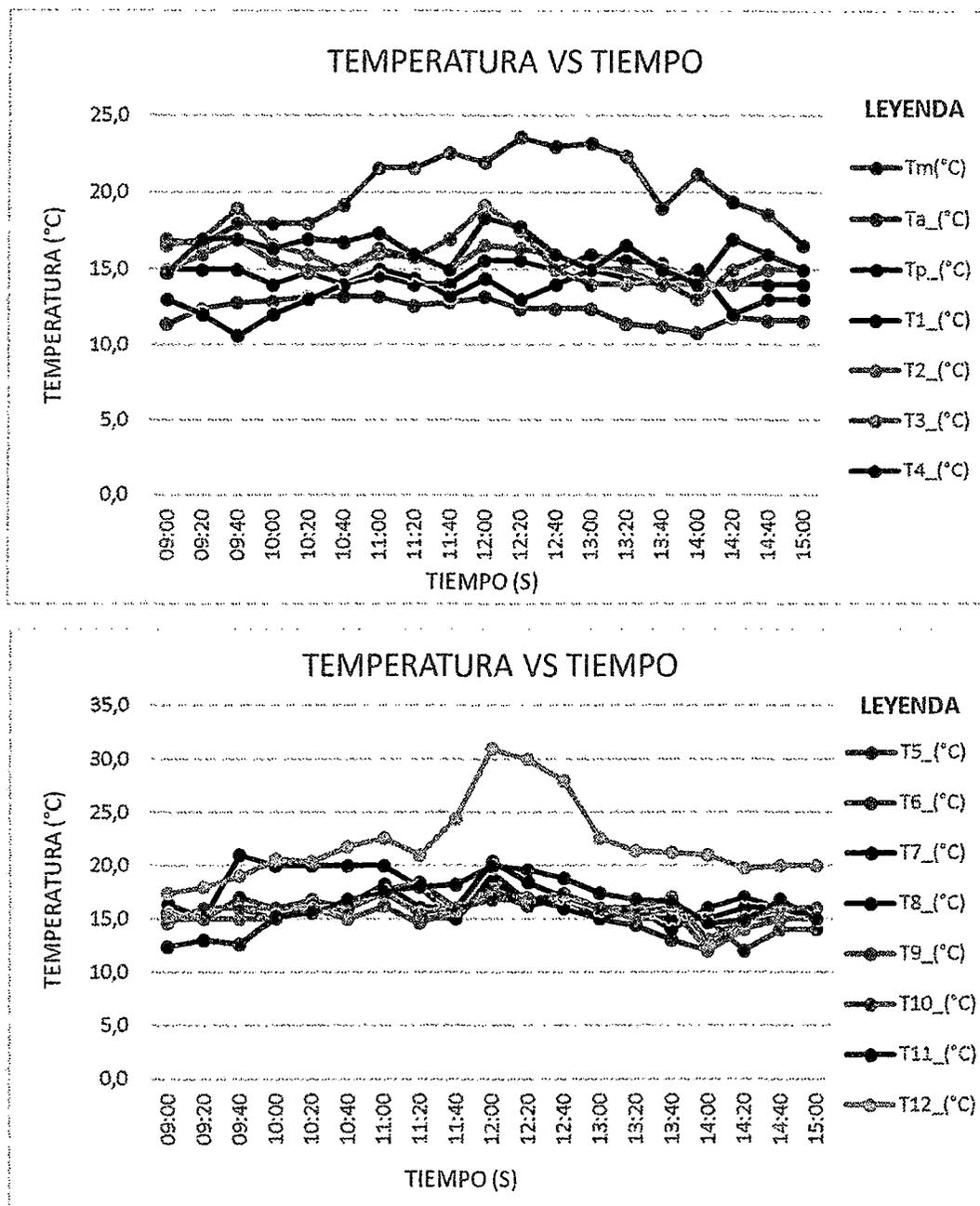
T_a : Temperatura del aire ambiente. (°C)

$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}$: Temperatura de nodos (°C)

$T_{11} = T_{ent}$: Temperatura de entrada. (°C)

$T_{12} = T_{sal}$: Temperatura de salida. (°C)

T_{pared} : Temperatura de la pared. (°C)



FUENTE PROPIA: **Tabla 2.4.** Datos experimentales de las temperaturas tomadas en el mes junio.

Grafica 3.1 Datos experimentales de las temperaturas tomadas en el mes junio en la Comunidad de Cconchacalla Distrito y Provincia de Anta del Departamento del Cusco- 2012.

Luego de realizar el proceso de experimentación y tomado de datos que se presenta de la **Tabla 2.4.** En la **Grafica 3.1.** se puede apreciar que las mayores temperaturas se dan a partir de las 11:00 horas a 13:00 horas producto de ello, se obtendrá mayor temperatura en el Biodigestor

Por consiguiente, el aumento de temperatura favorece en el aumento del volumen del Biogás.

3.11.2. GRAFICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR.

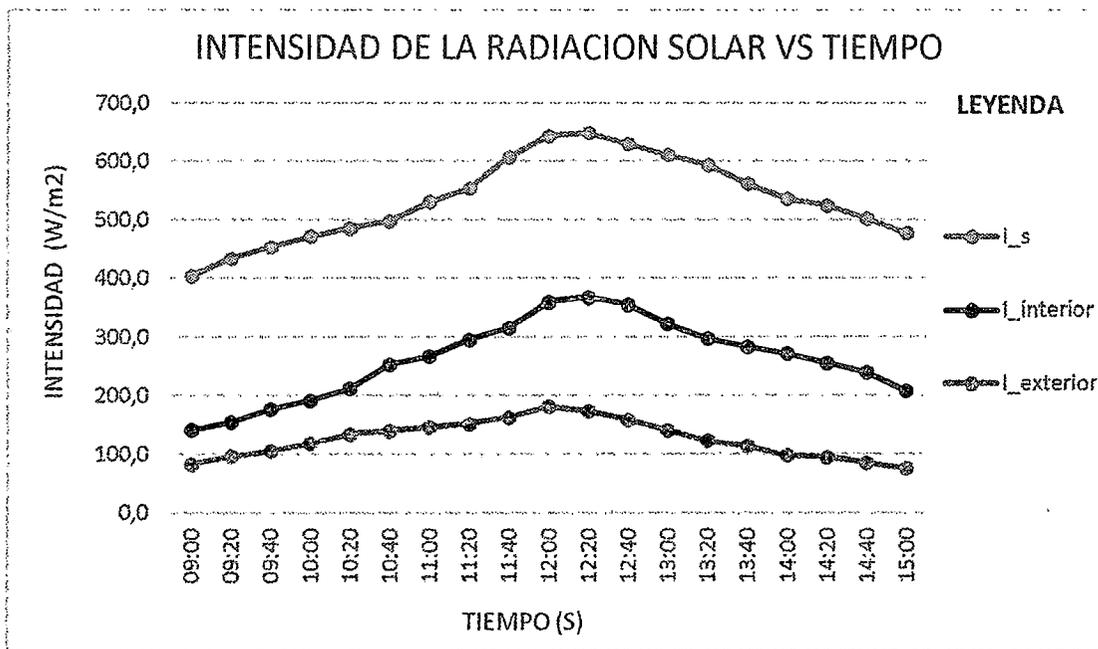
La **Grafica 3.7.** Muestra los datos experimentales de las tomadas de la radiación solar (interior, exterior) en el mes junio, en el **ANEXO-4** se muestra las Gráficas 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 de los meses Julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre.

Donde:

I_s : Intensidad de la radiación solar incidente. (W/m^2)

I_{int} : Intensidad de la radiación interior (W/m^2)

I_{ext} : Intensidad de la radiación exterior. (W/m^2)



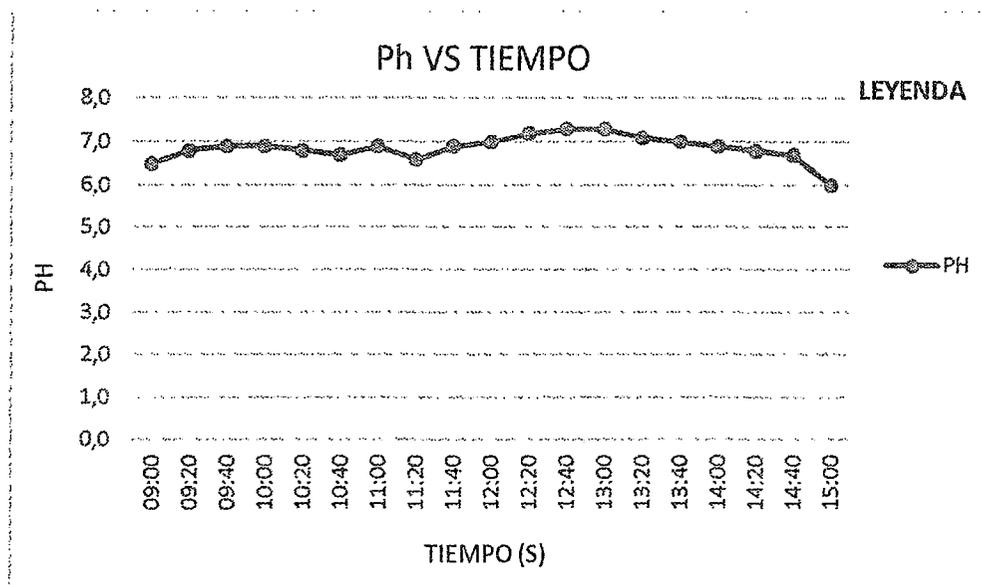
FUENTE PROPIA: **Tabla 2.10.** Datos experimentales de las intensidades tomadas en el mes Junio

Grafica 3.7., Datos experimentales de las intensidades de radiación solar (interior, exterior) tomadas en el mes junio en la Comunidad de Cconchacalla Distrito y Provincia de Anta del Departamento del Cusco- 2012

En la **Grafica 3.7.** se puede observar que de 9:00 a 11:40 menor intensidad de radiación solar y la mayor intensidad de radiación solar se dan a partir de las 11:40 horas a 12:40 horas producto de ello, se obtendrá mayor temperatura en el Biodigestor, y horas más tarde disminuye la intensidad de radiación solar.

Luego, la mayor intensidad de radiación solar favorece en el aumento del volumen del Biogás.

3.11.3. GRAFICO DEL PH DEL BIOL.

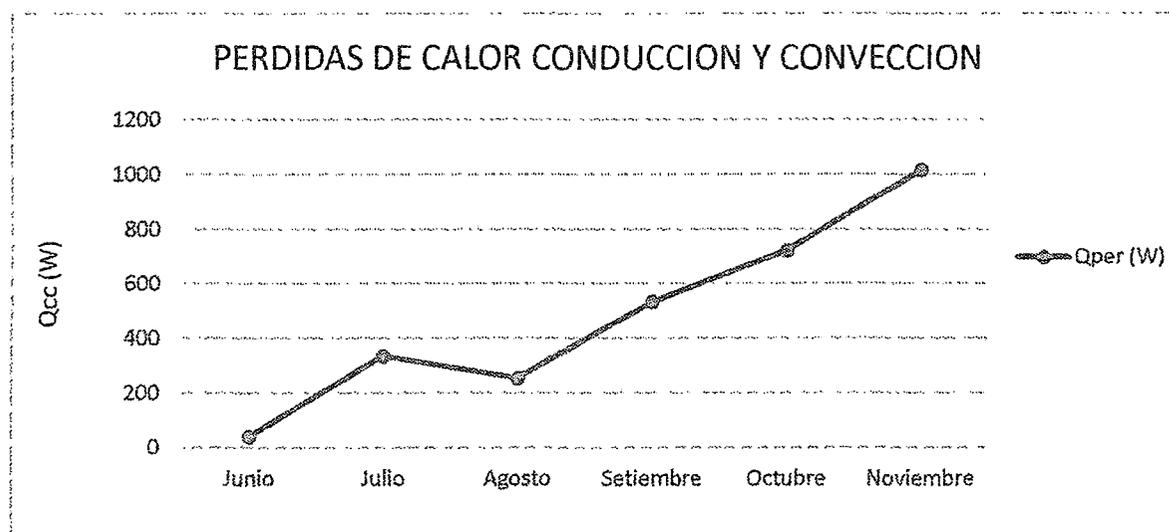


FUENTE PROPIA: Tabla 2.16.

Grafica 3.13 Datos experimentales de PH del biol tomada en la Comunidad de Cconchacalla Distrito y Provincia de Anta del Departamento del Cusco- 2012.

En la **Gráfica 3.13**, se observa que el PH es relativamente estable en el biodigestor, con un máximo de 7,2. Por consiguiente la acidez del biogás es estable ya que el rango de PH óptimo es de 6.6 a 7.6. Para el normal funcionamiento del Biodigestor.

3.11.4. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN.

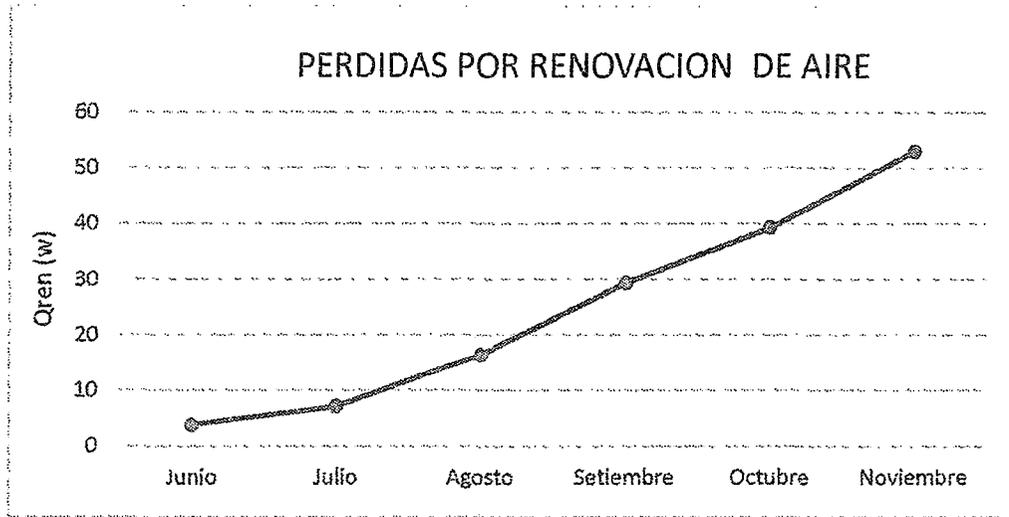


FUENTE PROPIA: Tabla 3.1.

Grafica 3.14. Pérdidas de calor conducción y convección

El grafico 3.14, muestra las pérdidas de calor por conducción y convección, donde se observa que hubo menor perdida de calor en el mes de Junio.

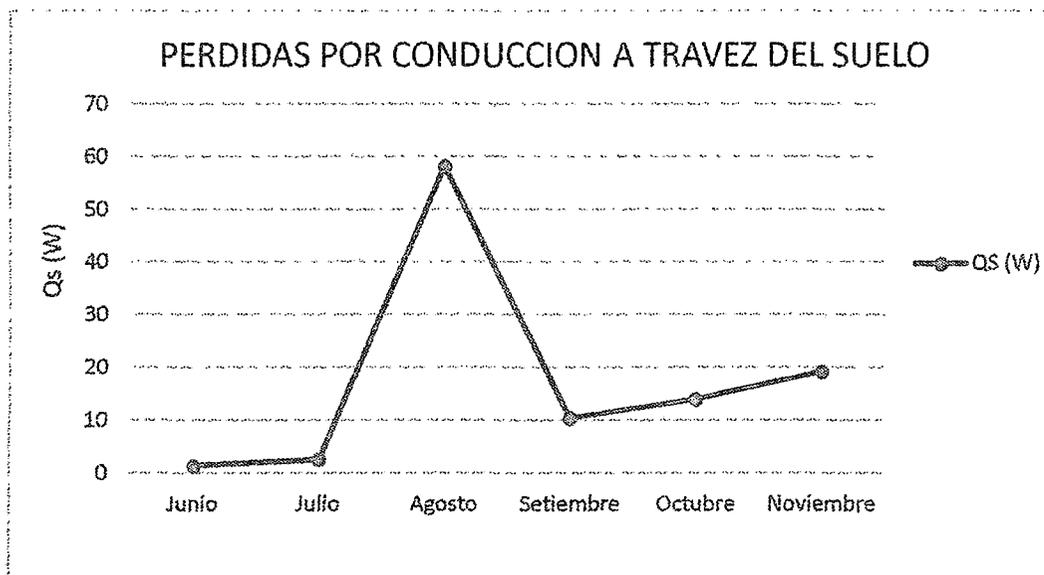
3.11.5. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS POR RENOVACIÓN DE AIRE.



FUENTE PROPIA: Tabla 3.2.
Grafica 3.15. Pérdidas de calor por renovación de aire

El grafico 3.15, muestra las pérdidas de calor por renovación de aire, donde se observa que hubo menor perdida de calor en el mes de Junio.

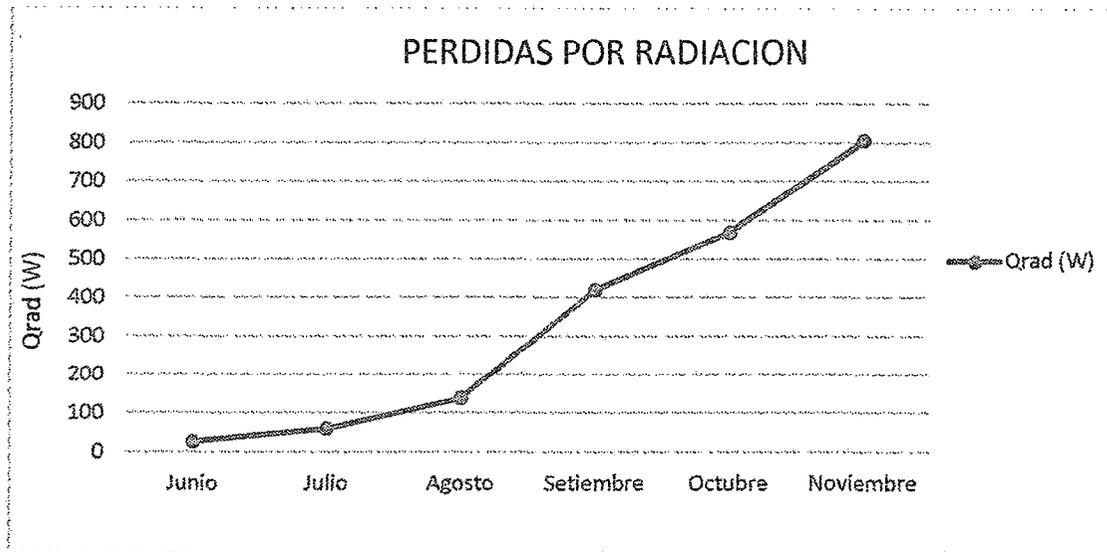
3.11.6. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL SUELO.



FUENTE PROPIA: Tabla 3.3.
Grafica 3.16. Pérdidas de calor por conducción a través del suelo

El grafico 3.16, muestra las pérdidas de calor a través del suelo, donde se observa que hubo menor perdida de calor en los meses de Junio y Setiembre.

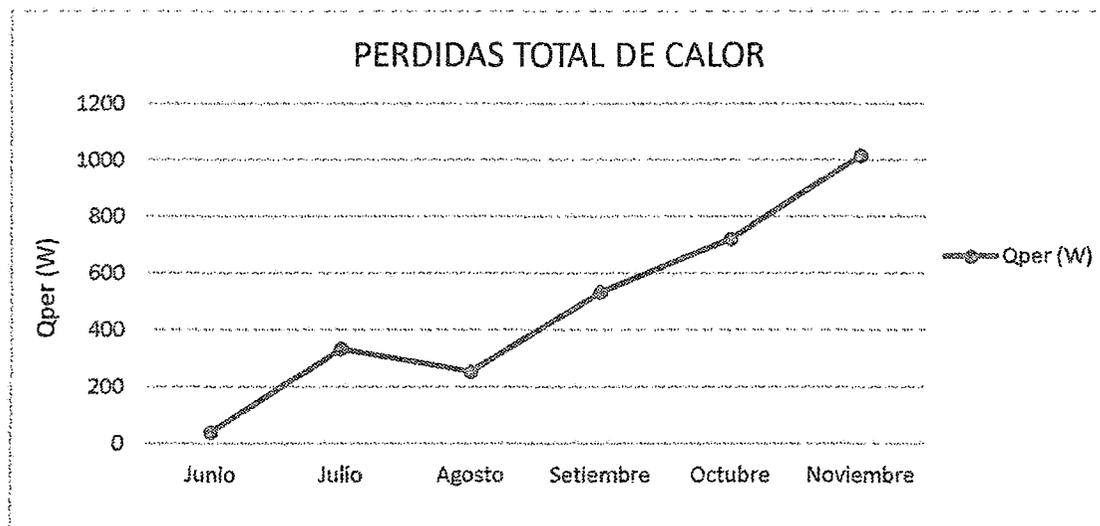
3.11.7. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS POR RADIACIÓN.



FUENTE PROPIA: Tabla 3.4.
Grafica 3.17. Pérdidas por radiación

El grafico 3.17. muestra las pérdidas de calor por radiación, donde se observa que hubo menor perdida de calor en Junio.

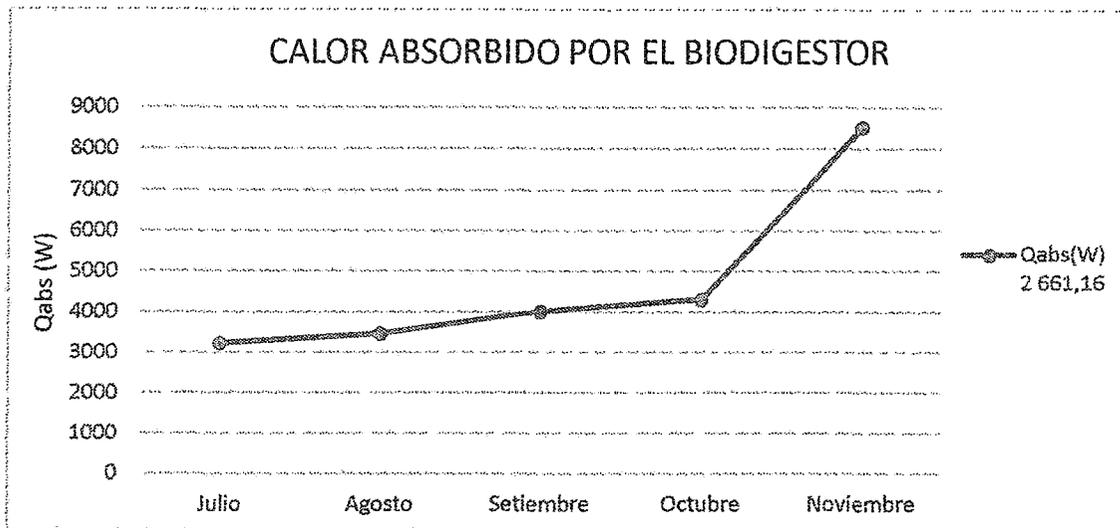
3.11.8. GRAFICO DE LAS PÉRDIDAS TOTAL DE CALOR.



FUENTE PROPIA: Tabla 3.5.
Grafica 3.18. Pérdidas totales de calor

El grafico 3.18., De donde podemos observar que las mayores pérdidas de calor se dieron en Agosto.

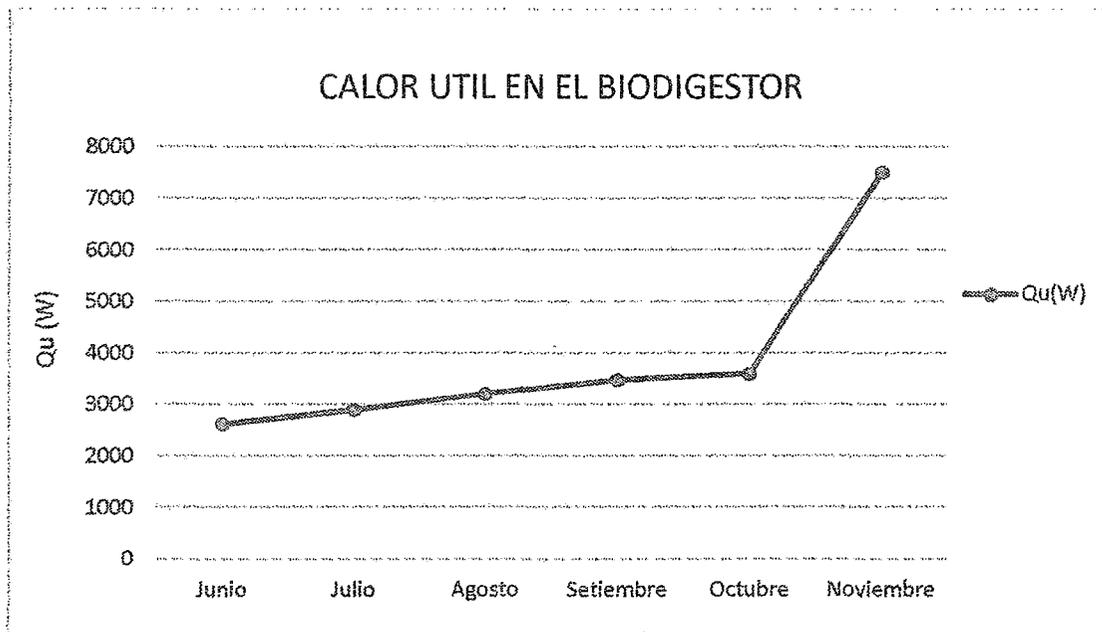
3.11.9. GRAFICO DEL CALOR ABSORBIDO POR EL BIODIGESTOR.



FUENTE PROPIA: Tabla 3.6.
Grafica 3.19. Calor absorbido.

El grafico 3.19., De donde podemos observar que el mayor calor se dio en Noviembre.

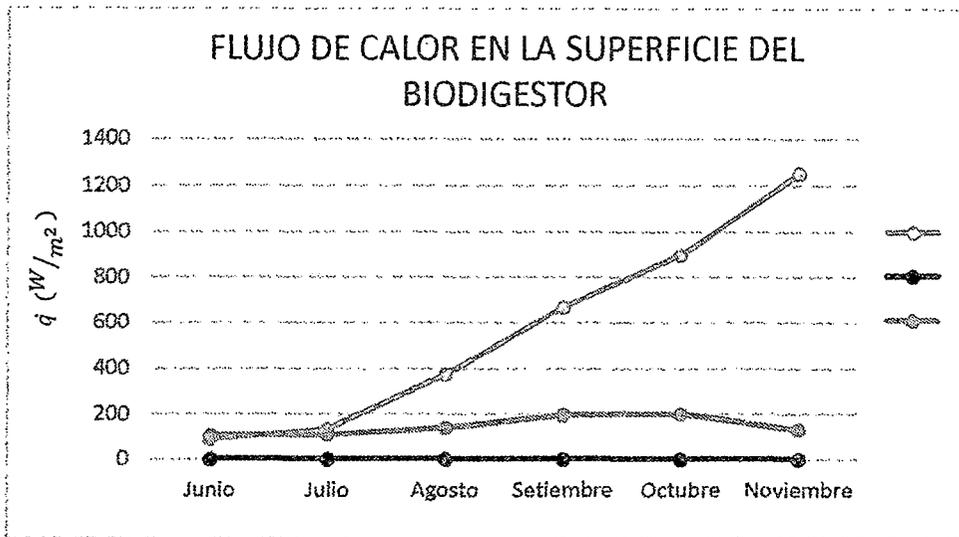
3.11.10. GRAFICO DEL CALOR ÚTIL EN EL BIODIGESTOR.



FUENTE PROPIA: Tabla 3.7.
Grafica 3.20. Calor útil en el biodigestor.

El grafico 3.20. De donde podemos observar que el mayor calor se dio en Noviembre.

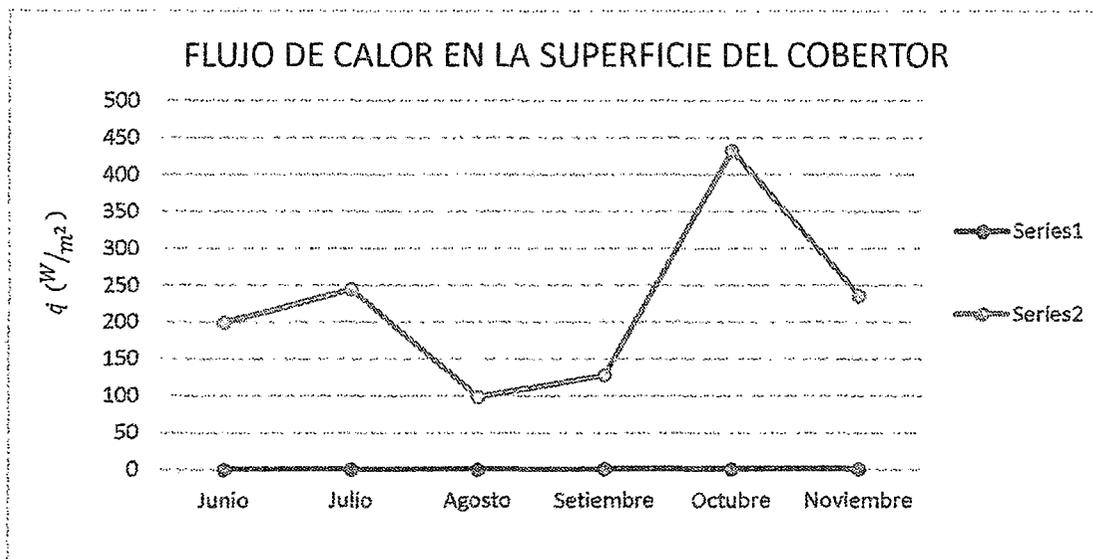
3.11.11. GRAFICO DEL FLUJO DE CALOR (SUP DEL BIODIGESTOR).



FUENTE PROPIA: Tabla 3.8.
Grafica 3.21. Flujo de calor (cond, conv, rad).

En el grafico 3.21., se muestra la variación promedio del flujo de calor por conducción, convección y radiación durante los 6 meses, en la superficie del biodigestor, donde el flujo de calor máximo se da por radiación, donde el máximo valor alcanza los 196,50 W/m^2 y 204,22 W/m^2 en los meses de Setiembre y Octubre respectivamente.

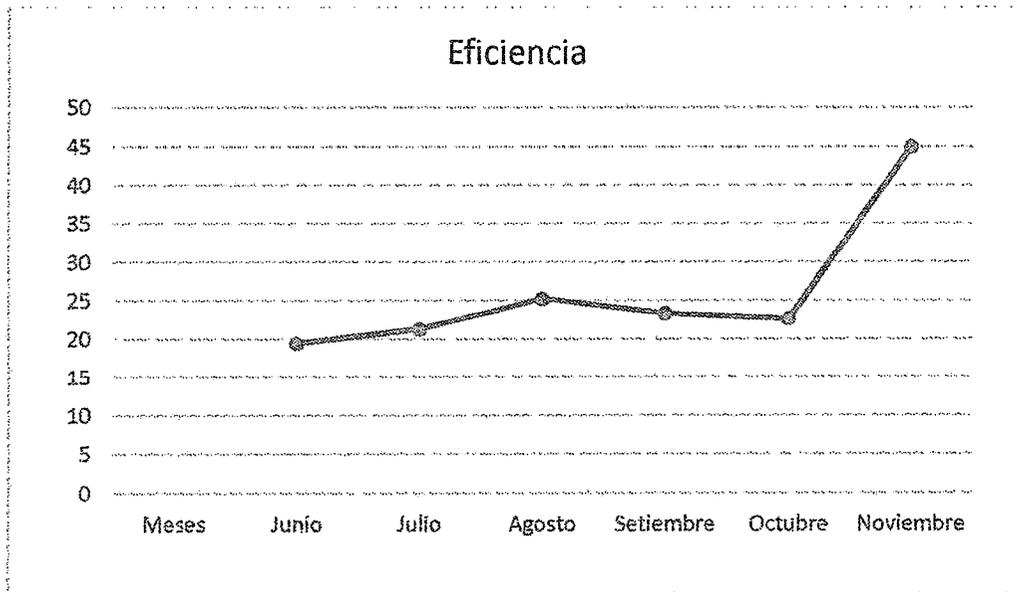
3.11.12. GRAFICO DEL FLUJO DE CALOR (SUPERFICIE DEL COBERTOR).



FUENTE PROPIA: Tabla 3.9.
Grafica 3.22. Flujo de calor (conv, m rad, m).

En la Grafica 3.22., se muestra la variación promedio del flujo de calor por convección y radiación durante 6 meses, en la superficie del cobertor, donde el flujo de calor máximo se da por radiación, alcanzando 432,96 W/m^2 en el mes de Octubre.

3.11.13. EFICIENCIA DEL BIODIGESTOR.



FUENTE PROPIA: Tabla 3.10. Grafica 3.23. Eficiencia

En la **Grafica 3.23**. La producción del Biogás es mayor en el mes de Noviembre como se puede observar en el gráfico con un 45,0.

CONCLUSIONES

1. El diseño, construcción y evaluación del biodigestor solar, de un flujo continuo se ha realizado durante los meses de Junio a Noviembre, con una producción de, $0,75\text{m}^3/\text{dia}$ de biogás con una eficiencia de 26,2 % lo cual indica que lo diseñado es una alternativa para la producción del biogás en la localidad de Conchacalla.
2. En la localidad de Conchacalla la temperatura mínima es de 13°C y en el interior del biodigestor la temperatura Máxima es de 23°C por lo que es una posibilidad viable la utilización de estiércol de vacuno para la generación del biogás y bioabono, dado que la diferencia de temperatura permite la descomposición de la materia orgánica y la posterior generación de biogás.
3. La producción de biogás esta en función de tiempo retención de la materia orgánica. Por tal razón a mayor tiempo de retención (TR) mayor la producción de biogás, para esta producción constante, el proceso de carga deberá ser diaria con un control adecuado adecuado en la temperatura.
4. evaluación del balance térmico instantáneo realizado en los meses indicados, nos proporciona una información que las pérdidas de calor por conducción –convección a través de la cubierta es mayor en la comparación con las otras pérdidas como el de la renovación y las pérdidas por la pared.
5. El PH óptimo evaluado en el biodigestor es de 7.
6. Los Biodigestores de Geomenbrana de PVC es una buena alternativa para la producción de biogás, en la Región del Cusco, dado que sus características permite una gran resistividad a su deterioro a comparación de los Biodigestores artesanales.

SUGERENCIAS

- 1.** Para aumentar la producción del gas se recomienda el uso de un calentador interno que podría ser por calentamiento eléctrico con paneles solares, uso de un termosifón ETC.
- 2.** Se recomienda dar mantenimiento al digestor cada seis meses. Esto es limpieza y evacuación del sustrato del interior del biodigestor.
- 3.** En la conducción del biogás, no se recomienda la utilización de mangueras de plástico con la finalidad de evitar enrollamiento.
- 4.** El agua que se utiliza en la mezcla no debe ser clorada, si es suministrada a través de algún acueducto, se recomienda que no sea directamente de la red, ya que en el biogás hay colonias de microorganismos que pueden morir o disminuir su actividad metabólica por acción del cloro.
- 5.** Que las instituciones locales, regionales sean participe del aprovechamiento de las energías renovables, de tal manera que el impacto de la contaminación sea menos y de esta forma se conserva el medio ambiente.
- 6.** En cuanto al bioabono es un subproducto que comercial mente compite con otras fertilizaciones comerciales y puede ser utilizado en huertos y viveros, ya que tiene un alto poder fertilizante y mejorador de la estructura del suelo.

ANEXO-1

TABLAS DE TEMPERATURA

Tabla 2.5.

MES DE JULIO DEL 2012

HORA (min)	T _m °C	T _a °C	T _p °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T _{ent} °C	T _{sal} °C
9:00	14	10,6	10,6	13,8	14,6	14,6	14,8	15,4	15,8	15,6	15,4	15	15,6	15	17,4
9:20	15,8	12	12,6	15,2	14,4	15	14,8	14,8	15,2	15	15,6	15,2	15,6	15,4	19,2
9:40	17,2	12,8	12,6	14,8	14,6	16	14,4	16	15,2	15,8	16	15,6	14,8	16,2	20,8
10:00	19	13,2	13,4	14,6	15	14,6	15	15,2	15,4	14,8	15,8	15,8	14,8	16,6	21,2
10:20	19,2	12,9	13,2	14,4	15,6	15,2	14,6	15,4	15,8	15,2	14,8	14,4	15,4	17	23,8
10:40	20,6	13,2	13	15,2	16,2	15,8	15,2	15,2	15,4	15,2	15,6	13,8	14,2	17	24,4
11:00	20,8	13,6	14,4	16	16,8	17	16,6	16,6	16,2	15,6	17,2	15,8	15,4	18	26,8
11:20	23	13,5	14,2	17,8	18,4	18,4	17,4	18,6	18,8	18	17,4	17,6	18	19,2	26,8
11:40	24	13,9	14	18,4	18	18,6	19,8	19,6	19,8	20,6	19,6	20,4	20,2	23,4	29,8
12:00	26	14,74	15,8	23,2	23,8	24,6	25,8	26	25,8	26	26,2	25,4	25,6	27,8	34,6
12:20	26,2	14,54	16,2	23,8	22,2	22,8	24,4	25,2	25,6	24,4	24,8	24,6	25	28,8	35
12:40	24,4	13,9	15,4	22	21,6	21,2	21	23,4	22,6	23	22,4	22	22,2	26,8	33,4
13:00	23,6	13,8	14,8	19,4	19,6	18,8	18,8	18,4	18,4	17,8	17,4	19,2	17,4	23,2	29,2
13:20	22,2	12,8	14	16,2	15,8	15	16,2	15	15,2	15	15,8	15,4	15,6	21	26,8
13:40	21	13,4	13,6	15	15,2	14,6	15	15	14,6	15	15	14,8	16,6	19	23,4
14:00	20,4	13,2	13,4	15,6	15,2	15,6	15	15	16	15,6	15,2	15,4	15,4	18,8	21,8
14:20	19,8	13	14	14,8	14	14,8	15,4	14	15	15,2	15,2	15,4	15	17,4	21
14:40	18,6	13,2	13,6	14,4	15	15,2	14,8	14,8	15	15,2	15,4	14,4	15	16,2	20,4
15:00	16,6	12,6	13,4	14,4	15	15	14,8	14,6	14,8	15	14,8	15,4	15,6	16,2	19,2
Promedio	20,65	13,2	13,8	16,79	16,9	16,99	17,04	17,27	17,4	17,26	17,35	17,14	17,23	19,63	25

Promedio de las temperaturas de T₁ a T₁₀ es: 17.14°C

FUENTE PROPIA.

Tabla 2.6.

MES DE AGOSTO DEL 2012

HORA (min)	T _m °C	T _a °C	T _p °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T _{ent} °C	T _{sal} °C
9:00	13,20	11,60	11,20	13,80	13,80	14,40	13,60	14,40	14,20	14,60	14,00	13,60	14,00	11,80	14,40
9:20	13,80	12,40	12,00	14,80	15,40	15,80	15,40	14,80	15,80	14,60	14,80	15,80	15,00	13,00	17,40
9:40	16,40	13,20	11,60	15,60	16,80	18,20	16,80	16,60	16,60	15,00	17,80	16,00	15,00	13,00	18,60
10:00	18,00	13,00	12,60	15,20	16,80	17,60	17,80	17,80	16,20	16,00	19,20	16,80	16,60	15,80	20,20
10:20	18,80	13,40	13,20	15,60	17,00	18,00	18,00	18,60	18,80	19,20	20,40	18,60	18,40	18,20	22,60
10:40	20,40	13,80	14,20	16,60	17,80	18,80	19,80	20,40	20,60	21,20	22,40	19,20	20,80	20,20	25,20
11:00	22,60	13,80	14,60	17,60	18,80	19,80	21,40	20,60	21,40	21,20	22,60	21,20	20,80	21,40	26,00
11:20	22,80	13,60	14,80	17,60	19,60	20,40	20,60	22,40	21,80	21,80	22,20	22,00	21,40	23,20	27,60
11:40	23,80	13,80	13,40	20,40	20,80	22,00	22,00	22,20	22,00	23,20	22,60	23,40	22,60	24,40	29,20
12:00	25,80	15,00	14,60	24,80	25,40	26,00	26,20	27,40	27,00	28,20	28,00	27,80	26,80	29,20	34,60
12:20	26,20	15,00	14,20	24,60	26,00	25,40	26,20	26,00	26,00	27,00	26,00	26,20	26,40	28,80	33,80
12:40	25,40	14,60	14,80	24,00	24,00	24,00	25,20	25,80	24,80	26,20	25,80	26,60	26,80	27,00	32,80
13:00	24,80	14,20	14,60	23,20	22,60	22,80	21,40	24,00	24,60	24,20	23,80	25,00	24,60	25,80	31,40
13:20	23,00	13,40	14,20	22,00	21,20	21,00	21,60	21,80	21,80	22,80	23,40	23,60	24,00	24,40	30,40
13:40	19,40	12,40	13,80	21,00	20,80	21,00	21,80	21,60	19,60	21,60	21,20	21,20	22,20	23,80	29,00
14:00	19,20	12,00	14,20	18,80	19,80	19,60	19,40	19,60	18,00	19,60	21,20	17,60	18,20	21,00	27,80
14:20	18,80	11,80	12,00	17,20	17,20	17,60	18,40	16,80	17,80	18,00	18,80	17,80	17,60	20,40	26,00
14:40	17,60	12,00	12,80	16,40	16,20	16,20	16,00	14,80	16,40	17,00	16,80	16,20	16,60	21,20	25,40
15:00	16,00	11,60	12,60	14,40	15,00	15,00	15,00	14,40	15,00	15,00	16,00	15,00	16,00	19,20	24,60
Promedio	20,32	13,19	13,44	18,61	19,21	19,66	19,82	20,00	19,92	20,34	20,89	20,19	20,20	21,15	26,16

Promedio de las temperaturas de T₁ a T₁₀ es: 19.88°C

FUENTE PROPIA.

Tabla 2.7.

MES DE SETIEMBRE DEL 2012

HORA (min)	T _m °C	T _a °C	T _p °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T _{ent} °C	T _{sal} °C
9:00	19	13	12	21	21	22	20,5	19,5	22,5	24	22	21	22	19,5	21,5
9:20	20,5	13,5	12,5	21	21,5	21,5	23	23,5	23	22,5	23	23,5	22	21	25
9:40	20	14,5	14	24,5	25,5	25,5	24,5	25,5	25	25	25	26,5	25,5	23	26
10:00	21,5	15,3	14	25,8	25	26,5	27,5	28,5	27	27	28	26,5	27,5	25,5	28
10:20	23,5	16	14,5	27	29	28	29	30	30	31	29	29	30	28	30
10:40	25,5	16,5	15,5	28,5	30,5	30	30	30	30,5	29	30,5	30	29,5	28,5	32
11:00	27	17,5	16,5	32	33,5	33	33	33,5	33	33,5	34	33,5	32,5	31,5	36,5
11:20	31	17,8	17	36	36	36	35,5	37,5	37	36	36,5	35,5	35,5	33	38,5
11:40	32	18,5	17,5	40,5	41	42	41	41	40,5	41	40	41	40	38	44
12:00	34,5	20,5	19,5	46,5	45,5	47,5	45,5	47,5	46,5	45,5	45,5	46	47	44,5	50
12:20	34	20,5	19,5	46	45,5	46,5	45	46,5	46,5	44	45	43,5	44,5	44,5	50
12:40	32	20,5	19	46	46	46,5	45	45	46	44,5	45	44,5	45,5	43	49,5
13:00	30,5	18,5	17,5	44	44	44	43	44	44,5	43,5	44,5	43	44	41,5	48
13:20	26,5	17,5	16,5	39	40	38,5	38,5	40,5	39,5	38,5	38,5	38	39	39	45
13:40	25,5	16	14,5	35,5	36,5	37	37,5	38,5	39	37	36,5	36,5	37	37	41
14:00	24	14,8	14	33	34	35	33,5	35	35	34,5	33	33	34	34	38,5
14:20	22	14	14	32	32	33	31	34	32,5	33,5	31,5	33	32	33,5	37,5
14:40	20,5	12,5	12,5	29,5	28,5	28,5	28,5	29	30	30	30	30,5	29,5	29,5	35
15:00	19,5	12	11,5	28,5	29	27,5	27,5	26	27	27	28	29	27	29	34
Promedio	25,7	16,3	15,37	33,5	33,9	34,1	33,6	34,5	34,5	34,1	33,97	33,87	33,89	32,8	37,37

Promedio de las temperaturas de T₁ a T₁₀ es: 33.99°C

FUENTE PROPIA.

Tabla 2.8.

MES DE OCTUBRE DEL 2012

HORA (min)	T _m °C	T _a °C	T _p °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T _{ent} °C	T _{sal} °C
9:00	20,5	14,5	13,5	24,5	24	24,5	22,5	22,5	25,5	26,5	24,5	24,5	24,5	19	25
9:20	21,5	15,5	14,5	25,5	25	25	26	26,5	25,5	25	27	27	26,5	21	28
9:40	22	16	16	26	26,5	27,5	27	27	26	26	28	28,5	28,5	24	27
10:00	23	17	16	26,8	26,5	28	29,5	30	29	28	29	28	29	26	30,5
10:20	22,5	18,5	17	28	29	28	29	32	31,5	31	30,5	31	31	29	30
10:40	23,5	18,5	18	14	30	30	31	30	31	29	30	31	31	30	32
11:00	25	19	19	32	34,5	35	35	36	37	34,5	33,5	34	33	31,5	38
11:20	27,5	20	19	37	37,5	38	37	37,5	38	37	37,5	36,5	37	33,5	40
11:40	28,5	20,5	19,5	42,5	42	42	42	42	42	42	41,5	42,5	42	36,5	44
12:00	34	23	21,5	47,5	47,5	47,5	46,5	49	48,5	47	46	47	48	42,5	50
12:20	34,5	23,3	21,5	50	49	50	49	50,5	50,5	49	49,5	48,5	49,5	44,5	52
12:40	32,5	23,5	22,5	52	53	52,5	51,5	53	53	51,5	52	51	51,5	49	54,5
13:00	32,5	22,5	21,5	51	52	51	51	52	51,5	51,5	51	50,5	50,5	47,5	54
13:20	32	21	20	47,5	48,5	46	47	53,5	48,5	48,5	47,5	46,5	47,5	45,5	52
13:40	29,5	20	18,5	44	44	45,5	44,5	46	45,5	44	45	45	44,5	44,5	49
14:00	29	18	17	41,5	42,5	42,5	42,5	43,5	42,5	42,5	42,5	42	42	42,5	47
14:20	27	16	17	40	41,5	42,5	41	44	43	43	41,5	42	41,5	43	46,5
14:40	26,5	14	14	37	36	35	36	39	40	38,5	36	38,5	37,5	37,5	42,5
15:00	25,5	13	12	34	35,5	34	34,5	34	33,5	33,5	33	34	32,5	32	41
Promedio	27,2	18,6	17,79	36,9	38,1	38,1	38	39,4	39,1	38,3	38,2	38,3	38,3	35,7	41,2

Promedio de las temperaturas de T₁ a T₁₀ es: 38.27°C

FUENTE PROPIA.

Tabla 2.9.

MES DE NOVIEMBRE DEL 2012

HORA (min)	T _m °C	T _a °C	T _p °C	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	T ₁₀ °C	T _{ent} °C	T _{sal} °C
9:00	8,5	7	6,5	11	11,5	12,5	11,5	11	12,5	12	11,5	11	11,5	10	11,5
9:20	20,5	14	13	22	22	22	22	22,5	22,5	21,5	21,5	22,5	21	18,5	22,5
9:40	21,5	14,5	13,5	23,5	23,5	22,5	24	23,5	22,5	23	24	23,5	25	21	25
10:00	22,5	15,5	15,5	24	24,3	23	24,5	26	25	25	25	26,5	27,5	25,5	29
10:20	24	17	17	26,5	27,3	27,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28	28	26,5	31
10:40	24	17,5	18	28,5	29,5	15,3	31	33	32	30,5	30	30	32	30	35
11:00	25	18,8	17,5	34,5	34,5	34	38	41	40,5	39,5	38,5	38	37	40	42,5
11:20	27,5	20,5	19,5	42,5	41,5	42	42,5	43	43	44	42,5	43	44,5	45	45,5
11:40	31	21,5	20,5	42,5	44	45	45	45,5	46	45	46	45	45,5	45,5	46,5
12:00	34	23,5	22,5	53,5	54,5	55,5	57	57	56	58	58	57,5	55,5	56	61
12:20	33,5	24	23,25	58,5	60	59	61	62,5	60,5	58,5	58,5	57,5	58	59	64
12:40	35	23,5	23,5	59	58	58	59,5	60	58,5	57,5	58,5	59,5	61	60,5	64
13:00	32	21,8	22,5	58,5	57	56	58	59	59	57,5	56	56,5	58	58	60,5
13:20	29,5	20,5	19,5	57,5	56,5	56,5	57,5	57	56,5	57,5	55,5	56	56,5	59	62
13:40	28,5	17,5	17,5	53,5	54	54	55	54	56,5	56,5	55	54,5	55,5	54,5	60
14:00	27,5	15,5	15,5	52	52,5	52	53	55	54,5	53	52	52	51,5	52	57,5
14:20	27,5	13,5	13	49	50	48,5	48,5	47	47	50	50	47,5	48	48	55,5
14:40	26,5	13	12	47	48	46	46,5	45,5	45	46	45,5	46,5	47,5	49	53,5
15:00	26	11,5	11	41,5	42,5	40,5	39,5	42	40	41	42	41	41,5	44	48,5
Promedio	26,6	17,4	16,91	41,3	41,6	40,5	42,2	42,8	42,4	42,3	42,03	41,89	42,37	42,2	46,05

Promedio de las temperaturas de T₁ a T₁₀ es: 41.95°C

FUENTE PROPIA.

ANEXO-2

TABLAS DE LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR

Tabla 2.11.

INTENSIDAD DEL MES DE JULIO

HORA (min)	I_{sw}/m^2	I_{intw}/m^2	I_{extw}/m^2
09:00	410	95	82
09:20	429.8	111	92
09:40	465	132	111
10:00	514	163.8	128
10:20	526	185.8	146.4
10:40	538	218	140.6
11:00	565.2	240.4	158
11:20	597.6	258.8	174.8
11:40	630	282	178.6
12:00	676	290.8	206.4
12:20	677.8	257	183.8
12:40	637.6	232	167.2
13:00	633.6	213.6	142
13:20	598	177.8	121.8
13:40	559.8	159.8	102.8
14:00	525.6	127.8	93.6
14:20	468	107.6	77.4
14:40	437.6	94.2	68.4
15:00	380	81.2	55.8
Promedio	540.51	180.45	127.93

FUENTE PROPIA.

Tabla 2.12.

INTENSIDAD DEL MES DE AGOSTO

HORA (min)	I_{sw}/m^2	I_{intw}/m^2	I_{extw}/m^2
09:00	380	157.4	80.6
09:20	408.2	203	91
09:40	446.2	231	101.2
10:00	472.8	254.8	112
10:20	522.6	287.4	131.4
10:40	570.8	290.2	167.2
11:00	606.4	318.8	207
11:20	637.6	353.6	242.4
11:40	687.4	392.2	251
12:00	702.8	419	264.2
12:20	685	382	243
12:40	667.2	365.4	228.8
13:00	611.2	340	197.8
13:20	591	319.6	175.8
13:40	569.2	292	153.8
14:00	513.6	278.4	127
14:20	487.4	255.2	103.4
14:40	430	233	88.4
15:00	378	210	81.2
Promedio	545.65	293.84	160.38

FUENTE PROPIA.

Tabla 2.13.

INTENSIDAD DEL MES SETIEMBRE

HORA (min)	I_{sw}/m^2	$I_{int}W/m^2$	$I_{ext}W/m^2$
09:00	384	195	80
09:20	423.5	228	84.5
09:40	451	269.5	87.5
10:00	467.5	283	116.5
10:20	499.5	307	132.5
10:40	527.5	329.5	181
11:00	551.5	353	207
11:20	615.5	367.5	231
11:40	653.5	426	276
12:00	800.5	475	317.5
12:20	778.5	510.5	327.5
12:40	766.5	526	261.5
13:00	735	524	244.5
13:20	686.5	503	302
13:40	625	465	310
14:00	590	457.5	271.5
14:20	595	446	230.5
14:40	562.5	400	190
15:00	531	345	170
Promedio	591.79	390.03	211.63

FUENTE PROPIA.

Tabla 2.14.

INTENSIDAD DEL MES DE OCTUBRE

HORA (min)	I_{sw}/m^2	$I_{int}W/m^2$	$I_{ext}W/m^2$
09:00	480.5	210	87.5
09:20	513.5	235	118.5
09:40	592	275	144.5
10:00	610	309.5	160
10:20	646.5	333.5	205
10:40	666	390	225
11:00	685.5	407.5	242.5
11:20	741.5	454.5	305
11:40	791	505	330
12:00	780	605	350
12:20	760	635	320
12:40	645	598.5	276.5
13:00	634.5	562.5	264.5
13:20	622	533	224.5
13:40	601	460	215.5
14:00	575.5	453	195.5
14:20	555.5	427.5	180
14:40	545	414	165
15:00	529.5	335	150
Promedio	630.24	428.61	218.92

FUENTE PROPIA.

Tabla 2.15.

INTENSIDAD DEL MES DE NOVIEMBRE

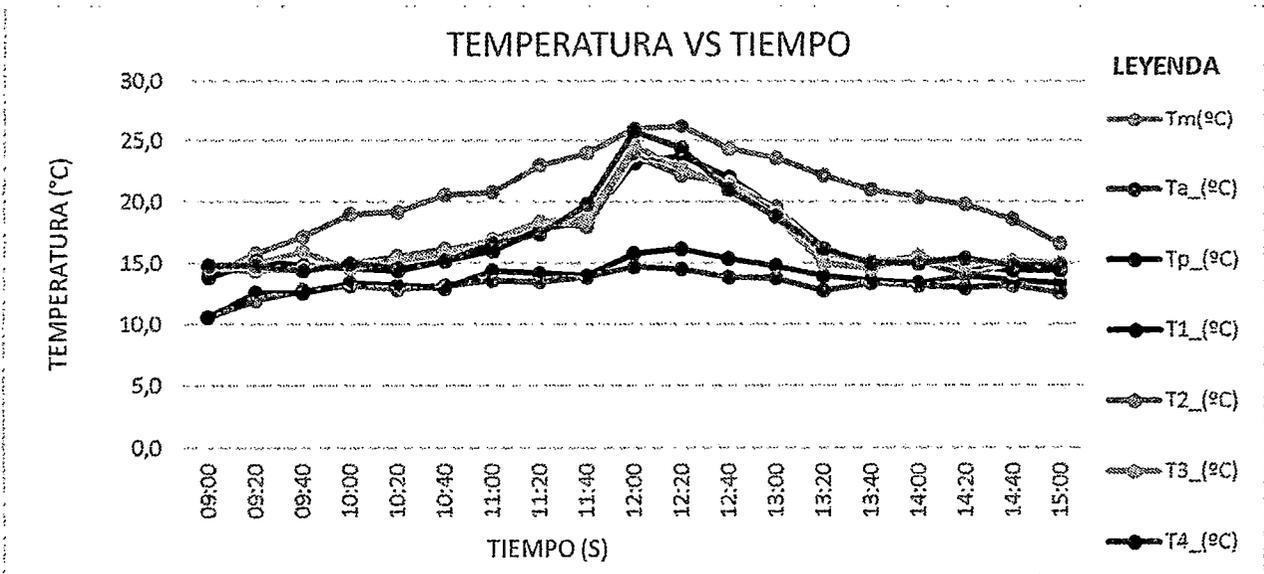
HORA (min)	I_{sw}/m^2	I_{intW}/m^2	I_{extW}/m^2
09:00	321.5	204	80
09:20	390.5	247.5	101.5
09:40	412	273.5	124
10:00	473	321	155
10:20	502	354	248.5
10:40	542.5	389	285
11:00	674.5	421	358.5
11:20	732	452	421
11:40	752	532	468
12:00	824.5	580	537
12:20	837	641	559.5
12:40	856	723	556.5
13:00	883	719	545
13:20	833.5	710	525.5
13:40	768	685	490
14:00	735.5	632	466.5
14:20	687	582	382.5
14:40	632.5	531	353.5
15:00	532	473.5	265.5
Promedio	652.05	498.45	364.37

FUENTE PROPIA.

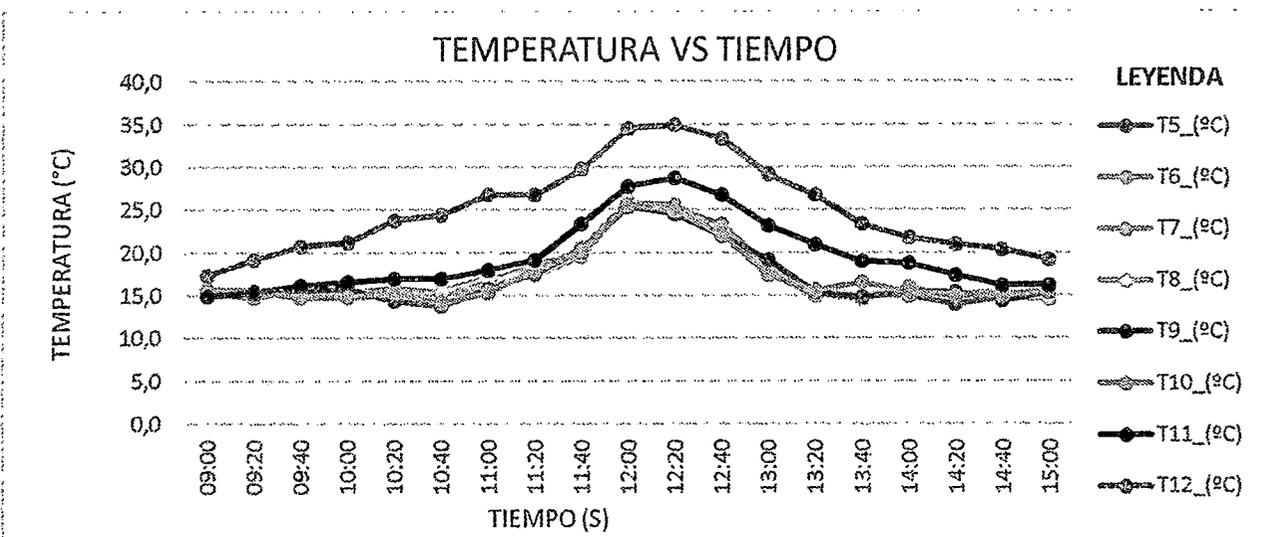
ANEXO-3

GRAFICAS DE LAS TEMPERATURAS- TIEMPO

Grafica 3.2. Grafica de las temperaturas- tiempo mes de julio

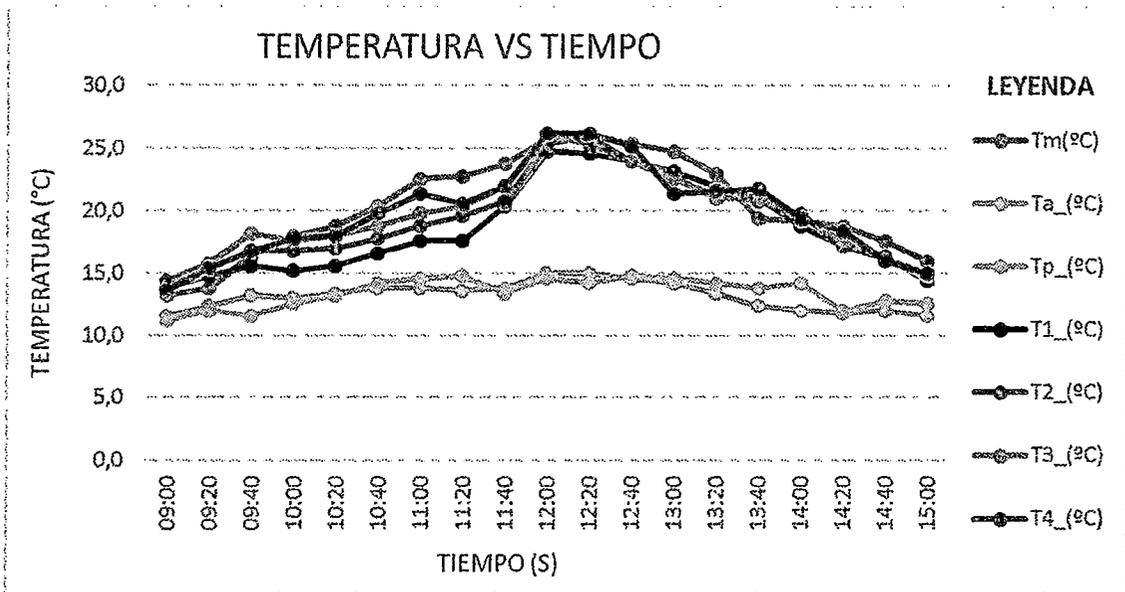


FUENTE PROPIA.

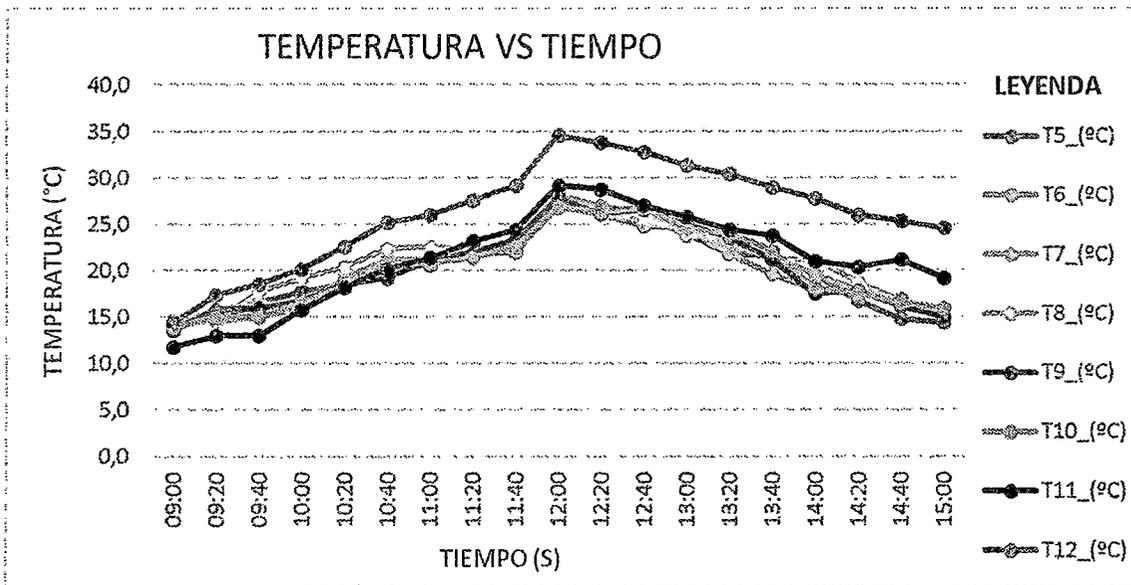


FUENTE PROPIA.

Grafica 3.3. Grafica de las temperaturas- tiempo mes de agosto

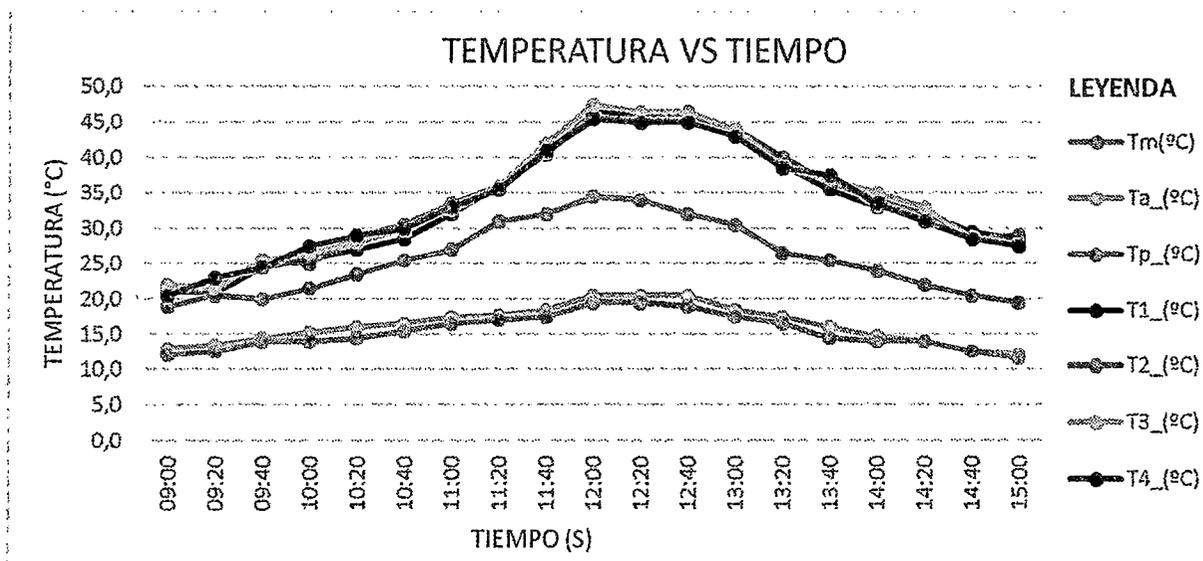


FUENTE PROPIA.

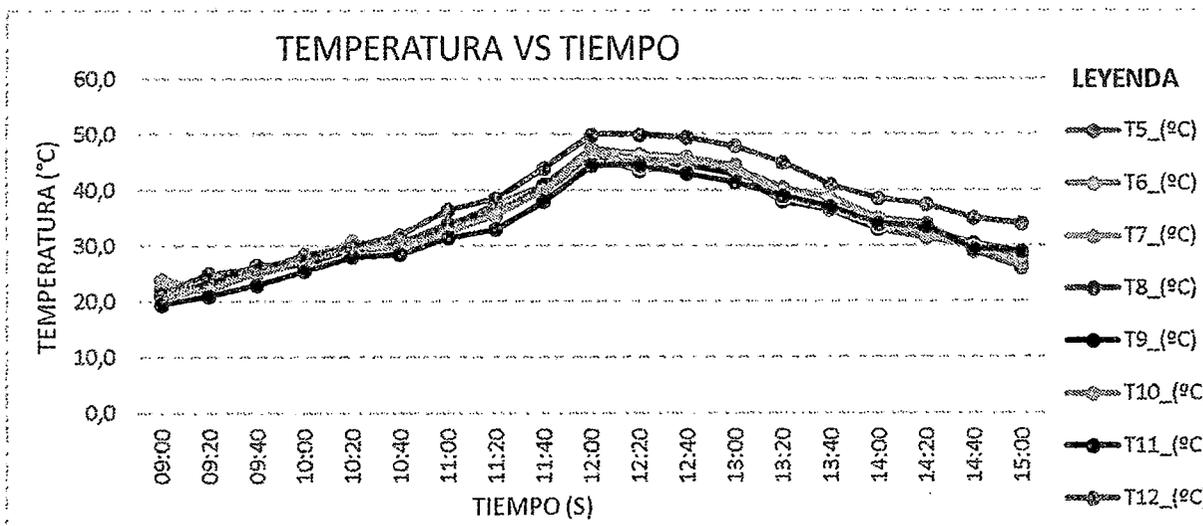


FUENTE PROPIA.

Grafica 3.4. Grafica de las temperaturas- tiempo mes de setiembre

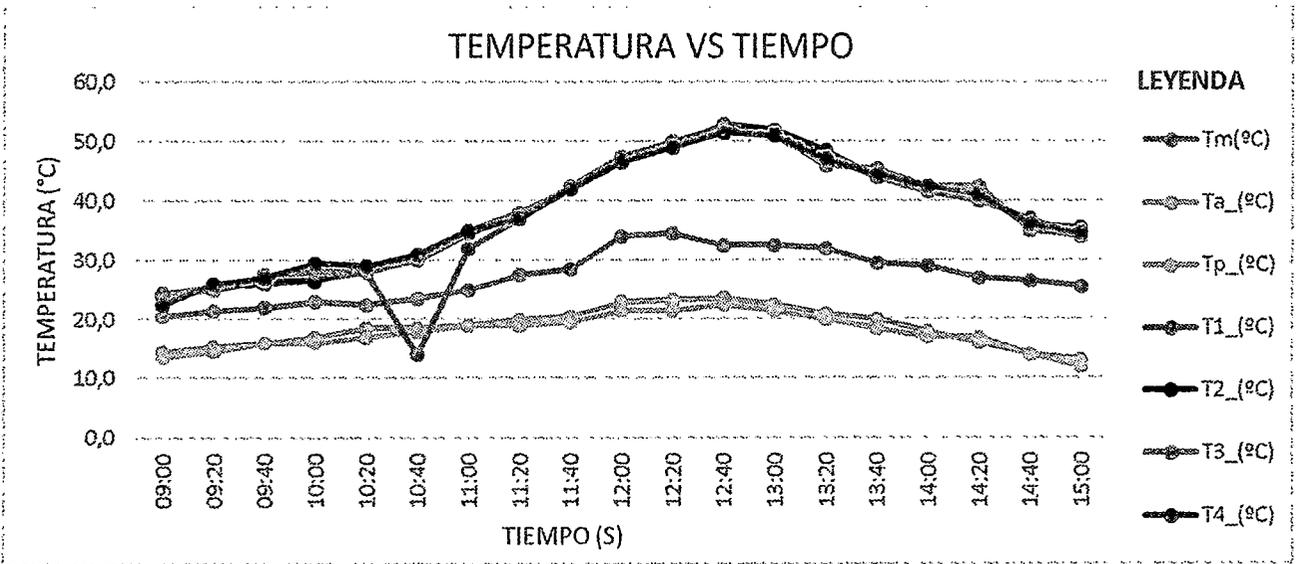


FUENTE PROPIA.

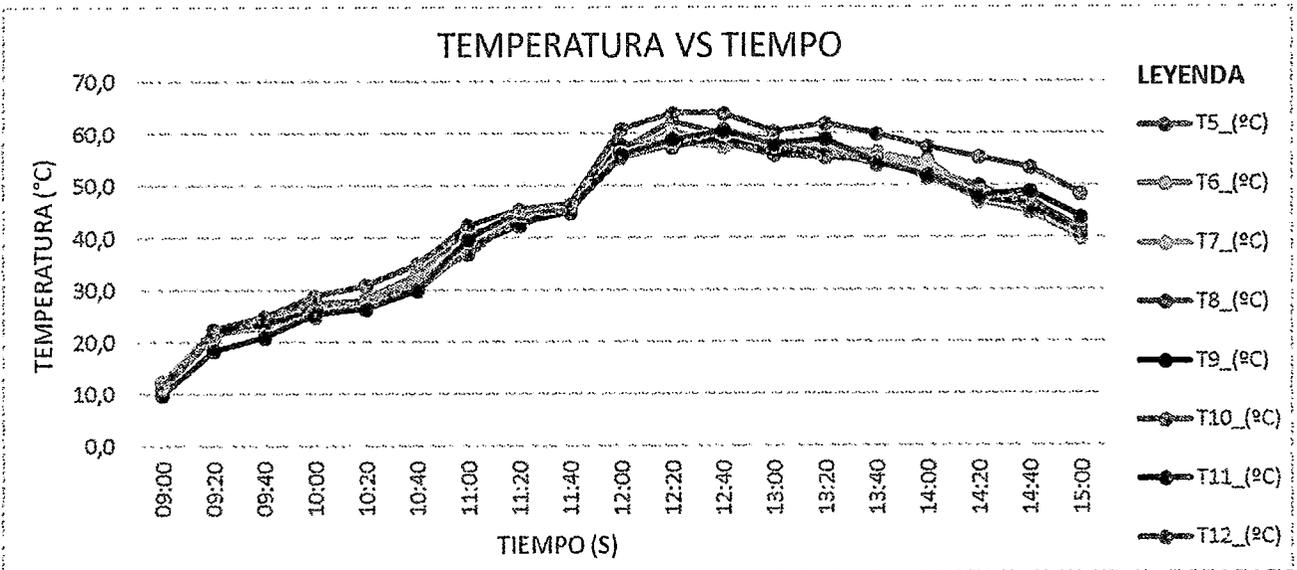


FUENTE PROPIA.

Grafica 3.5. Grafica de las temperaturas- tiempo mes de octubre

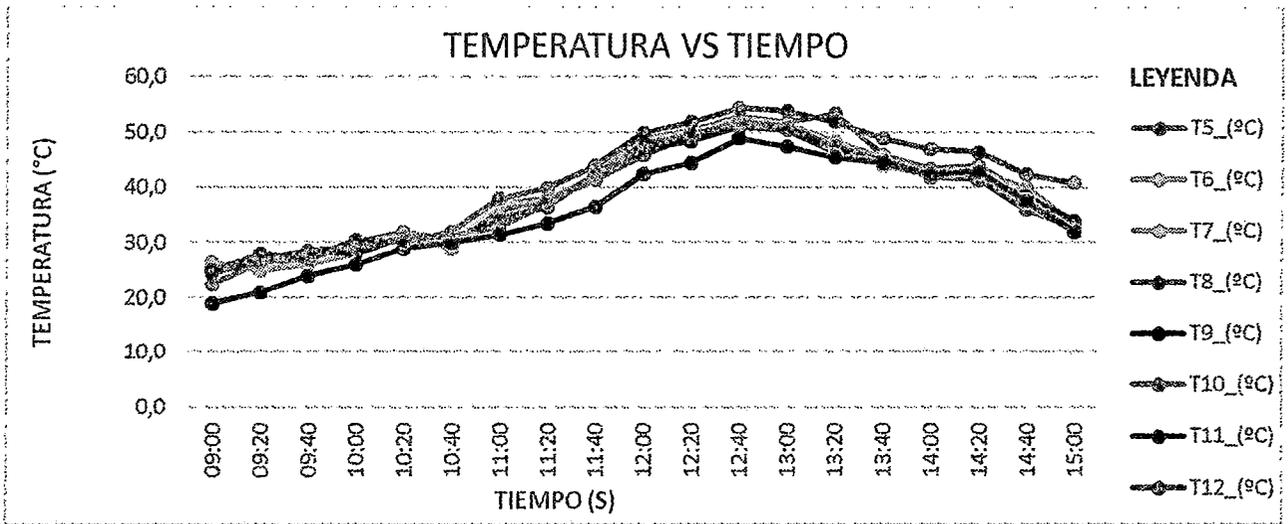


FUENTE PROPIA.

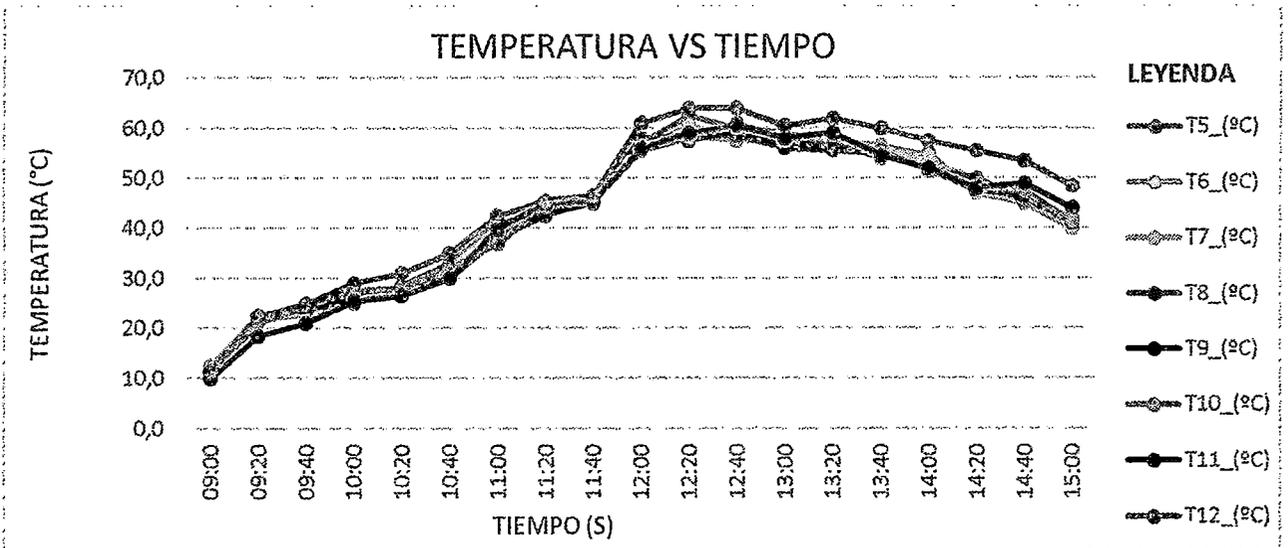


FUENTE PROPIA.

Grafica 3.6. Grafica de las temperaturas- tiempo mes de noviembre



FUENTE PROPIA.

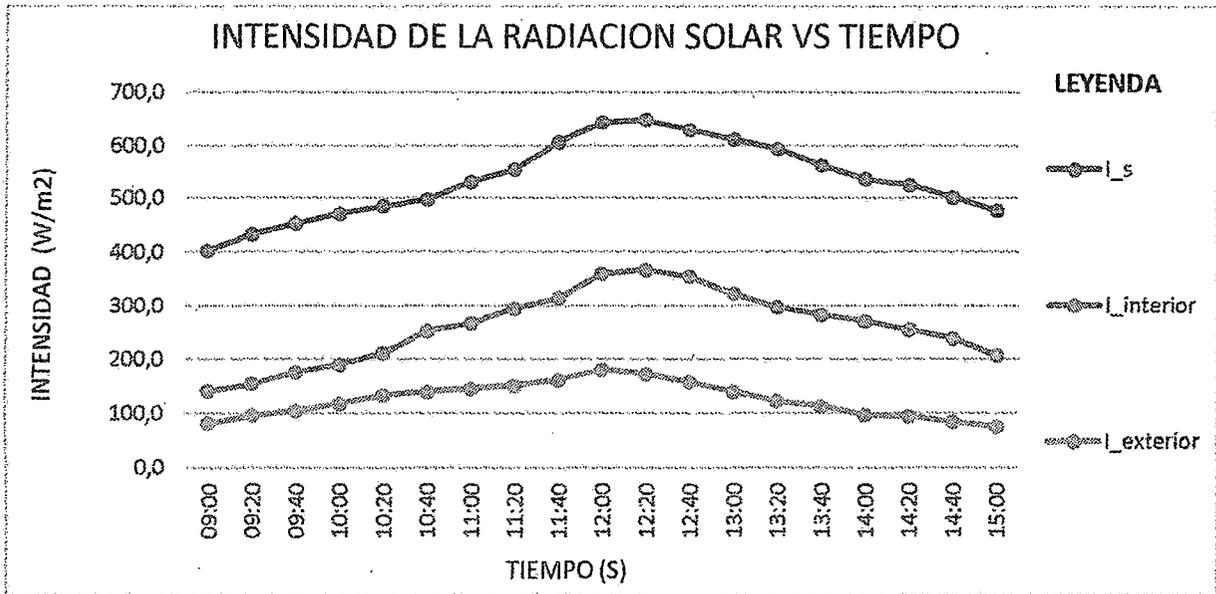


FUENTE PROPIA.

ANEXO-4

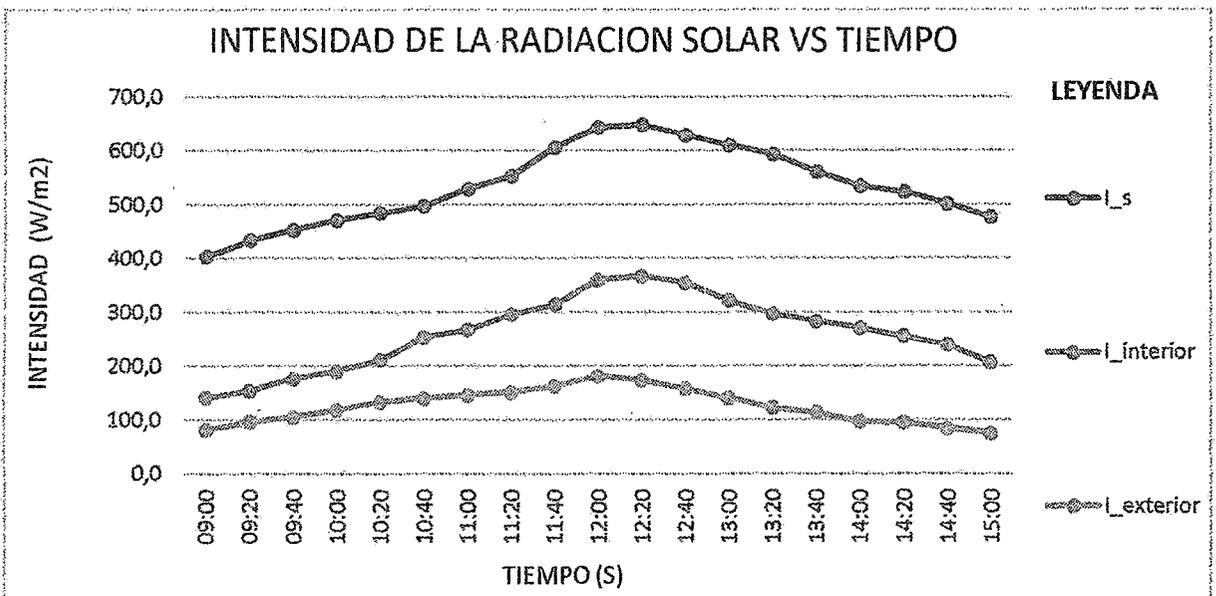
GRAFICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR

Grafica 3.8.



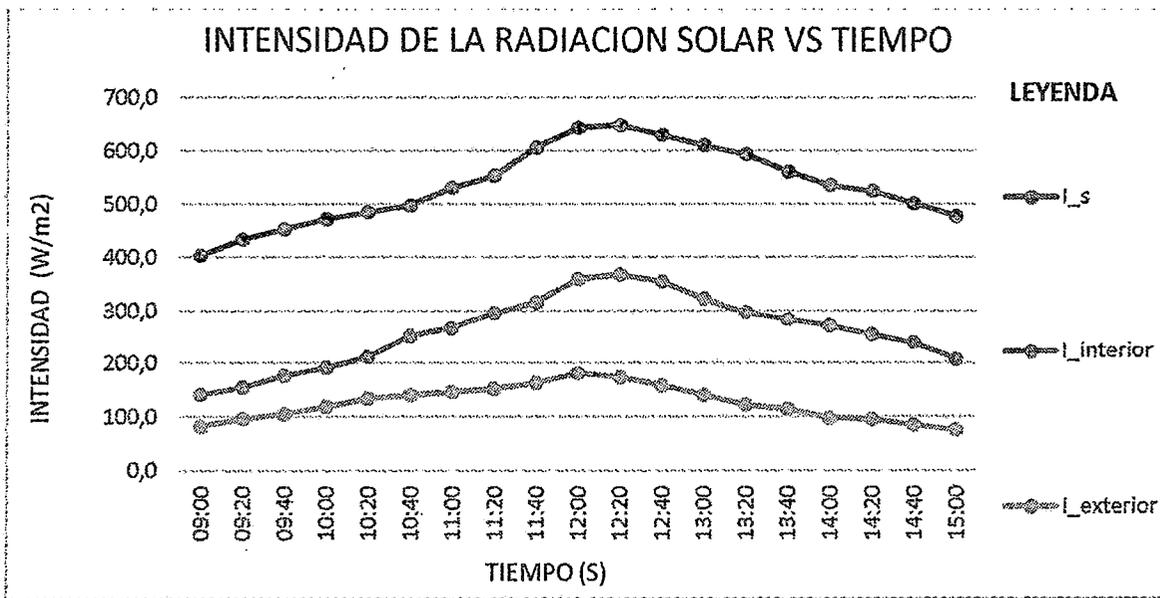
FUENTE PROPIA.

Grafica 3.9.



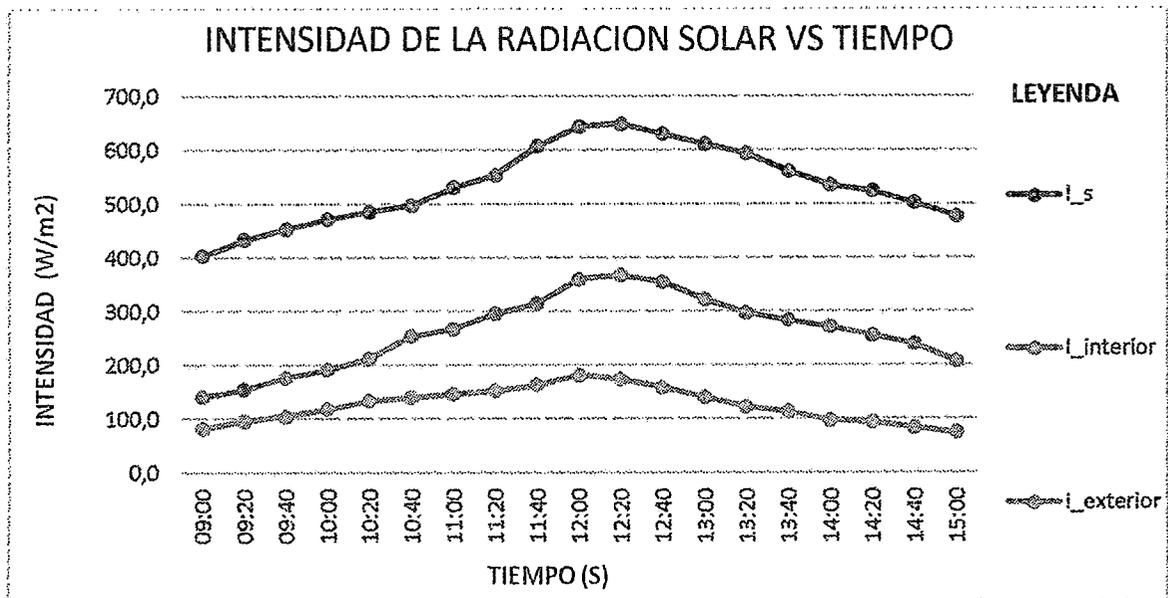
FUENTE PROPIA.

Grafica 3.10.



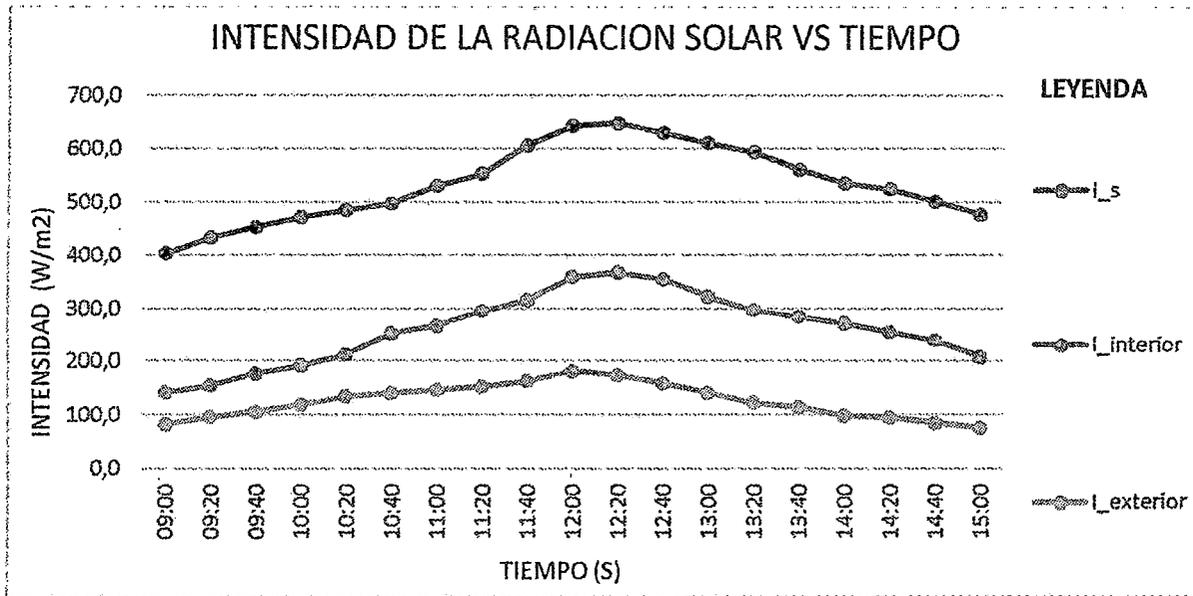
FUENTE PROPIA.

Grafica 3.11



FUENTE PROPIA.

Grafica 3.12.



FUENTE PROPIA.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Yunus A. Çengel, "Transferencia de calor y masa", 3ª Edición 2007.
- [2] Frank P. Incropera David P. De Witt, "Fundamentos de Transferencia de Calor" Cuarta Edición PEARSON.
- [3] Luis Carrasco Venegas, "Transferencia de Calor" Edit. San Marco, 1ra Edición 2005.
- [4] Manrique Jose, Charla Charper Row Transferencia de calor, Latino americano 1985.
- [5] JM Chasseriaux, publicado agencia Francesa para la gestión de energía (AFME) Bordas Paris 1990.
- [6] Juan Inzunza, "Radiación Solar y Terrestre" - Meteorología Descriptiva.
- [7] Instituto de Investigaciones Energéticas de México.
- [8] Gustavo Janqui Esquivel, "Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor solar".
- [9] Convección Natural Casos de estudio Luis M. de la Cruz DCI-DGSCA – UNAM
- [10] Monserrat Viveros Reyes, Obtención de biogás a partir de materia orgánica a través de un biodigestor cilíndrico. Febrero 2008
- [11] Dr. Alberto Julio dimensionamiento de biodigestores
- [12] Transferencia de Calor Profesor: Ramón Frederick G. Colaboración: Sergio Courtin V. Otoño 2006.

WEB GRAFÍA

1. V Simposio Peruano de energía Solar.
2. Universidad de los Andes. "Departamento de Ciencias". Bogotá – Colombia.
3. Fuente propia Biodigestor Solar
4. Guía y diseño y manual de instalación de biodigestores familiares/Jaime Marti Herrero/energéticos/gtzproagro.
5. Manejo de excretas y biodigestores.
6. Estudio de alternativas y dimensionamiento de biodigestores para aplicaciones domesticas en la zona rural.