



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOCARBÓN EN LA**  
**INCINERACIÓN DE GALLINAZA PARA OBTENER ENERGÍA TÉRMICA EN LA**  
**EMPRESA REPROAVI**

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERA EN  
ENERGÍAS RENOVABLES

**AUTORA:**

MORILLO HERRERA HEIDY NICOLE

**DIRECTOR:**

Ing. GRANJA RUALES JORGE EDWIN MSc.

**IBARRA – ECUADOR**

**FEBRERO, 2022**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

### “IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOCARBÓN EN LA INCINERACIÓN DE GALLINAZA PARA OBTENER ENERGÍA TÉRMICA EN LA EMPRESA REPROAVI”

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previa a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**APROBADO:**

Ing. Granja Ruales Jorge Edwin MSc.

**DIRECTOR**

**FIRMA**

Ing. Álvarez Játiva Luis Hernán MSc.

**ASESOR**

**FIRMA**

PhD. Cue García Jorge Luis MSc.

**ASESOR**

**FIRMA**

IBARRA – ECUADOR

FEBRERO, 2022



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior del año 2018, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>		
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	172484711-4	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Morillo Herrera Heidi Nicole	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Pedro Moncayo - Tabacundo – Conjunto Sumahuasi	
<b>EMAIL:</b>	hnmorilloh@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO/MÓVIL:</b>	(02) 3610-371	0968220069

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOCARBÓN EN LA INCINERACIÓN DE GALLINAZA PARA OBTENER ENERGÍA TÉRMICA EN LA EMPRESA REPROAVI</b>
<b>AUTORA:</b>	Morillo Herrera Heidi Nicole
<b>FECHA:</b>	23 de febrero del 2022
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniera en Energías Renovables
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Granja Ruales Jorge Edwin MSc.

## 2. CONSTANCIA

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldré en defensa de la Universidad en caso de reclamación por terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de febrero del 2022.

LA AUTORA



---

Morillo Herrera Heidi Nicole

C.I. 172484711-4

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: Ibarra, 23 de febrero del 2022

MORILLO HERRERA HEIDY NICOLE

**IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOCARBÓN EN LA INCINERACIÓN DE GALLINAZA PARA OBTENER ENERGÍA TÉRMICA EN LA EMPRESA REPROAVI**

### TRABAJO DE GRADO

Ingeniería en Energías Renovables, Universidad Técnica del Norte, Carrera de Ingeniería en Energías Renovables, Ibarra, 23 de febrero del 2022.

**DIRECTOR:** Ing. Granja Ruales Jorge Edwin

El objetivo de la investigación es crear una economía circular con la utilización de los residuos avícolas en diversos procesos como: pirólisis para obtener biocarbón, crear energía térmica para calefacción en los galpones avícolas y evitar el depósito de excretas para reducir la contaminación ambiental.

Ibarra, 23 de febrero del 2022.

LA AUTORA  


---

Morillo Herrera Heidy Nicole

DIRECTOR  


---

Ing. Jorge Edwin Granja Ruales

## AGRADECIMIENTOS

*“La perseverancia puede transformar el fracaso en un logro extraordinario” (Matt Biondi).*

*A Dios y al Universo por haber conspirado en mantenerme firme y no decaer durante este gran esfuerzo que comprendió mi carrera.*

*A mi madre que es la fuente de mayor apoyo en la realización de mis propósitos, a mi padre que con sus sabios consejos me ha sabido guiar a un camino de bien, con infinito cariño, apoyo y paciencia desde siempre; sobre todo por haberme heredado lo más valioso que puede darse a un hijo, EL AMOR. Quienes sin escatimar esfuerzos han sacrificado gran parte de su vida por mi para formarme y educarme. Nunca podré pagarles con las riquezas más grandes del mundo todo lo brindado, a ellos, GRACIAS.*

*Un agradecimiento infinito a tan distinguida Institución como lo es la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) y a la carrera de Energías Renovables.*

*A mi director de tesis, MSc. Jorge Granja Ruales junto con mis asesores MSc. Luis Álvarez y PhD Luis Cué por su gran ayuda, colaboración y predisposición que tuvieron en cada momento y ser el soporte en este trabajo de investigación.*

*Mi profundo agradecimiento al Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) por permitirme realizar análisis de laboratorio en sus instalaciones.*

*Heidy Nicole Morillo Herrera*

## DEDICATORIA

*“Cambia tus pensamientos y cambiarás tu mundo” (Norman Vincent Peale).*

*Esta tesis está dedicada a las personas que han influenciado en mi vida dándome los mejores consejos, haciéndome una persona de bien, con valores y han caminado conmigo de la mano por el mágico sendero de la vida.*

*Es mi deseo como gesto sencillo de dedicar todo mi trabajo realizado a Dios todo poderoso por permitirme hoy estar aquí.*

*A mis padres, **Jorge Ricardo Morillo** y **Rosa Angélica Herrera** que me dieron la vida y han sido un pilar fundamental a cada instante, a quienes amo con todo mi corazón y la vida me dé la oportunidad de tenerlos siempre a mi lado.*

*A Cristian Adrián Morillo, quien fue parte fundamental de todo este proceso, gracias infinitas.*

*A mi familia, docentes, amigos, compañeros de clase y personas especiales en mi vida, que han sido pilares fundamentales para concluir con éxito un proyecto que en principio parecía tarea titánica e interminable.*

*Quisiera dedicar a ustedes personas de bien, seres de amor, bienestar y sabiduría; este logro que gracias a sus palabras de aliento me dieron fuerzas para seguir adelante y hoy estoy cumpliendo mi tan anhelado sueño de ser profesional y servir a mi país con mis conocimientos.*

*Heidy Nicole Morillo Herrera*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.    Antecedentes .....	1
1.2.    Problema de Investigación y Justificación.....	3
1.2.1.    Problema .....	3
1.2.2.    Justificación .....	5
1.3.    Objetivos .....	6
1.3.1.    Objetivo General.....	6
1.3.2.    Objetivos Específicos.....	6
1.4.    Hipótesis .....	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.    Marco Teórico Referencial .....	7
2.1.1.    Bioenergía.....	7
2.1.2.    Biocombustibles.....	7
2.1.3.    Biomasa.....	9
2.1.4.    Pirólisis .....	9
2.1.5.    Biocarbón.....	10
2.1.6.    Granjas Avícolas.....	12
2.1.7.    Gallinaza y su Composición .....	14
2.1.8.    Energía Térmica.....	15
2.1.9.    Transferencia de Calor .....	15
2.1.9.1.    Conducción. ....	15
2.1.9.2.    Convección. ....	15
2.1.9.3.    Radiación. ....	16
2.1.10.    Calefacción por biomasa.....	16



2.1.11. Calefacción de Galpones por Suelo Radiante.....	17
2.2. Marco Legal.....	17
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador.....	17
2.2.2. Código Orgánico del Ambiente (COA).....	18
2.2.3. Reglamento Interministerial de Gestión de Desechos Sanitarios.....	18
2.2.4. Reglamento Zoosanitario de Centros de Concentración de Animales.....	18
2.2.5. Objetivos del Desarrollo Sostenible Ecuador.....	18
CAPÍTULO III.....	19
METODOLOGÍA.....	19
3.1. Caracterización del Área de Estudio.....	19
3.2. Métodos.....	20
3.2.1. Caracterización de los Parámetros Físicoquímicos de la Gallinaza generada en la Industria Avícola.....	20
3.2.1.1 Lugar de Recolección.....	21
3.2.1.2. Tiempo de Recolección.....	22
3.2.1.3. Análisis Físico de la Gallinaza.....	22
3.2.1.4. Análisis Químico de la Gallinaza.....	23
3.2.1.4.1. Secado Muestras de Gallinaza.....	24
3.2.1.4.2. Análisis Poder Calorífico.....	24
3.2.1.4.3. Análisis Contenido de Humedad.....	27
3.2.1.4.4. Análisis Contenido de Cenizas.....	29
3.2.1.4.5. Análisis Proximal.....	31
3.2.2. Construcción de un prototipo para la incineración de gallinaza con la tecnología biocarbón con fines de generación de energía térmica en la industria avícola.....	32
3.2.2.1. Prediseño del Prototipo.....	33
3.2.2.1.1. Requerimientos y Definición de Diseño.....	33
3.2.2.1.2. Análisis Funcional.....	34
3.2.2.1.3. Determinación de Fases.....	36
3.2.2.2. Cálculo y Selección de Materiales.....	37
3.2.2.2.1. Diseño Sistema de Alimentación y Dosificación (fase 1).....	37
Tolva de Alimentación.....	38

Tornillo Sin Fin de Paso Corto para Tolva .....	44
Cilindro Secador Giratorio.....	53
3.2.2.2.2. Diseño Sistema de Pirólisis (fase 2).....	58
Tornillo Sin Fin Paso Corto para Pirólisis. ....	58
Horno Pirolítico .....	61
Suelo Radiante en Galpones .....	62
3.2.2.2.3. Diseño Sistema Biocarbón (fase 3).....	72
Tornillo Sin Fin de Paso Corto para Producir Biocarbón .....	72
3.2.3. Evaluación de los parámetros de operación adecuados del prototipo para el proceso de incineración de la biomasa .....	74
3.3. Materiales y Equipos.....	75
CAPÍTULO V .....	78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	78
4.1. Caracterización de los Parámetros Físicoquímicos de la Gallinaza Generada en la Industria Avícola.....	78
4.2. Construcción de un Prototipo para la Incineración de Gallinaza con la Tecnología Biocarbón con Fines de Generación de Energía Térmica en la Industria Avícola .....	79
4.2.1. Sistema Alimentación y Dosificación.....	80
4.2.2. Sistema Pirólisis.....	81
4.2.3. Sistema Biocarbón .....	82
4.3. Evaluar los parámetros de operación adecuados del prototipo para el proceso de incineración de la biomasa.....	83
4.3.1. Análisis QQ Plot .....	84
4.3.2. Análisis Estadístico.....	87
CAPÍTULO V .....	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
5.1. Conclusiones.....	89
5.2. Recomendaciones .....	90
REFERENCIAS.....	90
ANEXOS .....	101
MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	116
6.1. Seguridad .....	116
6.1.1. Avisos de Seguridad .....	116

6.1.2.	Seguridad Personal.....	117
6.1.3.	Penetración de Fluidos.....	118
6.1.5.	Prevención Contra Cortes.....	119
6.2.	Operación.....	120
6.2.1.	Antes de Arrancar la Máquina.....	120
6.2.2.	Arranque de la Máquina.....	120
6.3.	Mantenimiento.....	120
6.3.1.	Mantenimiento Preventivo.....	120
6.3.2.	Mantenimiento Correctivo.....	121

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Procesos de obtención de biocombustibles</i> .....	8
<b>Tabla 2</b> <i>Procesos para obtención de biocarbón</i> .....	11
<b>Tabla 3</b> <i>Temperatura del galpón según edad del ave</i> .....	13
<b>Tabla 4</b> <i>Composición de cama en las aves de corral</i> .....	14
<b>Tabla 5</b> <i>Caracterización de los parámetros fisicoquímicos de la gallinaza</i> .....	23
<b>Tabla 6</b> <i>Parámetros de dimensionamiento de una tolva cuadrada</i> .....	41
<b>Tabla 7</b> <i>Dimensionamiento de una tolva cuadrada</i> .....	43
<b>Tabla 8</b> <i>Velocidad de giro en función al diámetro y material</i> .....	48
<b>Tabla 9</b> <i>Área de canalón en función al tipo de carga</i> .....	49
<b>Tabla 10</b> <i>Coefficiente de reducción de flujo</i> .....	50
<b>Tabla 11</b> <i>Transporte de material según su coeficiente de resistencia</i> .....	51
<b>Tabla 12</b> <i>Dimensionamiento tornillo sin fin paso corto (tolva)</i> .....	53
<b>Tabla 13</b> <i>Parámetros de diseño cilindro secador giratorio</i> .....	55
<b>Tabla 14</b> <i>Dimensionamiento cilindro secador giratorio</i> .....	57
<b>Tabla 15</b> <i>Dimensionamiento del tornillo sin fin paso corto para pirólisis</i> .....	60
<b>Tabla 16</b> <i>Dimensionamiento tornillo sin fin paso corto para biocarbón</i> .....	72
<b>Tabla 17</b> <i>Parámetros de operación del prototipo</i> .....	75
<b>Tabla 18</b> <i>Materiales, herramientas y equipos</i> .....	76
<b>Tabla 19</b> <i>Resultados caracterización de parámetros químicos en la gallinaza</i> .....	78
<b>Tabla 20</b> <i>Resultados de Sistema de Alimentación y Dosificación</i> .....	81
<b>Tabla 21</b> <i>Resultados Sistema Pirólisis</i> .....	82
<b>Tabla 22</b> <i>Resultados Sistema de Biocarbón</i> .....	82
<b>Tabla 23</b> <i>Resultados de temperaturas parciales en horno pirolítico</i> .....	84
<b>Tabla 24</b> <i>Resultados de temperaturas parciales en aceite de recirculación</i> .....	84
<b>Tabla 25</b> <i>Análisis de componentes principales</i> .....	86
<b>Tabla 26</b> <i>Análisis ANOVA</i> .....	87
<b>Tabla 27</b> <i>Actividades desarrolladas en el mantenimiento preventivo</i> .....	121
<b>Tabla 28</b> <i>Informe de mantenimiento correctivo</i> .....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Problemas ambientales generados por la gallinaza</i> .....	4
<b>Figura 2</b> <i>Diagrama de flujo en el proceso de Pirólisis</i> .....	10
<b>Figura 3</b> <i>Crianza de gallinas en piso y jaulas</i> .....	12
<b>Figura 4</b> <i>Caldera para combustión de biomasa</i> .....	16
<b>Figura 5</b> <i>Ubicación geográfica de la empresa REPROAVI</i> .....	20
<b>Figura 6</b> <i>Gallinaza de la Avícola REPROAVI</i> .....	23
<b>Figura 7</b> <i>Calorímetro modelo IK C 2000</i> .....	25
<b>Figura 8</b> <i>Análisis de poder calorífico</i> .....	27
<b>Figura 9</b> <i>Análisis de contenido de humedad</i> .....	29
<b>Figura 10</b> <i>Análisis de contenido cenizas</i> .....	30
<b>Figura 11</b> <i>Análisis proximal</i> .....	32
<b>Figura 12</b> <i>Análisis funcional del prototipo</i> .....	35
<b>Figura 13</b> <i>Diagrama de fases del prototipo</i> .....	36
<b>Figura 14</b> <i>Diseño de tolva para material grueso y fino</i> .....	39
<b>Figura 15</b> <i>Tolva de tornillo sin fin</i> .....	40
<b>Figura 16</b> <i>Componentes tornillo sin fin de paso corto</i> .....	44
<b>Figura 17</b> <i>Hélice tornillo sin fin de paso corto</i> .....	45
<b>Figura 18</b> <i>Dimensionamiento hélice de tornillo sin fin</i> .....	47
<b>Figura 19</b> <i>Corte cilindro secador giratorio</i> .....	54
<b>Figura 20</b> <i>Vista frontal cilindro secador giratorio</i> .....	54
<b>Figura 21</b> <i>Fase 1: Sistema de alimentación y dosificación.</i> .....	58
<b>Figura 22</b> <i>Canalón de tornillo sin fin paso corto</i> .....	62
<b>Figura 23</b> <i>Toma de calor dentro del horno pirolítico</i> .....	63
<b>Figura 24</b> <i>Distribución de aceite en serpentín simple</i> .....	64
<b>Figura 25</b> <i>Flujo calorífico dentro del galpón</i> .....	67
<b>Figura 26</b> <i>Suelo radiante en galpón</i> .....	68
<b>Figura 27</b> <i>Simulación de prototipo para obtener biocarbón, vista frontal</i> .....	73

<b>Figura 28</b> <i>Simulación de prototipo para obtener biocarbón, vista posterior</i> .....	73
<b>Figura 29</b> <i>Tablero de control en máquina de biocarbón</i> .....	74
<b>Figura 30</b> <i>Prototipo para obtener biocarbón a partir de gallinaza</i> .....	80
<b>Figura 31</b> <i>Análisis QQ Plot de la temperatura de aceite</i> .....	85
<b>Figura 32</b> <i>Análisis QQ Plot temperatura del horno pirolítico</i> .....	86
<b>Figura 33</b> <i>Etiquetas de bioseguridad presente en la máquina</i> .....	117
<b>Figura 34</b> <i>Equipo de seguridad y protección personal</i> .....	118
<b>Figura 35</b> <i>Seguridad en penetración de fluidos</i> .....	119

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOCARBÓN EN LA  
INCINERACIÓN DE GALLINAZA PARA OBTENER ENERGÍA TÉRMICA EN LA  
EMPRESA REPROAVI”**

Trabajo de titulación

Nombre estudiante: Morillo Herrera Heidy Nicole

**RESUMEN**

El elevado consumo energético, crecimiento económico y aumento poblacional originan las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) debido a la dependencia de las energías convencionales. La academia promueve investigar y desarrollar nuevas tecnologías sustentables con el fin de contrarrestar el impacto ambiental causado por actividades antrópicas. El presente proyecto brinda una alternativa de economía circular en el aprovechamiento, reutilización y reciclaje de los residuos generados en la industria avícola (gallinaza) para generar energía sostenible. La producción, control y crianza de aves de corral demandan procesos en consumo de energía y costos, sumado a la producción de volúmenes de estiércol depositados diariamente en la tierra, con efectos nocivos ambientales y perjudiciales para la salud humana. Dentro de la investigación se realizó la caracterización fisicoquímica de la gallinaza presente en la avícola REPROAVI; además, se diseñó, calculó y seleccionó los materiales requeridos para la construcción de un prototipo de biocarbón, finalmente se evaluó los parámetros y registró los datos sobre el funcionamiento del prototipo. Los resultados fueron: un análisis fisicoquímico de la gallinaza con valores de poder calorífico 15.93 MJ/kg, contenido de humedad 10.57 % (p/p) y contenido de cenizas 20.57 % (p/p). Se obtuvo un prototipo de incineración de gallinaza para producir biocarbón (biochar-pirólisis) mediante la incineración o combustión de gallinaza y obtención de energía térmica en el calentamiento de suelos en galpones de aves en las dos primeras semanas de vida en la avícola REPROAVI provincia de Imbabura. A partir de ello, se obtuvo que la temperatura para obtener biocarbón es 450-480 °C y una temperatura máxima de 136 °C en el aceite de recirculación para el calentamiento en el piso del galpón mediante suelo radiante en un área de 64 m<sup>2</sup> con el aprovechamiento 361.2 kg de gallinaza diaria.

**Palabras clave:** gallinaza, combustión, biocarbón, pirólisis, energía térmica.

# IMPLEMENTATION OF BIOCARBON TECHNOLOGY IN THE INCINERATION OF GALLINAZA TO OBTAIN THERMAL ENERGY IN THE REPROAVI COMPANY

## ABSTRACT

High energy consumption, economic growth, and population growth cause greenhouse gas (GHG) emissions due to dependence on conventional energy sources. Academia promotes research and development of new sustainable technologies to counteract the environmental impact caused by anthropogenic activities. This project provides a circular economy alternative in the use, reuse and recycling of waste generated in the poultry industry (poultry manure) to generate sustainable energy. The production, control, and breeding of poultry demand processes in energy consumption and costs, added to the production of volumes of manure deposited daily on the land, with harmful environmental effects and detrimental to human health. Within the research, the physicochemical characterization of the poultry manure present in the REPROAVI poultry farm was carried out; in addition, the materials required for the construction of a biochar prototype were designed, calculated, and selected; finally, the parameters were evaluated and the data on the operation of the prototype were recorded. The results were: a physicochemical analysis of the poultry manure with values of calorific value 15.93 MJ/kg, moisture content 10.57 % (w/w) and ash content 20.57 % (w/w). A chicken manure incineration prototype was obtained to produce biochar (biochar-pyrolysis) by incinerating or burning chicken manure and obtaining thermal energy to heat the floors of poultry sheds in the first two weeks of life at the REPROAVI poultry farm in the province of Imbabura. From this, it was obtained that the temperature to obtain biochar is 450-480 °C and a maximum temperature of 136 °C in the recirculation oil for heating the floor of the poultry house by radiant floor in an area of 64 m<sup>2</sup> with the use of 361.2 kg of poultry manure per day.

**Keywords:** chicken manure, combustion, biochar, pyrolysis, thermal energy.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se muestra el contexto del estudio mundial, nacional y local del tema mediante indagaciones fundamentadas en revisión bibliográfica con bases científicas. Además, se aborda la problemática junto con la justificación y finalmente los objetivos planteados en la investigación.

### 1.1. Antecedentes

La transición energética de combustibles fósiles hacia energías sostenibles requiere de acciones ambientales para reducir emisiones de carbono y mitigar el cambio climático (Liu Xu, 2015). En el año 2015 el Acuerdo de París estableció limitar la temperatura mundial por debajo de los 2 °C en niveles preindustriales y evitar el calentamiento global hasta los 1.5 °C de temperatura, esto implica el aprovechamiento de las energías renovables, como solución a problemas ecológicos por su abundancia, alto contenido de energía y versatilidad (IRENA, 2017).

La bioenergía en particular contiene un alto potencial energético mediante diferentes opciones de biomasa, como: bosques, industrias agrícolas, avícolas y alimentarias, para ser empleados en la obtención de diversas energías ambientales y suplir necesidades (Velázquez et al., 2018). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el objetivo 7 impulsan el avance de energías no contaminantes mediante el empleo de fuentes renovables para disminuir los gases de efecto invernadero (GEI) (Naciones Unidas, 2018).

Ante la búsqueda de nuevas oportunidades ambientales para contrarrestar el cambio climático y fomentar el desarrollo sostenible, se utiliza las excretas de aves (gallinaza) generadas en la industria avícola, para obtener biocarbón mediante proceso de pirólisis (combustión en ausencia de oxígeno a 300-500 °C) y generar energía térmica en reemplazo al consumo energético empleado en la calefacción de suelos en galpones para polluelos en la primera semana de vida; son procesos simultáneos de energía renovable debido al menor consumo de recursos, alternativa ambientalmente superior y evita la dependencia de las fuentes convencionales de energía (Sitio Avícola, 2013).

A principio de los años ochenta la gallinaza fue reconocida como combustible potencial energético alto para la generación de energía térmica, desecho compuesto por la mezcla de excretas de aves con otros materiales presentes en galpones, con poder calorífico de 13.5 MJ/kg y 15-25% de humedad presente (Murillo, 1999). Luego, a mediados de los ochenta los combustibles alternativos derivados de gallinaza fomentaron la idea para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y contribuir a la solución de problemas cotidianos y ambientales de la población (Mullo, 2012).

El primer intento práctico para aprovechar la gallinaza fue en 1986 por la empresa “Energy Technology Support Unit” (ETSU) ubicada en Reino Unido; los galpones avícolas e invernaderos eran calentados por medio del calor generado de una caldera alimentada por carbón, al añadir directamente la gallinaza se produjo una combustión completa de biomasa (Nova Energía, 2009).

La generación de energía térmica a partir de biocombustibles y desechos en el año 2018 alcanzaron los 421 131 GWh de energía equivalente al 90% de producción mundial. En Ecuador, en el año 2019 la generación de energía térmica por combustibles sólidos fue 414 GWh (IEA, 2018).

El Balance Nacional de Energía Eléctrica (BNEE) en 2020 estableció que la biomasa produjo 424 GWh de energía térmica equivalente al 1.32 % de participación eléctrica a nivel nacional (ARCONEL, 2020).

Ecuador posee un gran potencial agropecuario para la producción de aves de corral. La explotación de gallinas es una actividad que incita el desarrollo de escenarios económicos, sociales y ambientales aportando al progreso de las poblaciones vulnerables en el país (Carhuancho, 2012). La crianza y comercialización de estas aves no han sido compensadas debido a los escasos avances tecnológicos y la exigencia de los consumidores que, disminuyen la posibilidad de ser un sector rentable, sin embargo, la disponibilidad de la gallinaza como materia prima es una fuente alternativa viable en el país (Velázquez et al., 2018).

## **1.2. Problema de Investigación y Justificación**

### ***1.2.1. Problema***

En Ecuador y la provincia de Imbabura se genera el residuo procedente de las aves de corral como la gallinaza, misma que se conforma por la mezcla de heces u orina de las gallinas ponedoras de huevos. El Atlas Bioenergético Ecuatoriano establece que existe una producción total de excretas de 150 957 ton/año equivalente a 27 millones cabezas/año de animales, mismos que producen 0.33 m<sup>3</sup>/kg de metano en su máxima expresión (Guzmán et al., 2014). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en su reporte estimó que las heces excretadas por 1 000 gallinas equivalen a 120 kg/día para gallinas ponedoras durante su ciclo de producción (Williams, 1999).

REPROAVI es una empresa destinada a la producción de aves, misma que a causa de la intensa explotación avícola produce problemas de polución ambiental debido a sustancias contaminantes como: emisión de gases, desechos y patógenos. Los volúmenes de estiércol que se generan son depositados en el suelo, luego el fósforo (P) presente en la gallinaza pasa a ríos y lagos para dar lugar al proceso de eutrofización (acumulación de residuos y proliferación de algas) mismo que provoca la muerte de la vida acuática y por ende olores desagradables (Mullo, 2012). Las consecuencias por contaminación de gallinaza pueden ser: suelo, agua y aire, debido a su mal manejo dentro de la avícola como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Problemas ambientales generados por la gallinaza*

<b>Suelo</b>	<b>Agua</b>	<b>Aire</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variación de PH</li> <li>• Metales pesados               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Salinidad</li> <li>• Patógenos</li> </ul> </li> <li>• Contaminantes NO<sub>2</sub> , NO<sub>3</sub>.</li> <li>• Roedores, insectos</li> <li>• Retención de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eutrofización</li> <li>• Polución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Olores desagradables</li> <li>• Gases asfixiantes</li> <li>• Gases irritantes</li> <li>• Desnitrificación</li> </ul>

*Nota.* Tomado de *Manejo y Procesamiento de la Gallinaza* (p.6), por Mullo, 2012.

El impacto ambiental que generan los residuos avícolas afecta la vida del ser humano al mezclar el agua de consumo con nitratos y toxinas procedentes de la gallinaza. El depósito inadecuado de las excretas desarrolla microorganismos patógenos, que pueden ser transmitidos por animales, como: E. Coli, Rotavirus, Zoonosis, Colibacilosis, entre otros.

Estos problemas incitan a empresas e industrias avícolas fomentar una solución ambiental, sin embargo, la escasa tecnología para la gestión de biomasa dentro de las avícolas resta la oportunidad de ser convertidos en fuentes de energía renovable (Mullo, 2012) .

### ***1.2.2. Justificación***

El Libro Blanco de Economía Circular en el Ecuador pretende establecer un nuevo paradigma en el modo de producción y consumo para encontrar un modelo económico sostenible y responsable con el ambiente (Ministerio de Producción, 2021). Dicho de otro modo, es un procedimiento que tiene el objetivo de avanzar económicamente, preservar el medio ambiente y prevenir contaminación para un desarrollo sostenible (Prieto et al., 2017).

La Ley para Gestión Integral de Residuos en Costa Rica, indica el gozo del ser humano en un ambiente sano y ecológico con adecuada salud pública; además, establece que los residuos sólidos contaminantes provenientes de entidades, empresas o industrias, deben ser transformados mediante cualquier proceso de conversión en energía renovable como biocarbón, composta u otros biocombustibles (Asamblea Costa Rica, 2019). Otra investigación realizada en Israel muestra la validación del desarrollo de un proceso denominado biocarbón a partir de la gallinaza que puede ser usado en la producción de energía térmica (ISRAEL21c, 2018).

A lo mencionado anteriormente, el motivo que conlleva al desarrollo de esta investigación es la polución de suelo, agua y aire provocada por los residuos avícolas a diario en la empresa REPROAVI, se enfoca en buscar métodos adecuados para crear una economía circular con la utilización de las excretas de aves en diversos procesos como: pirólisis para obtener biocarbón, crear energía térmica para calefacción en suelos de galpones avícolas y evitar el depósito de excretas para reducir la contaminación ambiental.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Implementar la tecnología biocarbón en la incineración de gallinaza para obtener energía térmica en la empresa REPROAVI.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de la gallinaza generada en la industria avícola.
- Construir un prototipo para la incineración de gallinaza con la tecnología biocarbón con fines de generación de energía térmica en la industria avícola.
- Evaluar los parámetros de operación adecuados del prototipo para el proceso de incineración de la biomasa.

### **1.4. Hipótesis**

La tecnología de biocarbón permite combustionar eficientemente la gallinaza para generar energía térmica en la industria avícola.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo se establece la revisión de literatura mediante información teórica, conceptual y científica, basándose en las diferentes fuentes bibliográficas, mismas que proporcionan sustento a la investigación. Además, se establece el marco legal.

#### **2.1. Marco Teórico Referencial**

##### **2.1.1. Bioenergía**

Es la energía renovable que se deriva de material biológico llamado biomasa (Dahiya, 2020). La bioenergía se produce a partir del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial desarrollada en un proceso biológico o mecánico, proveniente de sustancias que conforman seres vivos, restos o residuos (RBA, 2020). El laboratorio Nacional de Oak Ridge (ORNL) del Departamento de Energía de los EE. UU, define a la bioenergía como energía útil renovable que convierte carbohidratos complejos de materia orgánica en diversas energías (Dahiya, 2020).

##### **2.1.2. Biocombustibles**

Se entiende por biocombustibles aquellos carburantes que proceden de compuestos orgánicos (biomasa) que reemplazan en mayor parte a los combustibles fósiles para producir electricidad o energía térmica (Salinas & Gasca, 2009). El ORNL define a los biocarburantes como combustibles desarrollados de forma directa o indirecta a partir de biomasa, o derivados de conversión y procesamientos energéticos (Dahiya, 2020).

Estos biocarburantes se presentan en estado sólido, líquido y gaseoso; los sólidos forman parte de las briquetas (bloque sólido), pellets y biocarbón que en combustión directa sustituye al carbón mineral, por otro lado, el etanol y biodiesel forman parte los biocombustibles líquidos mismos que son empleados en el sector transporte. Además, los biocombustibles gaseosos representan al biogás, producto de la descomposición de la biomasa en un medio anaeróbico, como se muestra en la Tabla 1 (Salinas & Gasca, 2009).

**Tabla 1**

*Procesos de obtención de biocombustibles*

	<b>Técnicas</b>	<b>Productos</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>Mecánicos</b>	Astillado	Leñas	Calefacción
	Trituración	Astillas	Electricidad
	Compactación	Briquetas	
<b>Termoquímicos</b>	Pirólisis	Biocarbón	Calefacción
	Gasificación	Aceites	Electricidad
		Gasógeno	Transporte Industria química
<b>Bioteconológicos</b>	Fermentación	Etanol	Transporte
	Digestión anaerobia	Biogás	Industria química
			Calefacción Electricidad
<b>Extractivos</b>	Extracción	Aceites	Transporte
		Ésteres	Industria química
		Hidrocarburos	

*Nota.* Tomado de *Los Biocombustibles* (p.76), por Salinas & Gasca, 2009.



### **2.1.3. Biomasa**

Básicamente la biomasa es una fuente energética almacenada por las plantas mediante la fotosíntesis, durante este proceso, el dióxido de carbono y vapor de agua es capturado con la acción del sol para convertirse en glucosa y dar origen a celulosa (Rincón & Silva, 2014). La Oficina de Eficiencia Energética de Energías Renovables de Los EE. UU (EERE), define a la biomasa como el uso energético proveniente de la materia orgánica; además ha sido aplicada desde la antigüedad como materia prima importante para la generación de energía, porque no fomenta el calentamiento global por su balance neutro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Dahiya, 2020).

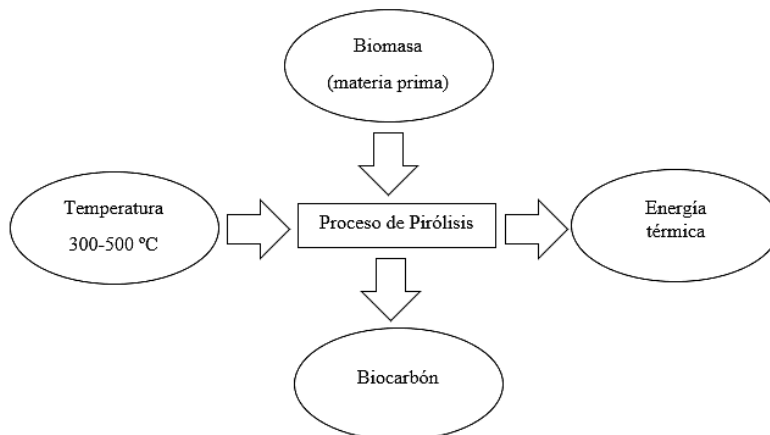
### **2.1.4. Pirólisis**

Es un proceso de transformación termoquímica para convertir biomasa y materiales orgánicos con menor densidad energética a sólidos de mayor densidad energética como el biocarbón (~18 GJ/kg); específicamente la pirólisis lenta implica el calentamiento de la biomasa a temperaturas entre 300-500 °C en una atmósfera en ausencia de oxígeno, en lapsos de 0.1 a 2 °C por un segundo. Bajo estas propiedades la biomasa se descompone, libera vapor, gases de combustión y biocarbón. Las condiciones de pirólisis y cualidades de la biomasa como: tamaño de partícula, porosidad, composición; determinan las características fisicoquímicas del biocarbón producido, lo que contribuye a emplearlo en beneficio del ambiente (Escalante et al., 2016).

Por otro lado, el proceso de pirólisis dispone de tres fases definidas: a) sistema de alimentación de la biomasa, b) la dosificación que permite llegar a la temperatura correcta, c) la pirólisis en donde se obtiene energía térmica y biocarbón en acción al calentamiento generado por una caldera de biomasa hasta temperaturas entre 300-500 °C como se muestra en la Figura 2 (Armijos et al., 2018).

## Figura 2

### Diagrama de flujo en el proceso de Pirólisis



*Nota.* Tomado de *Elaboración de Biocarbón Obtenido a Partir de la Cáscara de Cacao y Raquis de Banano* (p.78), por (Armijos et al., 2018).

### 2.1.5. Biocarbón

El biocarbón es el derivado de la gallinaza con propiedades idénticas a la del carbón vegetal. Es obtenido a partir de un proceso de carbonización en un ambiente anaerobio y bajas presiones con el fin de reducir la contaminación por residuos avícolas (Armijos et al., 2018).

Según Aranda (2017), el biocarbón es caracterizado para determinar su viabilidad otorgando los siguientes valores: en 4 000 g de gallinaza se logró biocarbón resultante de 2 567 g con un rendimiento de 64.18%, a una temperatura de 556 °C en un tiempo de pirólisis de 3 horas, todos los análisis descritos permiten obtener un escenario de aprovechamiento de la biomasa (Trujillo, 2017).

Investigaciones establecen que la gallinaza contiene alta capacidad de intercambio catiónico con alta estabilidad en 300 °C. La metodología destacada para la producción de biocarbón es el pirólisis (incineración).

En el este proceso se pueden obtener tres productos: líquidos (bioaceites), gas (biogás) y residuo carbonoso similar al carbón vegetal con la aplicación de energía sin oxígeno presente, resultando biocarbón (Trujillo, 2017).

La combustión de la biomasa genera dos tipos de residuos: cenizas de fondo (CF) que es formado por todo el material restante y cenizas volátiles (CV) que es el material particulado arrastrado por gases de combustión que se recoge y precipita en filtros. La obtención del biocarbón al ser una tecnología en escala pequeña el material particulado es emitidos en los gases de combustión, si la producción de cenizas asciende se le da una aplicación en la limpieza de aguas residuales o es enviado a gestores ambientales (ver Tabla 2) (MINF, 2017).

**Tabla 2**

*Procesos para obtención de biocarbón*

<b>Proceso Termoquímico</b>	<b>Rango de temperatura (°C)</b>	<b>Tasa de calentamiento</b>	<b>Presión</b>	<b>Tiempo de residencia</b>	<b>Producto primario</b>
Pirólisis lento	300-500	Lenta (<30 °C/min)	Atmosférica	Horas – días	Biocarbón
Torrefacción	200-300	Lenta (<10°C/min)	Atmosférica	Minutos y horas	Biomasa estable y friable
Pirólisis rápido	400-600	Muy rápida (1000 °C/seg)	Vacío - atmosférica	Segundos	Bioaceite
Pirólisis Flash	300-800	Rápida	Elevada	Minutos	Biocarbón, ceniza
Gasificación	700-1500	Moderada-muy rápida	Atmosférica - elevada	Segundos y minutos	Biogás

*Nota.* Tomado de *Diseño y Simulación de un Equipo Generador de Biocarbón Utilizando Materia Orgánica Residual* (p.11), por (Gordillo, 2018).

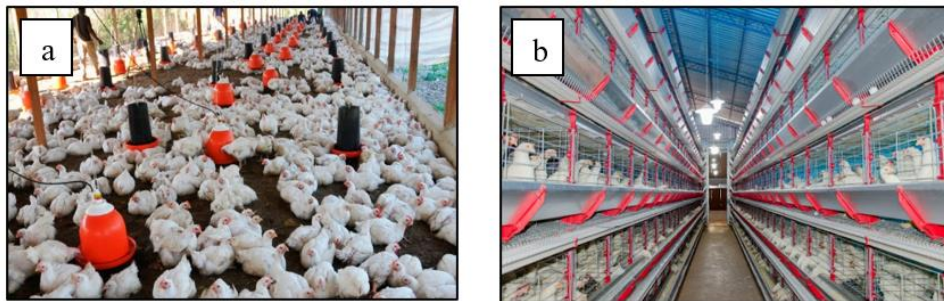
### 2.1.6. Granjas Avícolas

Una granja avícola es un lugar destinado a la cría de aves de corral como pollos, gallinas, pavos, gansos, con el objetivo de ser aprovechados para el consumo humano mediante la venta de su carne y huevos. El diseño y tamaño del galpón depende del tipo de ave que dispone la granja. Las aves que se crían para obtener sus huevos son designadas ponedoras y para producir su carne son llamadas aves de engorde (Rivas, 2015).

Las gallinas ponedoras se crían en piso o jaulas, acorde a los requerimientos del productor y consumidor. En los galpones de piso existe la presencia de cama (virutas de madera, paja seca, cascarilla de arroz u otros) con alrededor de 5 cm de espesor, esto permite absorber las deyecciones generadas por las aves (ver Figura 3a); mientras que las gallinas de jaulas se componen de baterías climatizadas, para mantener la producción de huevos en el ave, cada jaula consta de 3 gallinas, como se muestra en la Figura 3b (Rivas, 2015).

### Figura 3

*Crianza de gallinas en piso y jaulas*



*Nota.* Tomado de *Dimensionamiento y Estudio de Factibilidad para la Implementación de un Suelo Radiante para una Granja Avícola de Engorde Lebrija - Santander* (p.50), por Rivas, 2015. <https://agroempresario.com/publicacion/21311/construccion-de-galpon-para-gallinas-ponedoras/>

La generación de calor en las aves se determina por: su tipo, tasa de metabolismo basal (calor que se emana por procesos vitales), incremento de calor por ingesta de alimento, procesos fisiológicos que a diario realiza, temperatura ambiental y humedad relativa del aire. Todo ello, permiten que el ave se encuentre en confort para evitar estrés calórico (Estrada & Marquéz, 2005).

Durante la primera semana de vida, las aves disponen 37.6 °C de temperatura corporal, tiempo en el que no pueden regular dicha temperatura, lo idóneo es que los polluelos se encuentren bajo una fuente de calor que brinde un ambiente cómodo con una temperatura de 32 °C, si esta se encuentra elevada causa deshidratación y pérdida de peso, mientras que temperaturas inferiores a 20 °C hacen que el sistema inmunológico del ave sea afectado (Estrada & Marquéz, 2005).

El clima dentro del galpón permite la densidad de aves por m<sup>2</sup>, en climas templados el número de aves que se pueden alojar son 10 aves/m<sup>2</sup> y en climas cálidos 7-8 aves/m<sup>2</sup>. Además, la temperatura del galpón es distinta según la edad de la gallina, a medida que esta crece, es menor el requerimiento de temperatura dentro del galpón, como se muestra en la Tabla 3 (Rivas, 2015).

**Tabla 3**

*Temperatura del galpón según edad del ave*

Edad	Calefacción local		Calefacción ambiental en °C
	Bajo la fuente de calor en °C	En el galpón en °C	
Dos primeros días	35-37	24-27	32-34
Resto de la primera semana	32-34	23-26	29-31
Segunda semana	29-31	22-25	26-28
Tercera semana	26-28	21-24	23-25
Cuarta semana	23-25	20-23	20-22
Quinta semana	20-22	19-21	19-21

*Nota.* Tomado de *Interacción de los Factores Ambientales con la Respuesta del Comportamiento Productivo en Pollos de Engorde* (p.251), por Estrada & Marquéz, 2005.

### 2.1.7. Gallinaza y su Composición

Son excretas generadas por gallinas ponedoras al momento de producir un huevo o en periodos de desarrollo del ave. Es idóneo diferenciarlo de la pollinaza, ya que esta se compone de estiércol de pollos para consumo de su carne (Intagri, 2016).

La cama de aves de corral consiste en virutas de madera, cáscaras de arroz, paja u otros materiales que son absorbentes, secos y de menor costo. Luego de su uso, se conforma de deyecciones junto con su cama original y alimento regado (Lechtenberg & Hansjorg, 2012). En la Tabla 4 se muestra la composición de cama o yacija perteneciente a las gallinas ponedoras.

**Tabla 4**

*Composición de cama en las aves de corral*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medida (sustancia original)</b>
Humedad	%	38.7
Ceniza	%	9.1
Volátiles	%	38.1
Azufre	%	0.3
Carbono total	%	23.2
Hidrógeno	%	2.9
Nitrógeno	%	2.8
Oxígeno (sustracción)	%	17.2
Valor calorífico neto	kJ/kg	11.3
Ca	mg/kg	15.2
K	mg/kg	16.7
Na	mg/kg	2.06
Zn	mg/kg	192

*Nota.* Tomado de *Alternative Fuel and Raw Material (AFR) Review “Poultry Litter”* (p.374), por (Lechtenberg & Hansjorg, 2012).

### **2.1.8. Energía Térmica**

Es la energía liberada en forma de calor, que pasa de un cuerpo más caliente a otro con una temperatura menor y ser transformada en energía eléctrica o mecánica. Interviene en los procesos caloríficos que acontecen cuando dos cuerpos de distinta temperatura están en contacto. La unidad de energía definida por el Sistema Internacional de medida es el joule o julio (J) o a su vez las calorías (cal); una caloría es la energía que se necesita para elevar en 1 °C, 1 gramo de agua y su valor es de 4.18 julios (Alomá & Malaver, 2007).

### **2.1.9. Transferencia de Calor**

La energía calorífica producida por la combustión de la biomasa se transfiere desde zonas con elevada a menor temperatura hasta lograr el equilibrio térmico. En termodinámica el proceso de intercambio de calor en temperaturas distintas existirá flujos irreversibles de calor entre cuerpos y se dificulta el equilibrio térmico (Domingo, 2018).

La transmisión de calor se logra entre sistemas de diferentes temperaturas dando lugar a tres mecanismos importantes:

**2.1.9.1. Conducción.** La energía calorífica es transmitida por contacto inmediato entre cuerpos en temperaturas distintas, es decir, desde zonas con mayor energía térmica hacia zonas más bajas en energía. Se otorga la mayor importancia entre sólidos debido a que no hay movimiento microscópico de moléculas (Domingo, 2018).

**2.1.9.2. Convección.** En este proceso la energía calorífica se transfiere por movimiento de moléculas calientes desde altas temperaturas a bajas o viceversa, logrando un equilibrio. Este proceso es llamado también conducción superficial por que el flujo de calor y la superficie de un material se relaciona por la conducción (Domingo, 2018).

**2.1.9.3. Radiación.** La energía del calor es transferida como energía de radiación electromagnética, expuesta por cuerpos en una temperatura (T) que se propaga a la velocidad de la luz y puede ser absorbida para elevar su temperatura (Domingo, 2018).

#### **2.1.10. Calefacción por biomasa**

El calor producido al combustionar biomasa puede ser distribuido a los galpones mediante sistemas de aire, agua o en algunos casos aceite caliente. Específicamente en los sistemas de aceite luego de ser calentado se canaliza por medio de tuberías para calentar el piso del galpón. El proceso de calentamiento de aire, agua o aceite se basa en una caldera de biomasa, en ella se puede colocar pellets, madera e incluso residuos. A diferencia de una caldera tradicional e industrial, la caldera de biomasa no requiere grandes cantidades de dinero utilizarla, limpiarla o mantenerla. Disponen de un sistema de tolva de alimentación automática para llenar la caldera, como se indica en la Figura 4 (Sitio Avícola, 2013).

#### **Figura 4**

*Caldera para combustión de biomasa*



*Nota.* Tomado de *Cómo Elegir una Caldera de Biomasa*, por TECPA, 2020.  
<https://www.tecpa.es/elegir-calderas-biomasa/>



### ***2.1.11. Calefacción de Galpones por Suelo Radiante***

Es una tecnología térmica innovadora para el acondicionamiento viviendas o empresas debido a su versatilidad, rendimiento y bajo impacto visual. Este sistema trabaja en bajas temperaturas lo que permite el confort, reducir emisiones de CO<sub>2</sub> y eficiencia energética. Funciona impulsando fluidos de agua, aire o aceite a mediana temperatura 40 °C en invierno y 16 °C en verano a través de tuberías plásticas de polietileno sin aditivos, alimentadas por calderas, siendo un sistema de calefacción que brinda comodidad en techos, suelos y superficies (Sarachu, 2018).

## **2.2. Marco Legal**

La normativa ecuatoriana se rige por disposiciones constitucionales para garantizar el cumplimiento de derechos, deberes y garantías en el desarrollo nacional. En esta investigación se enmarca específicamente la conservación del ambiente y ecosistemas mediante aplicación de tecnologías renovables con el fin de mitigar los impactos ambientales producidos por actividades antrópicas.

### ***2.2.1. Constitución de la República del Ecuador***

La Constitución Ecuatoriana mediante los artículos 413 y 414 establecen promover la eficiencia energética, desarrollo, uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias como las energías renovables de bajo impacto sin poner en riesgo la soberanía alimentaria del país, mediante la limitación de emisiones de gases efecto invernadero, medidas frente al cambio climático y proteger a la población (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

### **2.2.2. Código Orgánico del Ambiente (COA)**

El COA garantiza la sostenibilidad, conservación y protección del ambiente mediante la regulación del aprovechamiento de recursos y residuos generados en las industrias. En el art. 269, numeral 7, especifica: “El estado debe generar normas, proyectos y procedimientos para la gestión integral de desechos y sean dispuestos o eliminados según convenga” (Asamblea Nacional, 2017).

### **2.2.3. Reglamento Interministerial de Gestión de Desechos Sanitarios**

El reglamento interministerial hace hincapié en su art. 3 sobre la gestión de los residuos generados de humanos, animales y otros, hasta su depósito y fines de aprovechamiento externo como energía con el fin de reducir riesgos a la población y ambiente (Tapia & Mafla, 2014).

### **2.2.4. Reglamento Zoosanitario de Centros de Concentración de Animales**

El reglamento mediante su art.6 numeral 4 señala que el estiércol, residuos sólidos y aguas provenientes de Centros de Comercialización de animales de producción deben ser sometidos a tratamientos adecuados evitando contaminación (MAGAP, n.d.).

### **2.2.5. Objetivos del Desarrollo Sostenible Ecuador**

La ODS en su objetivo 7, energía asequible y no contaminante, menciona que se requiere invertir en energías limpias y no contaminantes como solar, eólica, termal y biomasa para optimizar la productividad energética (PNUD Ecuador, 2012).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describe el área de estudio seleccionada, así como la metodología desarrollada para el cumplimiento de los objetivos específicos mediante registros bibliográficos que sustenten los métodos aplicados; finalmente se detallan los materiales, herramientas y equipos empleados en la investigación.

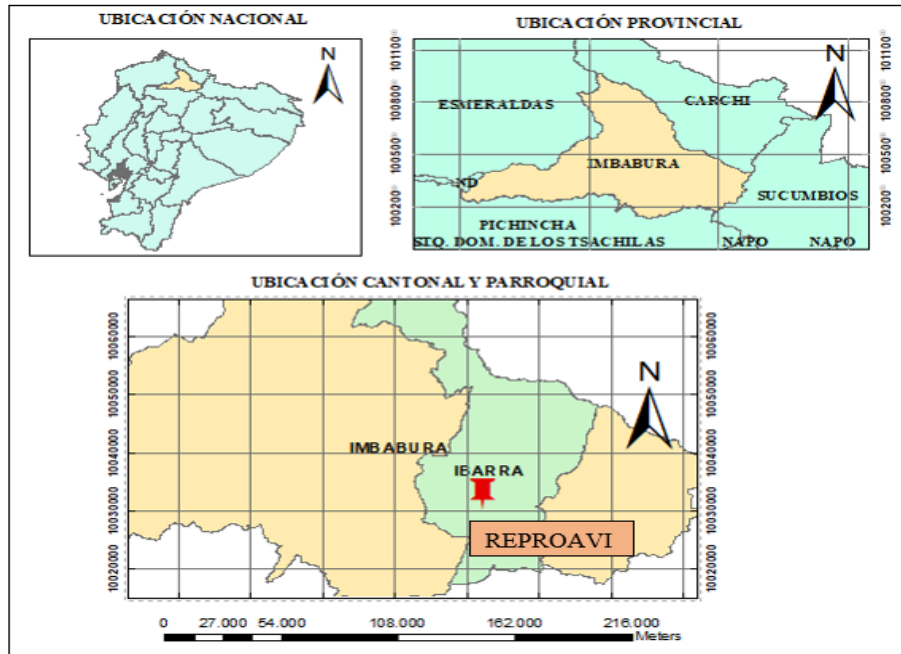
#### 3.1. Caracterización del Área de Estudio

La provincia de Imbabura se encuentra localizada en el norte del Ecuador, en las coordenadas geográficas 0°21'00" latitud norte y 78°08'00" longitud oeste, con un área territorial de 4 794.31 km<sup>2</sup> a una altura media de 2 500 msnm. Este lugar limita al norte con la provincia del Carchi, al sur Pichincha, este Sucumbíos y oeste Esmeraldas. Su clima oscila entre los -10 a 35 °C mismos que permiten actividades agropecuarias, pecuarias y avícolas para el sustento humano (Prefectura Imbabura, 2019).

La empresa Avícola REPROAVI se encuentra en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, ciudad San Miguel de Ibarra, localización El Sagrario, con coordenadas 0°21'00" latitud norte y 78°07'00" longitud oeste a 2 215 msnm, como se observa en la Figura 5 (Prefectura Imbabura, 2019). REPROAVI es una empresa familiar que se dedica a la crianza de pollos y reproducción de aves de corral de la especie *gallus domesticus* con fines comerciales. Su producto es distribuido en las provincias de Carchi, Imbabura, Quito y Latacunga (Gómez de la Torre & Cangas, 2015).

**Figura 5**

*Ubicación geográfica de la empresa REPROAVI*



### 3.2. Métodos

En este segmento se detallan los procedimientos y técnicas metodológicas aplicadas en el desarrollo de los objetivos específicos planteados en la investigación.

#### 3.2.1. *Caracterización de los Parámetros Fisicoquímicos de la Gallinaza generada en la Industria Avícola*

La gallinaza para ser aprovechada de forma correcta y someterla a tratamientos con el objetivo de obtener productos como el biocarbón y energía térmica, se requiere conocer sus propiedades físicas y químicas, debido a que estas características establecen el biocombustible o subproducto de energía que se puede obtener. Además, estos análisis permiten saber si influyen en las condiciones de trabajo en una máquina para conseguir biocarbón (Manals et al., 2018).

A continuación, se muestra el lugar y tiempo de recolección de gallinaza, así como su caracterización física y química.

**3.2.1.1 Lugar de Recolección.** La gallinaza empleada para caracterizar los parámetros fisicoquímicos proviene de la granja avícola REPROAVI, sucursal El Sagrario. Para fines de esta investigación se centró en seleccionar parte de un galpón con una capacidad de 450 aves en un área de 64 m<sup>2</sup>. La generación de gallinaza diaria para el área establecida fue evaluada por el método de yacija o cama tomando un valor de 4 kg/m<sup>2</sup> de residuos avícolas con respecto al área del galpón. Según Williams (1991), un promedio de 1 000 gallinas ponedoras produce 120 kg/día de residuos avícolas secos. Entonces 450 aves producen 54 kg/día de gallinaza. La generación de excretas mediante el método de yacija o cama se calculó por la ecuación 1 (Trujillo, 2017).

$$Y = Ra * A + 20\% \quad (1)$$

$$Y = 4 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 64 \text{ m}^2 + 20\% = 307.2 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Donde:

Y= generación de residuos avícolas, en kg/día.

Ra= valor de gallinaza por galpón, en kg/m<sup>2</sup>.

A= área del galpón, en m<sup>2</sup>.

Se aclara que el cálculo de estiércol generado diariamente no cuenta con el valor de aves fallecidas. Al obtener el valor de la gallinaza mediante el método de la yacija o cama, se procedió a la suma total de gallinaza generada en la avícola por exactamente 450 aves, expresada en la ecuación 2.

$$G = Y + D \quad (2)$$

$$G = (307.2 + 54) \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 361.2 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Donde:

G= generación total de gallinaza, en kg/día.

Y= generación de residuos avícolas, en kg/día.

D= producción de residuos por n número de aves, en kg/día.

Entonces, el volumen generado por la gallinaza diariamente se expresa en la ecuación 3.

$$V = G/\rho \quad (3)$$

$$V = \frac{361.2}{550} = 0.65 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde:

V= volumen de la gallinaza, en m<sup>3</sup>/día.

G= generación total de gallinaza, en kg/día.

ρ= densidad de la gallinaza, en kg/m<sup>3</sup>.

**3.2.1.2. Tiempo de Recolección.** La recolección de muestras se realizó desde el lunes 09 de noviembre del 2020 y terminó el 22 de noviembre del mismo año. La primera semana se obtuvo 1.5 kg de muestras a las 9 am y 1.5 kg la semana siguiente a las 15 pm. En total 3 kg para análisis fisicoquímicos y además se otorgó 200 kg de gallinaza para pruebas de funcionamiento cuando el prototipo se encuentre en operación.

**3.2.1.3. Análisis Físico de la Gallinaza.** Una vez obtenidas las muestras de gallinaza en REPROAVI se observó que se encuentra en estado seco con la presencia de plumas y otros materiales de cama como: aserrín, cascarilla de arroz, alimento y viruta de madera, (ver Figura 6).

## Figura 6

*Gallinaza de la Avícola REPROAVI*



**3.2.1.4. Análisis Químico de la Gallinaza.** En la caracterización de los parámetros químicos se determinó: poder calorífico, contenido de humedad, contenido de cenizas y análisis proximal de la gallinaza, con cierta cantidad de muestras, bajo las normativas BSI (British Standards Institution), que se adaptan a la investigación, como se indica en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Caracterización de los parámetros fisicoquímicos de la gallinaza*

<b>Descripción de muestras</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Normativa</b>
Poder calorífico	3	BSI EN 14918:2009
Contenido de humedad	5	BSI EN 14774-2:2017
Contenido de cenizas	5	BSI EN 14775:2009
Análisis proximal	1	BSI EN 15148:2009

*Nota.* En la Tabla 5 se muestra los análisis fisicoquímicos de la gallinaza que fueron realizados en el Laboratorio de Investigación Geológico y Energético (IIGE).

**3.2.1.4.1. Secado Muestras de Gallinaza.** Para iniciar la caracterización de la biomasa, las muestras deben estar en estado seco con menos del 20% de humedad presente, en caso de que la gallinaza se encuentre con un valor alto de humedad (60%) se procede al secado aplicando los siguientes pasos y evaluados mediante la ecuación 1 (Cruz, 2018):

- Secar el recipiente a 45 °C al cabo de 3 horas.
- Dejar enfriar el recipiente, pesar y registrar el peso como  $W_t$ .
- Pesar el recipiente incluida la biomasa y registrar el peso como  $W_i$ .
- Secar la biomasa, en un horno de secado a 45 °C por 36-48 horas.
- Dejar enfriar la biomasa y el recipiente, pesar y registrar el peso como  $W_f$ .
- Calcular el contenido de sólidos totales a 45 °C (Cruz, 2018).

$$\%T_{45} = \frac{W_f - W_t}{W_i - W_t} * 100 \quad (4)$$

Donde:

$\%T_{45}$ = sólidos totales en la muestra seca a 45 °C, en %.

$W_t$ = peso del recipiente, en gramos.

$W_i$ = peso inicial, de la biomasa y el recipiente, en gramos.

$W_f$ = peso final, de la biomasa y el recipiente, en gramos.

**3.2.1.4.2. Análisis Poder Calorífico.** El poder calorífico indica el contenido de energía presente en un biocombustible por unidad de masa (kJ/kg) o volumen, que se desprende en una reacción de oxidación (DIEMVIC, 2018). La normativa BS EN 14918 establece un método para determinar el poder calorífico en un biocombustible sólido con volumen constante, apoyado de un calorímetro tipo IKA C 2000 calibrado con ácido benzoico a 25 °C de temperatura (ver Figura 7).



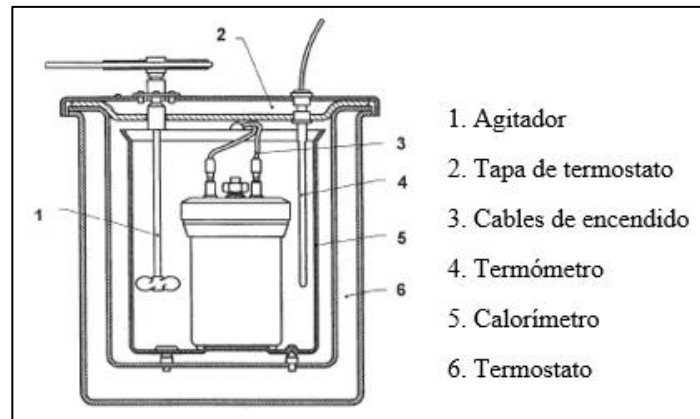
El resultado es el poder calorífico bruto procedente de la muestra a volumen constante junto con el agua de los productos de combustión. Este análisis se calcula por el aumento de temperatura y la capacidad calorífica del calorímetro, tomando en cuenta contribuciones de energía de ignición (inicio de combustión), y efectos de reacciones secundarias dentro del proceso (BSI, 2009b).

A partir de ello, se realizó la preparación de la muestra:

- La muestra de gallinaza se recibió en envase hermético, misma que fue triturada y pasada por un tamiz con abertura 1 mm, además para una combustión completa dentro del calorímetro se tamizó a 0.5 mm y 0.25 mm de abertura.
- La gallinaza triturada se colocó en una bolsa o cápsula para combustión.
- La biomasa estuvo con humedad óptima y un ambiente idóneo dentro del laboratorio.

### Figura 7

*Calorímetro modelo IK C 2000*



*Nota.* Tomado de *BSI EN 14918:2009 Solid Biofuels Determination of Calorific Value* (p.9), por (BSI, 2009b).

**Procedimiento Calorimétrico.** Consiste en efectuar una reacción de combustión cuantitativa a biocombustibles (biomasa seca) y analizar el cambio de temperatura en el proceso de la bomba, consta de dos experimentos: la preparación de la bomba y montaje de calorímetro IKA C 2000. A continuación, se describen los pasos seguidos en cada procedimiento (BSI, 2009b).

Preparación de la bomba para medición:

- Se pesó la cápsula de combustión en el crisol con 0.5 g de gallinaza (ver Figura 8a).
- Se pesó el fusible de combustión con precisión igual al pesaje de la muestra en el crisol.
- Se comprobó la resistencia del circuito en la bomba, este no debe exceder de  $5 \Omega$  a  $10 \Omega$  entre: los conectores exteriores en la cabeza de la bomba, el conector de electrodo aislado y cabeza de la bomba.
- Se sujetó el fusible al cable encendido, en el crisol fue colocado y ubicado el fusible con la cápsula que contiene la muestra (ver Figura 8b).
- Finalmente, se ensambló la bomba y cargó con oxígeno en una presión de  $(3.0 \pm 0.2)$  MPa para evitar desplazar el aire y se encendió la termocupla junto con el agitador (BSI, 2009b).

**Montaje del Calorímetro.** El agua destilada fue llevada al calorímetro para llenar la lata con la cantidad requerida de 2 kg a  $\pm 3$  K de la temperatura inicial. La superficie exterior de la lata fue desinfectada antes de colocar en el termostato. Se montó la bomba en el calorímetro, luego de que la lata se haya colocado en el termostato. Además, se comprobó si no existe fugas de gas en la bomba y las válvulas. A partir de ello se conectaron los cables de circuito encendido y se montó el termómetro y el calorímetro y de inicio a su operación (BSI, 2009b).

Las lecturas de temperatura comenzaron a 0.001 K por cada 1 minuto en cuanto el calorímetro logró las condiciones de estado estable, con el fin de mantener un funcionamiento correcto de un sistema adiabático.

Al completarse el proceso de combustión, se retiró la bomba del calorímetro, se liberó la presión lentamente y se desmanteló la bomba. Por último, se examinó si la muestra del crisol se combustionó eficazmente. Los análisis obtenidos, se mostraron en la pantalla de análisis propia del calorímetro (ver Figura 8c) (BSI, 2009b).

### Figura 8

#### *Análisis de poder calorífico*



*Nota.* Las figuras 8a, 8b y 8c representan el procedimiento que se realizó para obtener el poder calorífico en muestras de gallinaza.

**3.2.1.4.3. Análisis Contenido de Humedad.** La normativa BSI EN 14774-2:2017 determina un método para obtener la humedad de biocombustibles sólidos a través del secado en un horno (ver Figura 9c). La muestra es secada a una temperatura de (105 °C) hasta alcanzar una masa constante y posterior a ello se calcula el porcentaje de humedad luego de la pérdida de masa en la muestra. (BSI, 2017).

**Preparación de la muestra.** Se recibió las muestras en recipientes o envases herméticos. La muestra tuvo un tamaño superior de 30 mm. La masa fue de 300 g, sin embargo, en el caso de la gallinaza, se redujo a 200 g equivalente a 0.01 g a 100 g en la balanza (BSI, 2017).

Procedimiento:

- Se pesó un recipiente de secado vacío y limpio en 0.1 g, y se transfirió la muestra al recipiente (ver Figura 9a).
- Se secó el recipiente previo a ser colocado en el horno, fue pesado antes y después del secado.
- Para evitar que los biocombustibles absorban nuevamente humedad luego del secado en el horno, se agitó el recipiente para reabsorber la humedad en la muestra de gallinaza (ver Figura 9b) (BSI, 2017).

La humedad presente en las muestras de gallinaza se calculó mediante la ecuación 5:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1) + m_4} * 100 \quad (5)$$

Donde:

$M_{ar}$  = contenido de humedad, en %.

$m_1$  = masa del recipiente de secado vacío, en gramos.

$m_2$  = masa de recipiente de secado y muestra antes de secado, en gramos.

$m_3$  = masa de recipiente de secado y muestra después de secado, en gramos.

$m_4$  = masa de humedad relacionada a empaque, en gramos (BSI, 2017).

## Figura 9

### *Análisis de contenido de humedad*



*Nota.* Las Figuras 9a, 9b y 9c representan el procedimiento que se realizó para obtener el contenido de humedad en muestras de gallinaza.

**3.2.1.4.4. Análisis Contenido de Cenizas.** El análisis de contenido de ceniza en biocombustibles sólidos se basa en la normativa BSI EN 14775 misma que permite calcular la masa de residuo que sobra luego de la muestra calentada a 550 °C en aire controlado en tiempo (BSI, 2009a). Preparación de la muestra. Esta debe tener un tamaño superior a 1mm (BSI, 2009a).

#### ***Procedimiento***

- Se calentó el plato vacío en el horno a 550 °C en 60 minutos. El plato fue retirado del horno y dejado sobre una placa que resista el calor alrededor de 5-10 minutos para ser enfriado, luego se pasó el plato a un desecador y enfriar a temperatura ambiente. Cuando el plato estuvo frío, se pesó en 0.1 mg y se registró datos de la masa (ver Figura 10a).
- Se pesó el plato incluida la muestra de gallinaza al 0.1 mg.

- Finalmente se colocó las muestras del plato con la biomasa en el horno a 550 °C. Se retiró el plato con la biomasa del horno, se dejó enfriar y se registró datos (ver Figura 10b) (BSI, 2009a).

El contenido de cenizas se calculó mediante la ecuación 6 mostrada a continuación:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 * \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (6)$$

Donde:

$A_d$ = contenido de cenizas en base seca, en %.

$m_1$ = masa de plato vacío, en gramos.

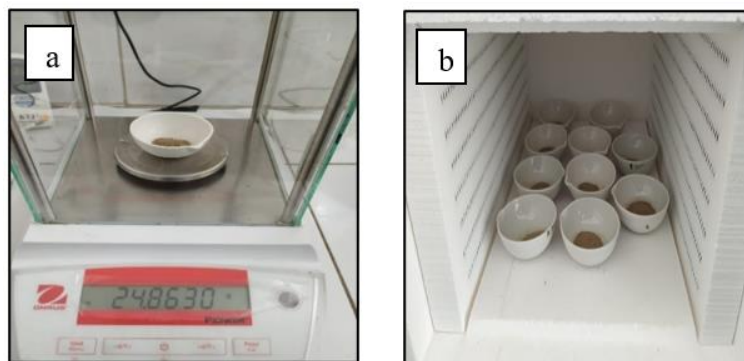
$m_2$ = masa de plato vacío más muestra de gallinaza, en gramos.

$m_3$ = masa de plato más ceniza, en gramos.

$M_{ad}$ = contenido de humedad en la muestra empleada para la determinación, en %.

## Figura 10

### *Análisis de contenido cenizas*



*Nota.* Las Figuras 10a y 10b representan el procedimiento que se realizó para obtener el contenido de cenizas presente en muestras de gallinaza.

**3.2.1.4.5. Análisis Proximal.** La normativa que permite el análisis proximal de los biocombustibles sólidos (gallinaza) es BS EN 15148, establece que una muestra se calienta en ausencia del aire ambiental a 900 °C por 7 minutos. La materia volátil se evalúa mediante la pérdida de masa debida a la humedad (BSI, 2009c).

**Preparación de la muestra.** Consta de un tamaño superior a 1mm, debe ser mezclada y estar en equilibrio con la humedad atmosférica del laboratorio o de otro modo secado en horno (BSI, 2009c).

**Procedimiento**

- Se copó un soporte con un crisol y su tapa vacíos e introducidos en el horno a 7 minutos con 900 °C. Luego, se retiró el crisol del horno, se dejó enfriar al ambiente y fue guardado en un desecador (ver Figura 11a).
- Se pesó el crisol con la tapa vacíos más 1 o 0,1 g de porción de muestra, se golpeó el crisol ligeramente en una superficie dura hasta que dicha porción tome una capa de espesor en el fondo del crisol (ver Figura 11b).
- Se colocó el crisol en una placa fría, luego trasladado al horno y se cerró la puerta durante 7 minutos.
- Se enfrió el crisol a 30-50 °C encima de la temperatura ambiente y luego en un desecador, finalmente el crisol tuvo 0.1 mg de precisión (ver Figura 11c) (BSI, 2009c).

El cálculo de análisis proximal se efectuó mediante la ecuación 7 como se indica:

$$V_d = \left[ \frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - M_{ad} \right] * \left( \frac{100}{100 - M_{ad}} \right) \quad (7)$$

Donde:

$V_d$ = materia volátil en la muestra, en %.

$m_1$ = masa de crisol y tapa vacíos, en gramos.

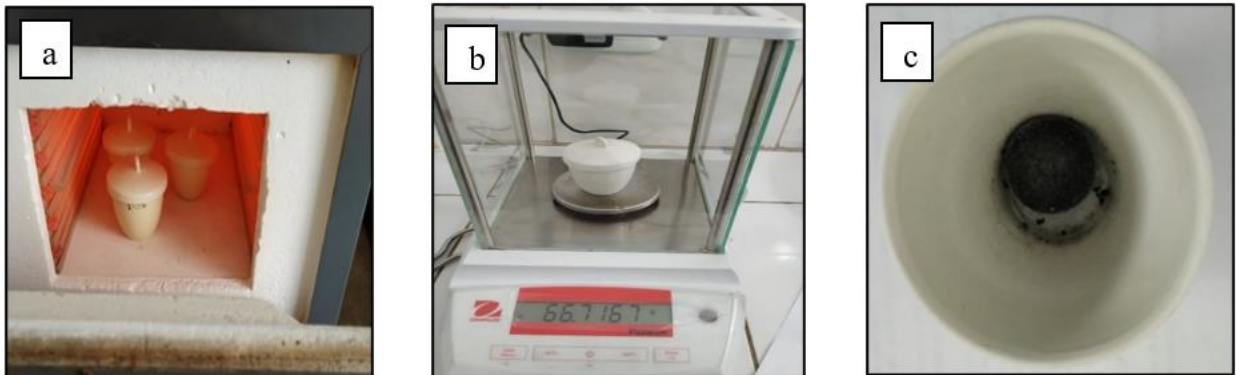
$m_2$ = masa de crisol, tapa y porción de muestra de biomasa antes de calentar, en gramos.

$m_3$ = masa de crisol, tapa, contenido después de calentar, en gramos.

$M_{ad}$ = humedad en muestra de análisis general, en %.

### Figura 11

#### *Análisis proximal*



*Nota.* Las Figuras 9a, 9b y 9c representan el procedimiento que se realizó para obtener el análisis proximal presente en muestras de gallinaza.

#### ***3.2.2. Construcción de un prototipo para la incineración de gallinaza con la tecnología biocarbón con fines de generación de energía térmica en la industria avícola***

En este apartado se describe el planteamiento de prediseño para el prototipo, los cálculos y dimensiones de los componentes que lo constituye y finalmente se seleccionan los materiales requeridos para su construcción acorde a las especificaciones de la máquina en condiciones de trabajo.



Previo a establecer información o datos que permitan el diseño del prototipo, se aclara el objetivo de este, como se detalló en el inciso 2.1.4, se realiza pirólisis lenta para obtener biocarbón en 300-500 °C a partir de gallinaza. La finalidad de esta máquina es aprovechar la energía térmica que se desprende en el proceso de pirólisis para calentar el piso del galpón mediante suelo radiante a 32°C, en donde se encuentran polluelos en las primeras semanas de vida (1-4), este procedimiento reemplaza de forma parcial el consumo de electricidad utilizado en la calefacción de galpones. Además, si la temperatura excede en el proceso de pirólisis (475 °C), los gases de combustión generados (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, otros) son reinyectados hacia el cilindro secador giratorio en donde se encuentra la biomasa (gallinaza) para contribuir en el secado si se encuentra húmeda.

#### **3.2.2.1. Prediseño del Prototipo.**

La metodología para el diseño de máquinas radica en conocer las necesidades del cliente o usuario, luego analizarlas y brindar soluciones (Riba & Molina, 2006). La Ingeniería de Máquinas agrupa actividades con el fin de definir un producto mediante especificaciones técnicas, ciclo de vida estimado y determinaciones que ayuden a su fabricación y empleo; el término producto hace referencia al resultado obtenido luego del diseño y construcción de una máquina (Romero, 2018).

Para dar inicio al diseño preliminar de la máquina, en este caso, un prototipo que produzca biocarbón y energía térmica para calentar pisos de galpones, se estableció los siguientes procedimientos:

##### **3.2.2.1.1. Requerimientos y Definición de Diseño.**

Es un requisito que debe ser satisfecho, expresado en valores cuantificables y dice lo que el producto debe realizar para solucionar un problema (Riba & Molina, 2006).

Establece acciones que definen el producto de forma completa y exacta, en este punto se analizan las especificaciones y determinaciones que fundamentan el diseño del producto. Los requerimientos necesarios para diseñar el prototipo de biocarbón son los siguientes, (Romero, 2018):

- Energía
- Material
- Seguridad
- Ergonomía
- Montaje
- Operación
- Costo
- Mantenimiento

#### **3.2.2.1.2. Análisis Funcional.**

El análisis funcional define la función principal del prototipo, a partir de ello se detalla e identifica por subfunciones y posteriormente se establece soluciones a un problema para lograr resultados con mejores costos a menor tiempo. Se requiere especificar las funciones primarias y secundarias del prototipo, se plantea alternativas de soluciones para cada función y se selecciona la adecuada según el diseñador (Gordillo, 2018).

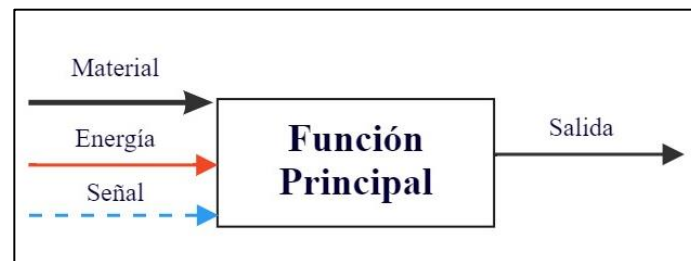
El diseño de fases es un agrupamiento de dichas funciones y subfunciones en fases que cumplan funciones decretadas. El diseño de fases es realizado por diagrama de flujo, donde la función que se efectúe se encuentra en el cuadro principal. Estos diagramas se representan por entradas y salidas (Gordillo, 2018). Las entradas constan de:

- **Material.** Es la biomasa (gallinaza que se deposita, almacena o coloca en la tolva de alimentación para iniciar el proceso de pirólisis).
- **Energía.** Es la capacidad de generar el trabajo en el prototipo, puede ser energía manual, térmica, mecánica.
- **Señales.** Determina si las funciones del prototipo son mediante control automatizado.

La salida hace referencia al producto obtenido luego del proceso realizado en cada fase, (ver Figura 12).

**Figura 12**

*Análisis funcional del prototipo*



*Nota.* Tomado de *Diseño y Simulación de un Equipo Generador de Biocarbón Utilizando Materia Orgánica Residual* (p.23), por (Gordillo, 2018).

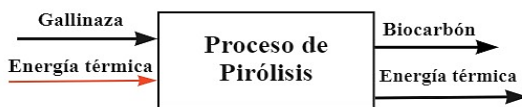
### 3.2.2.1.3. Determinación de Fases.

En la Figura 13, se detalla el diagrama funcional del prototipo, mismo que dispone de dos niveles: 0 y 1. El nivel 0 es la función principal y el nivel 1 es el agrupamiento de las funciones secundarias que se realizan en cada fase. La fase 1, se compone del sistema de alimentación y dosificación, la fase 2 corresponde al sistema de pirolización y la fase 3 es el sistema de biocarbón.

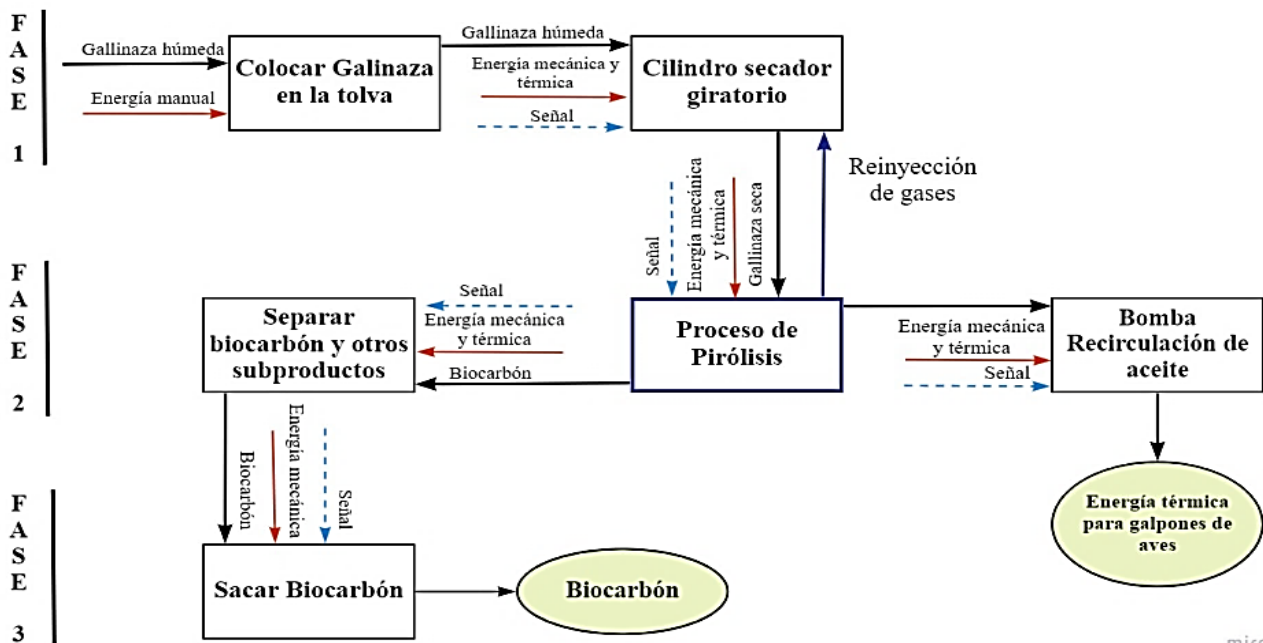
**Figura 13**

*Diagrama de fases del prototipo*

NIVEL 0



NIVEL 1



A continuación, se detalla cada fase que consta el prototipo y sus funciones.

- **Fase 1. Sistema de Alimentación y Dosificación**

Se refiere a la manera en que los residuos avícolas ingresan al equipo. Este diseño permite manejar biomasa con granulometría estable y homogénea con el fin de que toda la gallinaza se convierta en biocarbón.

- **Fase 2. Sistema de Pirolización**

Genera las condiciones estables de temperatura (300-500 °C) para el proceso de pirólisis, la separación del biocarbón y otras sustancias volátiles como gases y cenizas, finalmente la transferencia de calor para ser aprovechada como energía térmica.

- **Fase 3. Sistema de Biocarbón**

El biocarbón que se obtiene es sacado al exterior y de manera parcial se reinyecta hacia la caldera para continuar con el proceso de combustión.

### **3.2.2.2. Cálculo y Selección de Materiales.**

Una vez establecido el prediseño del prototipo mediante los requerimientos y definición de diseño, el análisis funcional y la definición de fases, se da paso a los cálculos y dimensionamientos de cada sistema antes mencionado.

#### **3.2.2.2.1. Diseño Sistema de Alimentación y Dosificación (fase 1).**

El diseño se compone de la tolva de alimentación de biomasa (gallinaza), tornillo sin fin de paso corto que se encuentra en la base inferior de la tolva y el cilindro secador giratorio. Todo inicia con el ingreso de la gallinaza húmeda hacia la tolva verificando la presencia de materiales como piedras, alambres o trozos de madera, para luego que el tornillo sin fin por medio de su giro traslade la gallinaza hacia el cilindro secador giratorio, este se encarga de secar biomasa húmeda para evitar atascamientos en el proceso de pirólisis (ver Anexo 1).

Además, dispone de una chimenea que permite la salida de los gases producto de la combustión. A continuación, se detalla el cálculo de cada componente del sistema.

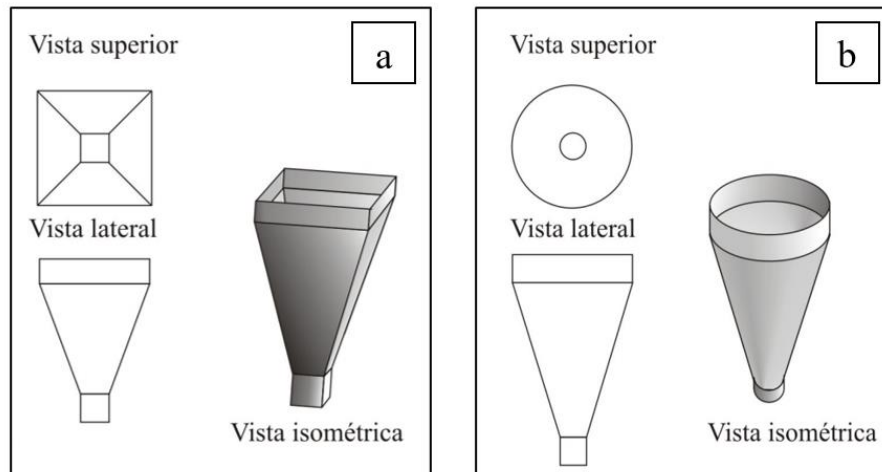
### ***Tolva de Alimentación***

La tolva es una estructura destinada a depositar, almacenar, triturar y clasificar los materiales sean pulverizados o granulares. Su diseño se asemeja a un cono invertido con apertura en la parte inferior para favorecer la descarga y deslizamiento del material; según el objetivo de empleo las tolvas pueden ser de flujo másico con modelos biselado, piramidal, rectangular o cuadrada, asimismo existen tolvas de flujo tubular con diseños piramidales, cónicos y cilíndricos (Asociados Calero Ferre, 2021). Por otro lado, los tipos de tolvas respecto al material a utilizarse son clasificadas en:

- **Tolvas de grueso.** Permiten el depósito de la biomasa para alimentar máquinas, generalmente estas tolvas tienen forma de paralelepípedo en plano inclinado en el fondo que facilita la descarga de biomasa como se muestra en la Figura 14a (Ariadel, 2016).
- **Tolvas de fino.** Son empleadas en almacenar la biomasa antes ya procesada con el fin de disminuir su densidad, volumen y tamaño, son de forma cónica, como se indica en la Figura 14b (Beltrán & Marcilla, 2012).

## Figura 14

### *Diseño de tolva para material grueso y fino*



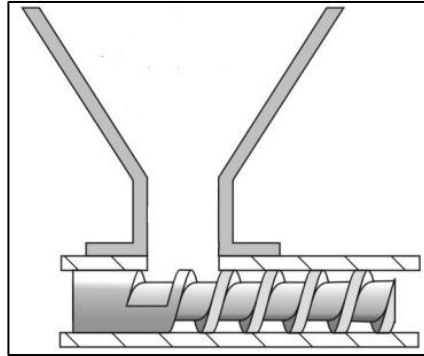
*Nota.* Tomado de *Extrusión* (p.111), por (Beltrán & Marcilla, 2012).

Los materiales con que se fabrican las tolvas son acero inoxidable, galvanizado, acero al carbono, con propiedades antiabrasivos y antiadherentes que soportan condiciones climáticas como la corrosión de ácidos, agua y alcalinos. El tipo de tolva a seleccionar depende del volumen y la forma de la estructura en función a los productos a emplear (Rodríguez, 2017).

La empresa Asociados Calero Ferre (2021), propone un diseño de tolva idóneo para trabajar con biomasa (gallinaza), el modelo de la tolva sería de forma cuadrada la cual consta de un tornillo sin fin que gira sobre su eje central, donde los materiales caen por gravedad permitiendo su clasificación en función a la velocidad que se genera (ver Figura 15).

## Figura 15

### *Tolva de tornillo sin fin*



*Nota.* Tomado de *Extrusión* (p.111), por (Beltrán & Marcilla, 2012).

Ante lo mencionado, se procedió al dimensionamiento de la tolva de alimentación, como se muestra a continuación:

#### **Dimensionamiento tolva de alimentación**

Según Choque (2016), para diseñar tolvas de gruesos con forma cuadra en material de acero inoxidable, se requieren los siguientes parámetros:

- **Capacidad de almacenamiento ( $T_m$ ).** Es el volumen que logra almacenar la tolva para los procesos respectivos (Ariadel, 2016).
- **Densidad de la biomasa ( $\rho$ ).** Se define como la cantidad de materia que se puede contener en un volumen o espacio determinado (Choque, 2016).
- **Densidad aparente de la biomasa ( $\rho_a$ ).** Es la densidad de la biomasa más el aire presente en sus partículas. Su valor es menor a la densidad real. Si la densidad aparente es baja entre 20-30%, la biomasa no genera fluidez, para que el caudal sea adecuado, se requiere una densidad mayor al 60% de la densidad real (Beltrán & Marcilla, 2012).



- **Ángulo de reposo de la biomasa a colocar ( $\alpha$ ).** Es aquel ángulo sobre el cual la biomasa empieza a deslizarse y fluir, los ángulos se encuentran en rangos de (Ariadel, 2016):
  - 35-45°, representa un material bajo cohesivo.
  - 45-55°, representa un material alto cohesivo.
  - > 55°, representa un material cohesivo nulo.

El ángulo de reposo ( $\alpha$ ) no es aconsejable usarlo de forma directa en el diseño de tolvas ya que la inclinación de caída en la tolva será 15° más que el ángulo de reposo, entonces el ángulo de la tolva cuadrada ( $\beta$ ) se calculó mediante la ecuación 8:

$$\beta = \alpha + 15^\circ \quad (8)$$

El ángulo de reposo de la gallinaza es 40°, entonces el ángulo de la tolva es:

$$\beta = 40^\circ + 15^\circ = 60^\circ$$

- **Factor de espacios vacíos (fev).** Son espacios que contiene el material y que varían en el tiempo. Para tolvas de gruesos se trabaja con el 40% de espacios vacíos (Ariadel, 2016).

Se procedió al cálculo de la tolva de alimentación mediante parámetros de dimensionamiento como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Parámetros de dimensionamiento de una tolva cuadrada*

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Base superior	Bs	0.60 x 0.60	m
Base inferior	Bi	0.10 x 0.10	m
Altura	h	0.56	m
Densidad del material	$\rho$	550	kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente del material	$\rho_a$	570	kg/m <sup>3</sup>
Ángulo de la tolva	$\beta$	60	°
Factor de volumen útil	$V_u$	80	%
Factor de volumen inútil	$V_i$	20	%

**Volumen Total de la Tolva ( $V_t$ ).** Es el volumen real de la tolva que se considera en exceso por posibles variaciones en la entrada y descarga de la biomasa. Se calculó acorde a la cantidad de biomasa a procesar y se estableció mediante la ecuación 9 (Morejón et al., 2020).

$$V_t = \frac{h}{3} * (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2}) \quad (9)$$

$$V_t = \frac{0.56 \text{ m}}{3} * (0.36 + 0.01 + \sqrt{0.36 * 0.01}) \text{ m}^2 = 0.080 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_t$ = volumen de la tolva, en  $\text{m}^3$ .

$h$ = altura de la tolva, en m.

$A_1$ = área de la base superior, en  $\text{m}^2$ .

$A_2$ = área de la base inferior,  $\text{m}^2$ .

**Volumen Útil de la Tolva ( $V_u$ ).** Es el máximo valor de volumen que se requiere para que la tolva trabaje en condiciones estables, sin atascamientos, desbordamiento de la biomasa y sea fácil de manejar. Se calculó mediante la ecuación 10 (Ariadel, 2016).

$$V_u = V * 0.80 \quad (10)$$

$$V_u = 0.08 \text{ m}^3 * 0.80 = 0.064 \text{ m}^3$$

**Volumen Inútil de la Tolva ( $V_i$ ).** Es el volumen de la tolva que no se considera para trabajo, se calculó por la ecuación 11 (Ariadel, 2016).

$$V_i = V * 0.20 \quad (11)$$

$$V_i = 0.08 \text{ m}^3 * 0.20 = 0.016 \text{ m}^3$$

**Capacidad de la Tolva (T).** Es fundamental para determinar si el volumen que se ingresa hacia la tolva es adecuado. Se calculó mediante la ecuación 12 (Suice, 2016).

$$T = V * \rho_c \quad (12)$$

$$T = 0.080 * 330 = 26.5 \text{ kg}$$

Donde:

T= capacidad de la tolva, en kg.

V= volumen de la tolva, en m<sup>3</sup>.

$\rho_c$ = densidad corregida, en kg/m<sup>3</sup>.

La densidad corregida  $\rho_c$  se calculó mediante la ecuación 13.

$$\rho_c = (1 - fev) * \rho_m \quad (13)$$

$$\rho_c = (1 - 0.40) * 550 = 330 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

fev= factor de espacios vacíos, 40% para tolva de gruesos, fev= (0,40).

$\rho_m$ = densidad de la biomasa kg/m<sup>3</sup>.

En la Tabla 7 se muestra los resultados obtenidos en el diseño de la tolva cuadrada para gruesos.

**Tabla 7**

*Dimensionamiento de una tolva cuadrada*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen	V <sub>t</sub>	0.080	m <sup>3</sup>
Volumen útil	V <sub>u</sub>	0.064	m <sup>3</sup>
Volumen inútil	V <sub>i</sub>	0.016	m <sup>3</sup>
Capacidad	T	26.5	kg
Ángulo de la tolva	$\beta$	60	°

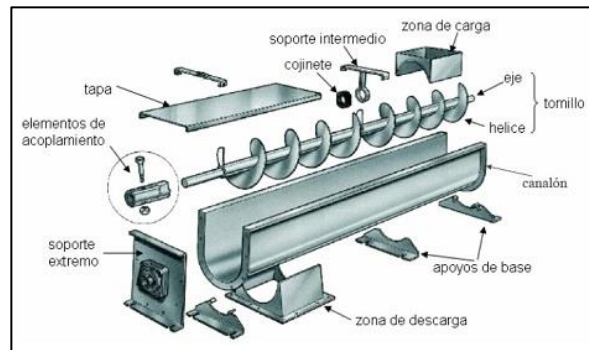
La capacidad de la tolva cumple con el requerimiento para procesar los 361.2 kg/día de gallinaza generada en la empresa REPROAVI para 450 aves en un área de 64 m<sup>2</sup>.

### ***Tornillo Sin Fin de Paso Corto para Tolva***

Es un transportador versátil que facilita la manipulación, traslado de materiales, y se emplea como dosificador, mezclador o agitador de materia prima como la gallinaza. Es sencillo en su fabricación con diseño compacto, bajo costo y hermético. Dispone de una hélice situada sobre un eje, suspendido en un canalón en forma de “U”, además un motorreductor DC Servodisk FG (Anexo 2) en los extremos permite girar la hélice para trasladar el material, como se muestra en la Figura 16 (Ingemecánica, 2017).

### **Figura 16**

#### *Componentes tornillo sin fin de paso corto*

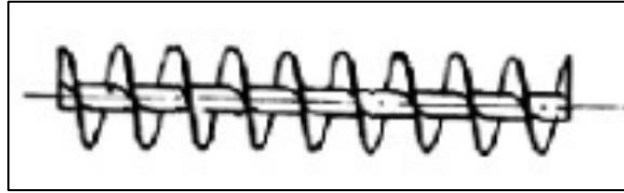


*Nota.* Tomado de *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin* (p.3), por (Ingemecánica, 2017).

El sistema de alimentación (módulo 1) dispone un tornillo sin fin, con hélice de paso corto, ideal para permitir el paso de la gallinaza desde la tolva hacia el cilindro secador giratorio, sin atascamientos, de manera fluida y detectar cuerpos extraños (piedras) en la biomasa, como se indica en la Figura 17 (Ingemecánica, 2017).

## Figura 17

*Hélice tornillo sin fin de paso corto*



*Nota.* Tomado de *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin* (p.4), por (Ingemecánica, 2017).

Se conoce que la gallinaza dispone de contaminantes tóxicos, mismos que pueden causar daño al material en donde se encuentre depositada. Por tal motivo se seleccionó una tubería de acero inoxidable célula 80 de 3 1/2" de  $\varnothing$  que resiste a la corrosión ver Anexo 7 (Tuvansa, 2020). Ante lo mencionado, se procedió al cálculo y diseño del tornillo sin fin de paso corto, como se indica a continuación:

### **Dimensionamiento tornillo sin fin paso corto (hélices):**

La hélice de un tornillo transportador permite el manejo y traslado de la biomasa. En este cálculo se estableció un acero de 8.08 mm de espesor, con los siguientes datos: diámetro interno ( $D_i$ ) de 15 mm, diámetro externo ( $D_e$ ) 101.6 mm, un paso ( $p$ ) de 100 mm y un largo ( $L$ ) de 160 mm. Inicialmente se calculó el ancho de cara ( $A$ ), mediante la ecuación 14 (Ingemecánica, 2017):

$$A = \frac{D_e - D_i}{2} \text{ mm} \quad (14)$$

$$A = \left( \frac{101.6 - 15}{2} \right) \text{ mm} = 43.30 \text{ mm} = 0.043 \text{ m}$$

Luego se evaluó la longitud externa (LE) establecida en la ecuación 15:

$$LE = \sqrt{(De)^2 * \pi^2 + p^2} \quad (15)$$

$$LE = \left( \sqrt{101.6^2 * \pi^2 + 100^2} \right) \text{ mm} = 334.48 \text{ mm} = 0.334 \text{ m}$$

A partir de ello se estableció la longitud interna (LI) mostrada en la ecuación 16:

$$LI = \sqrt{(Di)^2 * \pi^2 + p^2} \quad (16)$$

$$LI = \left( \sqrt{15^2 * \pi^2 + 100^2} \right) \text{ mm} = 110.55 \text{ mm} = 0.110 \text{ m}$$

El radio interno (r) se efectuó mediante la ecuación 17:

$$r = \frac{A * LI}{LE - LI} \quad (17)$$

$$r = \left( \frac{43.30 * 110.55}{334.48 - 110.55} \right) + 1.5 \text{ mm} = 22.88 \text{ mm} = 0.022 \text{ m}$$

El radio exterior (R) se estableció en la ecuación 18:

$$R = r + A \quad (18)$$

$$R = (22.88 + 43.30) \text{ mm} = 66.18 \text{ mm} = 0.066 \text{ m}$$

El incremento ( $\Delta$ ) se calculó con la ecuación 19:

$$\Delta = 2 * R * \pi \quad (19)$$

$$\Delta = (2 * 66.8 * \pi) \text{ mm} = 415.79 \text{ mm} = 0.415 \text{ m}$$

El ángulo de corte ( $\beta^\circ$ ) se efectuó a través de la ecuación 20:

$$\beta^\circ = \frac{LE * 360^\circ}{\Delta} \quad (20)$$

$$\beta^\circ = \frac{334.48 \text{ mm} * 360^\circ}{415.79 \text{ mm}} = 289.60^\circ$$

El ángulo de corte restante ( $x^\circ$ ) se analizó mediante la ecuación 21:

$$x^\circ = 360^\circ - \beta \quad (21)$$

$$x^\circ = 360^\circ - 289.60^\circ = 70.40^\circ$$

La longitud de arco restante (L) se formuló con la ecuación 22:

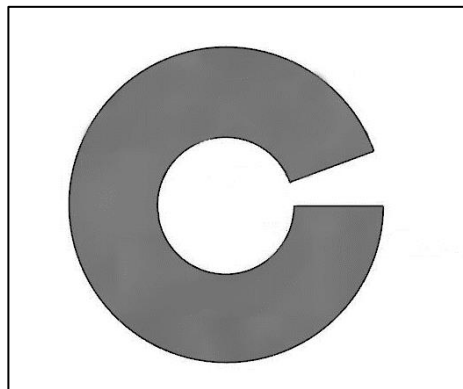
$$L = \Delta - LE \quad (22)$$

$$L = (415.79 - 334.48) \text{ mm} = 81.31 \text{ mm} = 0.081 \text{ m}$$

En la Figura 18 se muestra el dimensionamiento de la hélice de tornillo sin fin de paso corto para el transporte de la gallinaza desde la tolva hacia el cilindro secador.

### **Figura 18**

*Dimensionamiento hélice de tornillo sin fin*



Una vez dimensionadas las hélices o aletas, se procedió a determinar los demás componentes del tornillo sin fin de paso corto como: Área de canalón (S), Velocidad de desplazamiento (v), Flujo del material (Q), Potencia de accionamiento (P), Potencia para desplazamiento horizontal ( $P_H$ ), Potencia de accionamiento de tornillo en vacío ( $P_N$ ) y Potencia total requerida ( $P_T$ ).

**Velocidad de Giro (n).** Se relaciona con la naturaleza del material que se va a transportar. Las velocidades comprendidas se encuentran entre los rangos: materiales pesados con (n) 50 r.p.m. y materiales ligeros (n) 150 r.p.m. La velocidad máxima de giro con la que trabaja un tornillo sin fin depende de la naturaleza del material y diámetro del tornillo, es decir eje y hélice como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Velocidad de giro en función al diámetro y material*

Diámetro del tornillo (mm)	Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

*Nota.* Tomado de *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin* (p.5), por (Ingemecánica, 2017).

**Área de Canalón (S).** El área de relleno de canalón (S) ocupa el material que el transportador mueve según su tipo de carga, este se determina por el coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) de la sección, mismo que se muestra en la Tabla 9 (Ingemecánica, 2017).



**Tabla 9**

*Área de canalón en función al tipo de carga*

<b>Tipo de carga</b>	<b>Coefficiente de relleno (<math>\lambda</math>)</b>
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada y poco abrasiva	0.25
Ligera y poco abrasiva	0.32
Ligera y no abrasiva	0.4

*Nota.* Tomado de *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin* (p.6), por (Ingemecánica, 2017).

Se calculó mediante la ecuación 23 (Ingemecánica, 2017):

$$S = \lambda * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (23)$$

$$S = 0.32 * \frac{\pi * (0.1016 \text{ m})^2}{4} = 0.003 \text{ m}^2$$

Donde:

S= área de relleno del transportador, en m<sup>2</sup>.

D= diámetro de canalón de transportador, en m.

$\lambda$ = coeficiente de relleno de la sección.

**Velocidad de Desplazamiento (v).** Es la velocidad que desplaza el material en dirección longitudinal al eje del tornillo sin fin. Se relaciona con el paso del tornillo y velocidad de giro. Se calculó mediante la ecuación 24 (Ingemecánica, 2017):

$$v = \frac{p * n}{60} \quad (24)$$

$$v = \frac{0.1\text{m} * 60 \text{ r. p. m.}}{60} = 0.1 \text{ m/s}$$

Donde:

v= velocidad de desplazamiento, en (m/s).

p= paso del tornillo o hélice, en m.

n= velocidad de giro de eje de tornillo, en r.p.m.

**Flujo del material (Q).** Es la capacidad de transporte del material (biomasa), se relaciona con el coeficiente de reducción de flujo (i) causado por la inclinación (ver Tabla 10) (Ingemecánica, 2017).

**Tabla 10**

*Coeficiente de reducción de flujo*

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
I	1	0.9	0.8	0.7	0.6

*Nota.* Tomado de *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin* (p.5), por (Ingemecánica, 2017).

Su cálculo viene dado por la ecuación 25 (Ingemecánica, 2017):

$$Q = 3600 * S * v * \rho * i \tag{25}$$

$$Q = 3600 * 0.003 \text{ m}^2 * \frac{0.1 \text{ m}}{\text{s}} * 0.55 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} * 1 = 0.514 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Donde:

Q= flujo de material transportado, en t/h.

S= área del canalón, en m<sup>2</sup>.

v=velocidad de desplazamiento, en m/s.

$\rho$ = densidad del material, en  $t/m^3$ .

$i$ = coeficiente de disminución de flujo.

**Potencia para Desplazamiento Horizontal ( $P_H$ ).** Es la potencia que se requiere para desplazar de forma horizontal el material, viene dado por el coeficiente de resistencia ( $c_0$ ) del material que se transporta como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Transporte de material según su coeficiente de resistencia*

Tipo de material	Valor de $c_0$
Harina, serrín, productos granulosos	1.2
Turba, sosa, polvo de carbón	1.6
Antracita, carbón, sal de rosa	2.5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

*Nota.* Tomado de *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin* (p.7), por (Ingemecánica, 2017).

Se evaluó mediante la ecuación 26 (Ingemecánica, 2017):

$$P_H = c_0 * \frac{Q * L}{367} \text{ KW} \quad (26)$$

$$P_H = 1.2 * \frac{0.514 \frac{t}{h} * 0.16 \text{ m}}{367} = 0.00027 \text{ kW}$$

Donde:

$Q$ = flujo del material trasladado, en t/h.

$L$ = longitud del transportador, en m.

$c_0$ = coeficiente de resistencia del material

**Potencia de Accionamiento de Tornillo en Vacío ( $P_N$ ).** La potencia que se requiere para calcular el accionamiento del tornillo sin fin al vacío es pequeña a diferencia de la potencia de desplazamiento horizontal ( $P_H$ ) y se calculó por la ecuación 27 (Ingemecánica, 2017):

$$P_N = \frac{D * L}{20} \text{ kW} \quad (27)$$

$$P_N = \frac{0.1016\text{m} * 0.16 \text{ m}}{20} = 0.00081 \text{ kW}$$

Donde:

D= diámetro de la sección del canalón, en m.

L= longitud del transportador, en m.

**Potencia Total Requerida ( $P_T$ ).** La potencia total requerida ( $P_T$ ) del tornillo sin fin se compone de la potencia en el desplazamiento horizontal ( $P_H$ ) y la potencia para accionamiento del tornillo en el vacío ( $P_N$ ) porque el tornillo sin fin no dispone de inclinación. Se evaluó mediante la ecuación 28 (Ingemecánica, 2017):

$$P_T = P_H + P_N \quad (28)$$

$$P_T = P_H + P_N = (0.00027 + 0.00081) \text{ KW} = 0.00108 \text{ KW}$$

En la Tabla 12 se muestra los resultados de los cálculos y diseño del tornillo sin fin paso corto.

**Tabla 12***Dimensionamiento tornillo sin fin paso corto (tolva)*

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área del relleno del transportador	S	0.003	m <sup>2</sup>
Velocidad de giro del eje	n	60	r.p.m.
Velocidad de desplazamiento	v	0.1	m/s
Flujo del material	Q	0.514	t/h
Potencia de accionamiento del material	$P_H$	0.00027	kW
Potencia de accionamiento en vacío	$P_N$	0.0008128	kW
Potencia Total	$P_T$	0.00108	kW

***Cilindro Secador Giratorio***

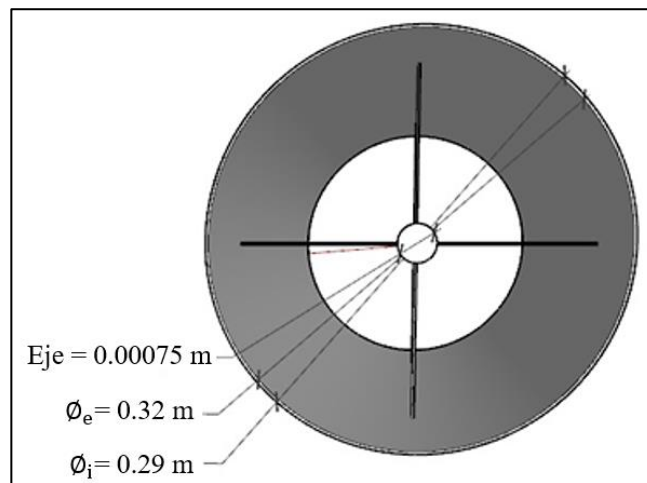
Según el estudio de Morejón et al. (2020)., al diseñar una máquina de secado de productos orgánicos (biomasa), es necesario tener en cuenta parámetros y factores que están involucrados en el proceso de secado, la importancia de cada uno dependerá de que biomasa se desee secar. Establece los siguientes parámetros de cálculo para el cilindro secador giratorio:

- **Velocidad del aire (v).** Realiza funciones como: transferir energía necesaria para evaporar el agua presente en la biomasa y transportar la humedad generada, por lo tanto, se requiere una velocidad comprendida entre 0.25 a 2.5 m/s para un correcto secado.
- **Contenido de humedad (Hbs).** Es un dato necesario para conocer la cantidad de agua que debe eliminarse, además también es importante saber el volumen específico, densidad y porosidad del producto orgánico seleccionado.
- **Diámetro ( $\emptyset$ ) y longitud (L).** Debe estar comprendido entre 0.3 a 3 metros siendo proporcional al volumen de producto a procesar, también la longitud del cilindro debe tener en cuenta el diámetro ya que es del 10 al 25% de la longitud total del cilindro.

En base a lo descrito, se consideró un diámetro externo ( $\phi_e$ ) de 0.32 m, diámetro interno ( $\phi_i$ ) de 0.29 m y una longitud (L) de 1 m para los cálculos del cilindro secador giratorio, como se muestran en las Figuras 19 y 20.

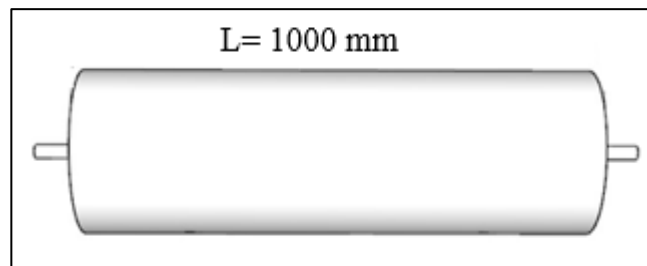
### Figura 19

*Corte cilindro secador giratorio*



### Figura 20

*Vista frontal cilindro secador giratorio*



### Dimensionamiento Cilindro Secador Giratorio

En la Tabla 13, se muestran los datos para el diseño del cilindro secador rotatorio para gallinaza.

**Tabla 13***Parámetros de diseño cilindro secador giratorio*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Velocidad de aire	v	0.25-25	m/s
Contenido de humedad en base seca	H <sub>bs</sub>	10.90	%
Diámetro	Ø <sub>e</sub>	0.32	m
Longitud	L	1	m
Densidad de la biomasa	ρ	550	kg/m <sup>3</sup>

- **Tiempo de retención ( $t_r$ ).** Es el tiempo que se requiere para secado de biomasa con el contenido de humedad esperado, depende de la temperatura en el secado y el % de extracción de humedad.
- **Tiempo de descarga ( $t_{ret}$ ).** Es el tiempo de retención de la biomasa en cilindro secadores giratorios de flujo continuo, fue calculado mediante la ecuación 29.

$$t_{ret} = \frac{60 * \pi * D^2 * L * f * \rho}{4 * \dot{m}} \quad (29)$$

$$t_{ret} = \frac{60 * \pi * 0.32^2 * 1 * 50 * 550}{4 * 963000} = 0.13 \text{ min}$$

Donde:

$\dot{m}$ = flujo másico, en kg/h.

D= diámetro del cilindro, en m.

L=longitud del cilindro, en m.

$\rho$ = densidad de la biomasa, en kg/m<sup>3</sup>.

f= porcentaje de llenado, en %.

**Volumen del Cilindro ( $V_c$ ).** Espacio que ocupa la gallinaza dentro del cilindro, se calculó por la ecuación 30 (Morejón et al., 2020).

$$V_c = \pi * L * r^2 \quad (30)$$

$$V_c = \pi * 1 \text{ m} * (0.16 \text{ m})^2 = 0.080 \text{ m}^3$$

Donde

L= largo del cilindro, en m.

r= radio del cilindro, en m.

**Área Lateral del Cilindro ( $A_L$ ).** Es el equivalente al producto del perímetro por su base y altura, se calculó por la ecuación 31 (Morejón et al., 2020).

$$A_L = 2 * \pi * r * L \quad (31)$$

$$A_L = 2 * \pi * (0.32)^2 * 1 = 0.64 \text{ m}^2$$

**Área Superficial del Cilindro ( $A_s$ ).** Es el área que ocupa la superficie en el espacio tridimensional y fue calculado por la ecuación 32 (Morejón et al., 2020).

$$A_s = 2 * \pi * r * (r + L) \quad (32)$$

$$A_s = 2 * \pi * 0.32 * (0.32 + 1) = 2.65 \text{ m}^2$$

**Potencia Requerida ( $P_M$ ).** Es la rapidez que se realiza un trabajo o a su vez la energía que se transfiere. La potencia del cilindro secador giratorio se evaluó mediante la ecuación 33 (Morejón et al., 2020).

$$P_M = P_O * \left(\frac{M_R}{M_O}\right)^{1/3} \quad (33)$$

$$P_M = 0.5 * \left(\frac{361.2}{10}\right)^{1/3} = 1.62 \text{ hp}$$



Donde:

$P_M$  = potencia nominal del motor eléctrico, en hp.

$P_0$  = función de partida (0,5), en hp.

$M_R$  = masa total a rotar, en kg.

$M_0$  = función de partida (10), en kg.

En la Tabla 14 se representa el cálculo y dimensionamiento del cilindro secador giratorio.

**Tabla 14**

*Dimensionamiento cilindro secador giratorio*

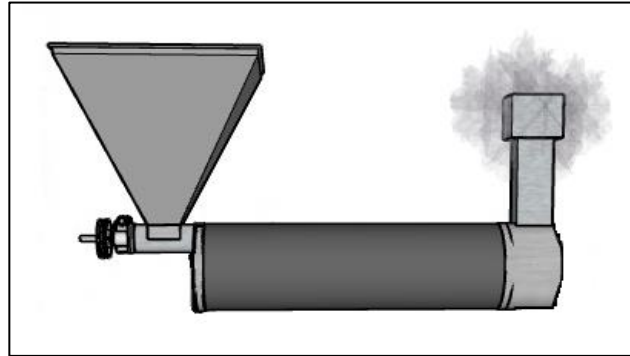
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Tiempo de descarga	$t_{ret}$	0.13	min
Volumen	$V_c$	0.080	m <sup>3</sup>
Área lateral	$A_L$	0.64	m <sup>2</sup>
Área superficial	$A_S$	2.65	m <sup>2</sup>
Potencia requerida	$P_M$	1.62	hp

El material seleccionado para el diseño y construcción de la tolva, el cilindro secador y la chimenea es acero inoxidable ANSI 304 entre 1.4-2 mm de espesor, como se indica en el Anexo 3. Además, consta de rodamiento de bolas con pestaña cuadrada tipo UFC 204 que permite el giro del eje en la tolva junto con el cilindro secador giratorio ver Anexo 4 (Morejón et al., 2020).

En la Figura 21 se representa el diseño final de sistema de alimentación y dosificación realizado mediante cálculos y ecuaciones ya expresadas.

## Figura 21

*Fase 1: Sistema de alimentación y dosificación.*



### ***3.2.2.2.2. Diseño Sistema de Pirólisis (fase 2)***

Para el proceso de pirólisis se genera la temperatura deseada (300-500) °C, con el fin de obtener energía térmica para calentar galpones de aves por suelo radiante. Se conforma por el tornillo sin fin de paso corto y el horno pirolítico.

#### ***Tornillo Sin Fin Paso Corto para Pirólisis.***

La selección de material previo al diseño del tornillo sin fin de paso corto es primordial para conocer la resistencia del material ante las temperaturas de trabajo. Para ello se seleccionó un tubo de acero negro ANSI B36.10 cédula 120 como se indica en el Anexo 5 (Octal, 2018).

El diseño es similar a los cálculos realizados en el tornillo sin fin de paso corto (tolva). En particular para dimensionar este tornillo sin fin para proceso de pirólisis se considera importante la temperatura de trabajo (300-500) °C. En este cálculo los indicadores para el diseño son: acero de 11.13 mm de espesor, diámetro interno ( $D_i$ ) de 25 mm, diámetro externo ( $D_e$ ) 114.3 mm, un paso ( $p$ ) de 50 mm y un largo ( $L$ ) de 1 000 mm. Se calculó el ancho de cara ( $A$ ), mediante la ecuación 14 (Ingemecánica, 2017):

$$A = \frac{De - Di}{2}$$

$$A = \left( \frac{114.3 - 25}{2} \right) \text{mm} = 44.65 \text{ mm} = 0.044 \text{ m}$$

Luego se evaluó la longitud externa (LE) establecida en la ecuación 15:

$$LE = \sqrt{(De)^2 * \pi^2 + p^2}$$

$$LE = \left( \sqrt{114.3^2 * \pi^2 + 50^2} \right) \text{mm} = 362.55 \text{ mm} = 0.362 \text{ m}$$

Longitud interna (LI) calculada mediante la ecuación 16:

$$LI = \sqrt{(Di)^2 * \pi^2 + p^2}$$

$$LI = \left( \sqrt{25^2 * \pi^2 + 50^2} \right) \text{mm} = 93.10 \text{ mm} = 0.093 \text{ m}$$

El radio interno (r) se efectuó mediante la ecuación 17:

$$r = \frac{A * LI}{LE - LI}$$

$$r = \left( \frac{44.65 * 93.10}{362.55 - 93.10} \right) + 1.5 \text{ mm} = 16.93 \text{ mm} = 0.016 \text{ m}$$

El radio exterior (R) se estableció en la ecuación 18:

$$R = r + A$$

$$R = (16.93 + 44.65) \text{ mm} = 61.58 \text{ mm} = 0.061 \text{ m}$$

El incremento ( $\Delta$ ) se muestra en la ecuación 19:

$$\Delta = 2 * R * \pi$$

$$\Delta = (2 * 61.58 * \pi) \text{ mm} = 386.91 \text{ mm} = 0.386 \text{ m}$$

El ángulo de corte ( $\beta^\circ$ ) se efectuó a través de la ecuación 20:

$$\beta^\circ = \frac{LE * 360^\circ}{\Delta}$$

$$\beta^\circ = \frac{362.55 \text{ mm} * 360^\circ}{386.91 \text{ mm}} = 337.33^\circ$$

El ángulo de corte restante ( $x^\circ$ ) se analizó mediante la ecuación 21:

$$x^\circ = 360^\circ - \beta$$

$$x^\circ = 360^\circ - 337.33^\circ = 22.67^\circ$$

La longitud de arco restante (L) se formula con la ecuación 22:

$$L = \Delta - LE$$

$$L = (386.91 - 362.55) \text{ mm} = 24.42 \text{ mm} = 0.024 \text{ m}$$

Una vez establecida la hélice del tornillo sin fin (pirólisis) se dimensionó los demás componentes del tornillo sin fin paso corto como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Dimensionamiento del tornillo sin fin paso corto para pirólisis*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área del relleno del transportador	S	0.003	m <sup>2</sup>
Velocidad de giro del eje	n	60	r.p.m.
Velocidad de desplazamiento	v	0.025	m/s
Flujo del material	Q	0.163	t/h
Potencia de accionamiento del material	P <sub>H</sub>	0.00053	kW
Potencia de accionamiento en vacío	P <sub>N</sub>	0.00572	kW
Potencia Total	P <sub>T</sub>	0.00691	kW
Densidad del material	$\rho$	0.55	t/m <sup>3</sup>

### ***Horno Pirolítico***

El horno pirolítico se diseña a través de los indicadores termodinámicos, siendo la base fundamental para determinar parámetros como; el volumen de la cámara de combustión, tipo de intercambio de calor, así como la estructura de este. Si se tiene en cuenta la temperatura de trabajo, la maquina estarán en un rango de 300 °C hasta los 500 °C siendo temperaturas ideales para la combustión de la gallinaza (Escalante et al., 2016), para trabajar de forma continua con una capacidad para 361.2 kg de gallinaza, que tiene una densidad de 550 kg/m<sup>3</sup> y sabiendo que la densidad es determinada por la correlación existente entre la masa y el volumen que ocupa en el espacio como se muestra en el Anexo 6.

Al trabajar este volumen de forma continua se debe utilizar un mecanismo que transporte el material al interior del horno, en este caso se decidió trabajar con un sinfín. Se selecciona un diámetro del canal o cilindro por donde se transportará la gallinaza, por las condiciones de trabajo se escoge tubería de acero inoxidable cedula 120 con un diámetro de 114.3 mm y 11.13 mm de espesor, en un largo L de 1 000 mm. Para el cálculo del área y volumen se empleó la ecuación 34 y 35:

#### **Área del cilindro ( $A_c$ )**

$$A_c = \frac{d^2 * \pi}{4} \quad (34)$$

$$A_c = \frac{(114.3 \text{ mm})^2 * \pi}{4} = 10\,260.82 \text{ mm}^2 = 10.26 \text{ m}^2$$

Donde:

d= diámetro del canal o canalón, en m.

Entonces el Volumen de cilindro ( $V_c$ ) es:

$$V_c = A_c * L_c \quad (35)$$

$$V_c = 10.26 \text{ m}^2 * 1 \text{ m} = 10.26 \text{ m}^3$$

Donde:

$L_c$  = largo del cilindro, en m.

En la Figura 22 se representa de forma gráfica el tubo o canalón en donde se ubica el tornillo sin fin de paso corto para el proceso de pirólisis dentro del horno pirolítico.

### **Figura 22**

*Canalón de tornillo sin fin paso corto*



### ***Suelo Radiante en Galpones***

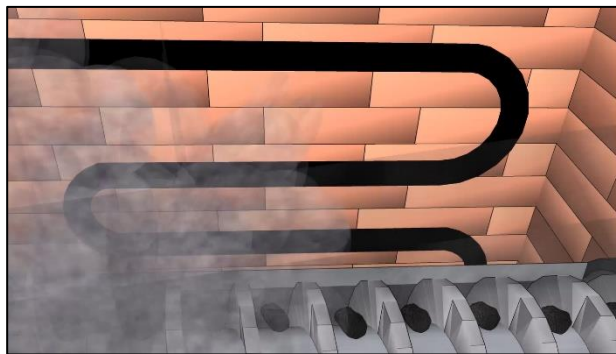
También conocido como suelo térmico, es una red de tuberías instaladas por debajo del suelo del galpón por las que circula agua, aceite o aire caliente desde una caldera alimentada por biomasa que permita mantener la temperatura del sitio para el confort de las aves.

Como se detalló en el inciso 2.1.6. la temperatura correcta para que los polluelos logren un crecimiento adecuado es 32 °C en la primera semana de vida. Por lo que en esta investigación se establece el aprovechamiento de la energía térmica obtenida en el proceso de pirólisis para el calentamiento del galpón mediante suelo radiante.

En este caso se seleccionó aceite reciclado como sistema de distribución en las tuberías de calentamiento. El sistema circula el aceite a baja temperatura mediante una bomba hidráulica RENAULT K4M/K7M (Anexo 7) hasta el horno pirolítico en donde se realiza la transferencia de calor por el proceso de pirólisis; luego el aceite caliente es circulado hacia el suelo del galpón. El calor emitido por las tuberías es absorbido en el suelo y se desprende en energía radiante en un 70% por transferencia convectiva, para evitar pérdidas de calor. En otras palabras, la toma de calor que existe en el horno pirolítico de biocarbón reemplaza la energía térmica que se emplea en la calefacción de los galpones (ver Figura 23).

### **Figura 23**

*Toma de calor dentro del horno pirolítico*

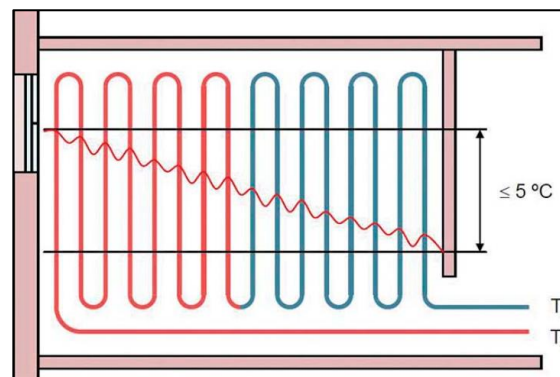


A continuación, se detalla el dimensionamiento de suelo radiante para la avícola REPROAVI, en un área de 64 m<sup>2</sup>.

**Diseño de los circuitos.** La distribución de serpentín es el diseño más sencillo para la recirculación de aceite en el suelo de avícolas. Este permite repartir tubos a lo largo del galpón en líneas paralelas de ida y retorno con la misma distancia unas de otras (ver Figura 22). A medida que avanza el aceite a lo largo del serpentín, cede su calor y la temperatura desciende, de tal modo que, al terminar su recorrido, la temperatura del aceite es menor a cuando inició. El diseño es adecuado mientras el paso o distancia entre tubos sea superior a 200 mm; este principio es aplicado en empresas e industrias que requieren calefacción para procesos adicionales.

**Figura 24**

*Distribución de aceite en serpentín simple*



*Nota.* Tomado de *Calefacción por Suelo Radiante: Criterios de Diseño y Cálculo*, (p.1.), por (González, 2020).

**Separación ( $S_e$ ) y Longitud de Circuitos ( $L_o$ ).** La separación entre tuberías de los circuitos se establece acorde a los requerimientos caloríficos. El paso se encuentra entre valores de 50-300 mm, mientras la longitud de las tuberías a emplear es normalmente 120 m. La tubería adecuada para este diseño es el polietileno reticulado (PE-X) al ser un termoplástico resistente a la temperatura requerida (ver Anexo 9) (González, 2020). Se calculó mediante la ecuación 36.



$$L_o = \frac{A}{e} + 2 * L_c \quad (36)$$

$$L_o = \frac{64 \text{ m}^2}{0.3 \text{ m}} + 2 * 6 = 225.33 \text{ m}$$

Donde:

A= área a calefactar cubierta por el circuito, en m<sup>2</sup>.

e= distancia entre tubos, en m.

L<sub>c</sub>= distancia entre colector y área a calefactar, en m.

**Temperatura Radiante Media (T<sub>rm</sub>).** Depende de las variaciones de calor mediante radiación que ocurren en las paredes, suelo y techo del galpón (González, 2020). Se calculó mediante la ecuación 37.

$$T_{rm} = \frac{T_s + 0.15 * T_p + 0.4 * T_t}{2} \quad (37)$$

$$T_{rm} = \frac{27 \text{ °C} + 0.15 * 20 \text{ °C} + 0.4 * 20 \text{ °C}}{2} = 19 \text{ °C}$$

Donde:

T<sub>s</sub>= temperatura superficial del suelo, en °C.

T<sub>p</sub>= temperatura superficial de las paredes del galpón, en °C.

T<sub>c</sub>= temperatura superficial del techo del galpón, en °C.

**Temperatura Operativa (T<sub>o</sub>).** Es la temperatura que debe mantener una estancia para que el ave intercambie igual cantidad de energía por convección y radiación.

En este caso, la temperatura de techo y paredes es igual a la temperatura del ambiente (20 °C) dentro del galpón (González, 2020). Se calculó mediante la ecuación 38.

$$T_o = \frac{T_{rm} + T_a}{2} \quad (38)$$

$$T_o = \frac{(19 + 20) \text{ °C}}{2} = 19.5 \text{ °C}$$

Donde:

$T_o$  = temperatura operacional, en °C.

$T_{rm}$  = temperatura radiante media, en °C.

$T_a$  = temperatura ambiente, en °C.

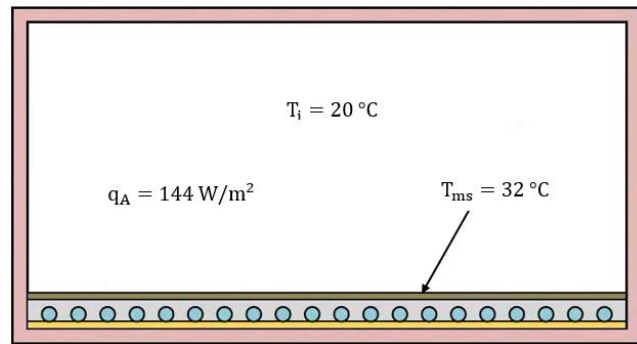
**Flujo Calorífico ( $q_A$ ).** Una temperatura media superficial  $T_{ms}$  del pavimento estable permite el confort de las aves y evita estrés calórico, el valor máximo es 32 °C y una temperatura interna de 20 °C; además es importante que no supere la temperatura que proporciona el suelo radiante, como se muestra en la Figura 25 (González, 2020). El flujo de calor se calculó mediante la ecuación 39.

$$q_A = h * (T_{ms} - T_i) \quad (39)$$

$$q_A = 12 \frac{W}{m^2 * \text{°C}} * (32 - 20) \text{ °C} = 144 \frac{W}{m^2}$$

## Figura 25

Flujo calorífico dentro del galpón



Nota. Tomado de *Calefacción por Suelo Radiante: Criterios de Diseño y Cálculo*, (p.1.), por (González, 2020).

**Temperatura media del aceite ( $T_{ma}$ ).** Establece la temperatura idónea en la cual el aceite circula a través del serpentín y emitir calor al suelo. Se calculó mediante la ecuación 40.

$$T_{ma} = \frac{q_A}{U} + T_i \quad (40)$$

Donde:

$q_A$ = flujo de calor, en  $\text{W/m}^2$ .

$T_i$ = temperatura interna del galpón, en  $^{\circ}\text{C}$ .

$U$ = coeficiente de transmisión térmica, en  $\text{W/m}^2\text{°C}$

En primera instancia se calculó el coeficiente de transmisión térmica ( $U$ ) con un suelo constituido por mortero de 2 cm de espesor y una capa de cerámica con 0.04 m de espesor. Además, el coeficiente de calor de suelo varía entre  $10\text{-}12\text{ W/m}^2\text{°C}$ . En este caso se seleccionó mortero de cemento con una conductividad térmica de  $11\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . Se calculó mediante la ecuación 41.

$$U = \frac{1}{\sum \frac{e_{\text{mortero}}}{\lambda} + \frac{1}{h}} \quad (41)$$

Donde:

$e_{\text{mortero}}$  = espesor del pavimento en material mortero, en m.

$\lambda$  = conductividad térmica, en W/m°C.

$h$  = coeficiente de calor, en W/m<sup>2</sup>°C.

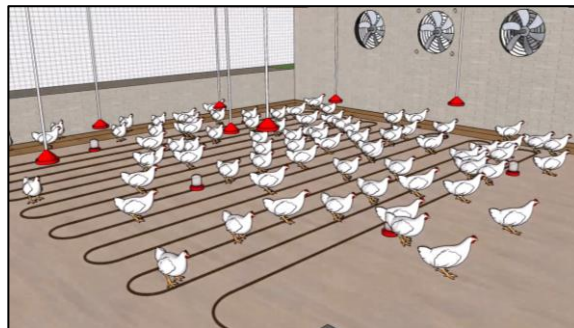
$$U = \frac{1}{\frac{0.04}{1} + \frac{1}{11}} = \frac{1}{0.04 + 0.09} = 7.69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{°C}}$$

Entonces la temperatura media del aceite es:

$$T_{\text{ma}} = \frac{144 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{7.69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{°C}}} + 20 \text{°C} = 38.72 \text{°C}$$

## Figura 26

*Suelo radiante en galpón*



**Potencia requerida para la calefacción ( $P_o$ ).** En primera instancia se determinan las necesidades térmicas que requiere el sistema de calefacción y el aceite de recirculación. El área para calefactar es  $64 \text{ m}^2$  con un flujo calorífico de  $144 \text{ W/m}^2$ , entonces la potencia en el sistema de calefacción fue evaluada por la ecuación 42 (González, 2020).

$$P_o = A * (q_A) \quad (42)$$

$$P_o = 64 * 144 = 9\,216 \text{ W} = 9.12 \text{ kW}$$

Donde:

$P_o$ = Potencia de calefacción, en kW.

A= área del galpón, en  $\text{m}^2$ .

$(q_A)$  = flujo calorífico, en  $\text{W/m}^2$ .

**Potencia requerida para calentar el aceite de recirculación ( $P_a$ ).** La cantidad de aceite necesario para calentar el suelo térmico es  $100 \text{ L/día}$  en un área de  $64 \text{ m}^2$ . La potencia requerida para calentar el aceite de recirculación se calculó mediante la ecuación 43 (González, 2020).

$$P_a = m * C_p * \Delta T \quad (43)$$

$$P_a = \frac{100}{0.5} * 0.496 * 40 = 3\,755 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$P_a = 3\,755 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kWh}}{860 \text{ kcal}} = 4\,366 \text{ kW}$$

Donde:

$P_a$ = Potencia de la caldera, en kcal/h

m= caudal del aceite a calentar, en kg/h.

$\Delta T$ = variación de temperatura, en  $^{\circ}\text{C}$ .

**Energía que produce la caldera ( $C_c$ ).** Lo ideal es calcular las necesidades térmicas de la caldera de biomasa, es decir la energía que tendría para abastecer los requerimientos de la calefacción y el calentamiento del aceite de recirculación. Fue evaluado mediante la ecuación 44 (González, 2020).

$$C_c = P_o * \frac{\text{horas}}{\text{día}} * \text{días} * C_i \quad (44)$$

$$C_c = 9.12 \text{ kW} * 22 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 0.85 = 5\,116 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Donde:

$C_c$ = Consumo eléctrico de calefacción, en kWh/mes.

$P_o$ = Potencia de calefacción, en kW.

$C_i$  = coeficiente de intermitencia (0.85).

**Energía que produce el aceite de recirculación ( $C_a$ ).** Está dado por la cantidad de aceite requerido para que fluya en las tuberías de recirculación, según el consumo de horas al día. Las aves en sus primeras semanas de vida requieren 22 horas de calefacción para estar cómodas y evitar estrés calórico; todo esto viene dado por una capacidad calorífica y variación de temperatura dentro del galpón. Fue calculado por la ecuación 45 (González, 2020).

$$C_a = \text{demanda aceite} * n \text{ días} * \frac{\text{días}}{\text{mes}} * C_p * \Delta T \quad (45)$$

$$C_a = 100 * 22 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 0.469 * 40 \text{ °C} = 1\,238\,160 \frac{\text{kcal}}{\text{mes}}$$

$$C_a = 1\,238\,160 \frac{\text{kcal}}{\text{mes}} * 860 \frac{\text{kWh}}{860 \text{ kcal}} = 1\,439 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Donde:

$C_a$ = consumo eléctrico del aceite, en kWh/mes.

El consumo eléctrico total fue evaluado mediante la ecuación 46.

$$C_T = C_c + C_a \quad (46)$$
$$C_T = 5\,116 + 1\,493 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} = 6\,609 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Donde:

$C_T$ = consumo eléctrico total, en kWh/mes.

$C_c$ = consumo eléctrico de calefacción, en kWh/mes.

$C_a$ = consumo eléctrico del aceite, en kWh/mes.

Entonces, el prototipo de incineración de gallinaza puede reemplazar el consumo energético de 6 609 kWh/mes de energía en la empresa avícola REPROAVI.

**Biomasa requerida ( $B_r$ ).** La gallinaza que se necesita para suplir los 6 609 kWh/mes se calculó mediante la ecuación 47.

$$B_r = \frac{C_T}{P_{ci}} \quad (47)$$
$$B_r = \frac{6\,609 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}}{4.42 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = 1\,495 \text{ kg}$$

Donde:

$B_r$ = cantidad de biomasa requerida, en kg.

$C_T$ = consumo energético, kWh/mes.

$P_{ci}$ =poder calorífico del combustible, en kWh/kg.

**3.2.2.2.3. Diseño Sistema Biocarbón (fase 3).** El sistema se conforma por un tornillo sin fin de paso corto, tubo de reinyección de gallinaza luego del proceso de pirólisis formando un ciclo y finalmente la tolva de salida del biocarbón como se indica en el Anexo 8.

***Tornillo Sin Fin de Paso Corto Para Producir Biocarbón.*** Como ya se explicó el diseño y cálculo de un tornillo sin fin de paso corto, en este caso corresponde al tornillo sin fin encargado de transportar el biocarbón hacia la salida del prototipo una vez que el proceso de pirólisis haya culminado.

El diseño es similar a los cálculos realizados en los anteriores tornillo sin fin. En este cálculo los indicadores para el diseño son: acero de 11.13 mm de espesor, diámetro interno (Di) de 25 mm, diámetro externo (De) 114.3 mm, un paso (p) de 50 mm y un largo (L) de 250 mm. Se calculó el ancho de cara (A), mediante la ecuación 7 (Ingemecánica, 2017):

El dimensionamiento de la hélice para biocarbón es igual al cálculo ya realizado en la tolva. Entonces se expresan los valores calculados para el tornillo sin fin de paso corto, porque el valor del largo es 250 mm (ver Tabla 15).

**Tabla 16**

*Dimensionamiento tornillo sin fin paso corto para biocarbón*

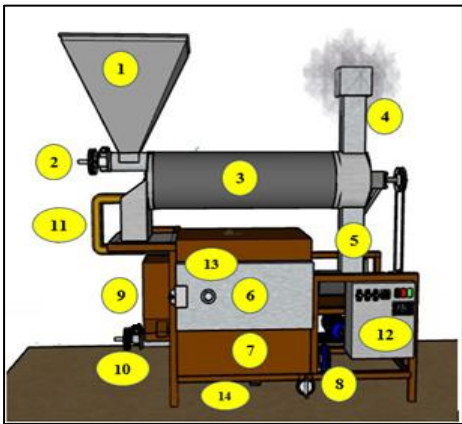
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área del relleno del transportador	S	0.003	m <sup>2</sup>
Velocidad de giro del eje	n	60	r.p.m.
Velocidad de desplazamiento	v	0.025	m/s
Flujo del material	Q	0.163	t/h
Potencia de accionamiento del material	P <sub>H</sub>	0.00013	kW
Potencia de accionamiento en vacío	P <sub>N</sub>	0.00143	kW
Potencia Total	P <sub>T</sub>	0.00223	kW



El prototipo de biocarbón está accionado por un motor 2HP GS56HC1F 220 V 50 Hz (ver Anexo 10) (Octal, 2018). Una vez establecidos los diseños de los sistemas del prototipo: alimentación y dosificación, pirólisis y biocarbón, se colocó en el programa de simulación Sketchup 2019, como se muestra en las Figuras 27 y 28.

**Figura 27**

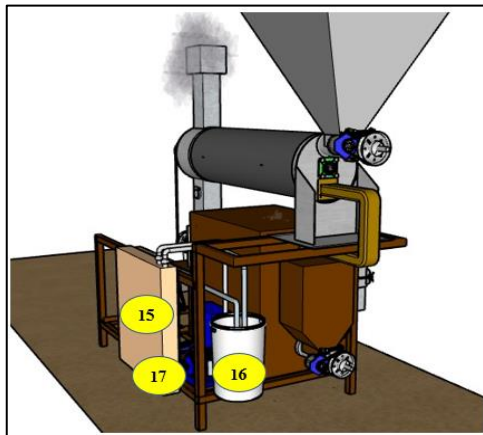
*Simulación de prototipo para obtener biocarbón, vista frontal*



1. Tolva de alimentación
2. Tornillo sinfín de la tolva
3. Cilindro secador giratorio
4. Chimenea
5. Ducto entrada tornillo sinfín
6. Horno pirolítico
7. Hogar
8. Soplador aire fresco
9. Tornillo sinfín salida biocarbón
10. Tolva de salida Biocarbón
11. Ducto reinyección de gases
12. Tablero de control
13. Visor (control de llama)
14. Recolector de cenizas

**Figura 28**

*Simulación de prototipo para obtener biocarbón, vista posterior*



15. Piso térmico
16. Recipiente metálico para agua capacidad 20 L.
17. Bomba de circulación de aceite.

*Nota.* Las figuras 27 y 28 corresponden a la simulación del diseño final del prototipo en el Programa Sketchup, 2019.

### 3.2.3. *Evaluación de los parámetros de operación adecuados del prototipo para el proceso de incineración de la biomasa*

El sistema de control permitió llevar a cabo los procesos de control y manejo en la máquina, mediante el termómetro industrial se registró la temperatura de pirólisis, temperatura del aceite de recirculación, el movimiento de giro de ejes en los tornillos sin fines, bombas, motorreductores u otros, como se muestra en la Figura 29.

#### **Figura 29**

*Tablero de control en máquina de biocarbón*



En su investigación Morejón et al, (2020)., establece que hay tres aspectos importantes para establecer la operación adecuada de un prototipo. La primera es el tiempo que se demora para obtener el producto, la segunda es la temperatura a la que se encuentra sometido el prototipo y la tercera es el resultado obtenido.

Otro parámetro importante para considerar es la cantidad de veces que se experimentó en el prototipo. Los datos obtenidos son válidos si se han realizado tres pruebas diarias por al menos un mes, esto da la certeza que los datos obtenidos son válidos. En la Tabla 17 se muestran los valores obtenidos durante las pruebas de funcionamiento una vez que el prototipo estuvo en condiciones óptimas de operación (ver Anexo 11 y 12).

**Tabla 17***Parámetros de operación del prototipo*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Medidas	1.80 x 2x 1.5	m
Capacidad gallinaza	26.5	kg
Encendido hogar	2	kg
Tiempo encendido	5	min
Tiempo del proceso	1h20	min
Temperatura máxima horno	640	°C
Temperatura máxima aceite	136	°C
Temperatura proceso de pirólisis	450-480	°C
Presión	0-30	kPa
Biocarbón	5	kg

*Nota.* Los valores fueron obtenidos durante un mes de pruebas continuas.

### **3.3. Materiales y Equipos**

Los materiales y equipos presentados a continuación permitieron el cumplimiento de los objetivos específicos, que constó de análisis fisicoquímicos de la gallinaza, construcción del prototipo para obtener biocarbón y la evaluación operacional de este, como se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18***Materiales, herramientas y equipos*

<b>Análisis de Parámetros Fisicoquímicos</b>		
<b>Materiales</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Equipos</b>
Ácido benzoico	Termómetro	Calorímetro IKA C 2000
Agua destilada	Manómetro	Balanza digital
Embudo		Oxígeno
Papel filtro		Horno de secado
Hoja de aluminio		Desecador
Crisol		
Tamiz abertura 1 mm		
Plato		
<b>Construcción Prototipo de Biocarbón</b>		
<b>Materiales</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Equipos</b>
Tubo acero negro ANSI B36.10 cédula 120 de 4.5"Ø	Escuadra	Motorreductor 12 V en cd
Tubo acero negro ANSI B36.10 cédula 80 3.5"Ø	Martillo	Reductor relación 1-100
Tubo acero negro ANSI B36.10 2" de Ø	Combo	Blower 1/8 de Hp de 110 V en 60 Hz
Eje de 3/4 de espesor	Juego de llaves	Motor 2 Hp, 60 Hz a 1750 r.p.m.
Eje 34 mm de diámetro	Destornilladores	Motor 1/2 Hp, trifásico
Lámina de acero 8 – 10 mm de espesor	Juego de hexágonos	Rulimán 72 mm x 40 mm x 36 mm
Lámina de acero 2.5 mm de espesor	Prensas	Chumacera Ucf 204-12 eje de 3/4
Lámina de acero de 1/8 mm de espesor	Juego de rachas	Bomba de aceite
Lámina de acero 12 mm de espesor	Flexómetro	Torno
Lámina de acero de 1.4 mm de espesor	Machuelos	Fresadora
Polea banda A x 1 canal 8" de Ø	Juego de brocas	Taladro de Pedestal
Polea banda A x 1 canal de 4" de Ø	Limatones	Taladro de mano
Polea banda A x 1 canal de 3" de Ø	Calibrador	Amoladora
Polea banda A x 1 canal 5" de Ø	Roladora de platinas	Soldadora 200 A, cd

Polea banda A x 2 canales de 5" Ø	Voladora de láminas	Fragua
Cadena con piñón de 24 dientes		Oxi corte
Tubería galvanizada espesor 2.5 mm		Esmeril
Visor de vidrio 5 cm x 5 cm		Dobladora de tol
Tacho de agua 20 L		
Material aislante 0.07 m de espesor		
Pernos ¼ grado 3 de acero		

### Evaluación de Parámetros de Operación en el Prototipo

Materiales	Herramientas	Equipos
Termocupla	Amperímetro	Tomacorriente macho-hembra trifásico con línea a tierra
Pulsador de paro y arranque	Multímetro	
Contactores		
Cable tipo A		

### Seguridad Personal

Materiales	Herramientas	Equipos
Mascarillas KN95	Casco protector	
Guantes		
Zapatos		
Gafas ANSI Z81		
Mandil electrostático		

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos en los objetivos específicos planteados durante el desarrollo de la investigación. Además, se establecen investigaciones relacionadas a cada objetivo con el fin de corroborar la información y validarla mediante modelos estadísticos.

#### 4.1. Caracterización de los Parámetros Físicoquímicos de la Gallinaza Generada en la Industria Avícola

Los análisis químicos de la gallinaza realizados en el laboratorio de IIGE bajo los métodos establecidos en las normativas BSI, se reportan en la Tabla 19. Los resultados obtenidos son el promedio de los valores totales mediante la cantidad de muestras realizadas ver Anexo 13.

**Tabla 19**

*Resultados caracterización de parámetros químicos en la gallinaza*

<b>Parámetro</b>	<b>Normativa</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
Poder calorífico	BSI EN 14918:2009	15.93	MJ/kg
Contenido de humedad	ISO 18134-2:2017	10.90	% (p/p)
Contenido de cenizas	BSI EN 14775:2009	20.57	% (p/p)
Análisis proximal	BSI EN 15148:2009	68.08	% (p/p)

*Nota.* El análisis proximal en base seca está compuesto por el contenido de cenizas, material volátil y carbón fijo presente en la gallinaza.

En esta investigación al determinar los parámetros fisicoquímicos de la gallinaza que se genera diariamente en la industria avícola, se estableció que físicamente las excretas se encuentran en estado seco con materiales de cama. En su composición química se obtuvo: poder calorífico de 15.93 MJ/kg, contenido de humedad 10.90 % (p/p), contenido de cenizas 20.57 % (p/p) y análisis proximal de 68.08 % (p/p). Estos valores indican que la gallinaza dispone de las características necesarias para realizar el proceso de combustión, por su alto poder calorífico, bajo contenido de humedad y cenizas. Ante lo mencionado, se acepta la hipótesis de investigación la cual expresa que se permite combustionar eficientemente la gallinaza para generar energía térmica en avícolas. Los resultados son corroborados por el Catálogo Europeo de Residuos (EWC) quien en su investigación sobre composición y descripción de gallinaza a nivel mundial estimó las características fisicoquímicas de residuos avícolas en base seca procedentes de distintas avícolas mediante la normativa BSI con la finalidad de determinar cuál otorga mayor beneficio para la producción de energía térmica, concluyeron que la gallinaza dispone un poder calorífico de 11.36 MJ/kg, contenido de humedad 38.7% (p/p), contenido de cenizas de 9.1%, análisis proximal de 23.2%. En tal sentido, ante lo descrito se confirma que la gallinaza de la avícola REPROAVI dispone las características para obtener biocarbón producto de una combustión anaerobia.

#### **4.2. Construcción de un Prototipo para la Incineración de Gallinaza con la Tecnología Biocarbón con Fines de Generación de Energía Térmica en la Industria Avícola**

En el capítulo anterior se detalló los cálculos, dimensionamientos y ecuaciones empleadas para el diseño del prototipo de biocarbón, a partir de ello se procedió a la construcción y montaje como se indica en la Figura 21. El material empleado en su estructura es tubo cuadrado de 2,6,10 y 12 mm de espesor. El tiempo que llevó para realizar el proceso fue seis meses.

### **Figura 30**

*Prototipo para obtener biocarbón a partir de gallinaza*



*Nota.* La búsqueda de materiales, construcción y montaje del prototipo tardó 6 meses, a partir de ello se realizó pruebas de funcionamiento durante un mes.

#### ***4.2.1. Sistema Alimentación y Dosificación***

Este sistema se conformó de una tolva de alimentación para colocar la gallinaza, tornillo sin fin de paso corto con el fin de transportar las excretas y el cilindro secador giratorio que permitió secar la gallinaza en su interior; todo ello, se logró mediante el movimiento del tornillo sin fin por chumaceras y motorreductor de 12 V en corriente directa. En la Tabla 20 se especifican los resultados obtenidos de cálculo y dimensionamiento del sistema.



**Tabla 20***Resultados de Sistema de Alimentación y Dosificación*

<b>Elemento</b>	<b>Material</b>	<b>Características</b>
Tolva de alimentación	Acero inoxidable 0.4 mm de espesor	-Capacidad de procesar 26.5 kg. -Volumen útil de 0.064 m <sup>3</sup> /día de gallinaza.
Tornillo sin fin de paso corto	Acero inoxidable 101.6 mm de espesor Tubo de acero negro ANSI B36.10 cédula 120.	-Traslada gallinaza, con 0.1 m/s de velocidad. -Velocidad de giro de 60 r.p.m. -Potencia de 0.00108 kW.
Cilindro secador giratorio	Acero inoxidable 8 mm de espesor Rodamiento UFC-20 Eje de 34 mm.	-Seca la gallinaza húmeda al estar con el 25% de llenado. -Volumen de 0.080 m <sup>2</sup> . -Potencia de 1.62 Hp. -Tiempo de descarga de gallinaza, 30 min.

**4.2.2. Sistema Pirólisis**

Este sistema se formó por un tornillo sin fin de paso corto, horno pirolítico para realizar el proceso de pirólisis en 300-500 °C y aprovechar la energía térmica que se genera en el procedimiento mediante un sistema de suelo radiante para el calentamiento de suelo en el galpón de la empresa REPROAVI. En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos para el sistema de pirólisis.

**Tabla 21***Resultados Sistema Pirólisis*

<b>Elemento</b>	<b>Material</b>	<b>Características</b>
Tornillo sin fin de paso corto	Acero inoxidable 11.13 mm de espesor Tubo de acero negro ANSI B36.10 cédula 120.	-Traslado de la gallinaza por el horno pirolítico y obtener biocarbón a 300-500 °C.
Horno pirolítico	Acero inoxidable 10 mm de espesor	-Mantiene el calor para el proceso de pirólisis. -Cilindro interno de 10.26 m <sup>2</sup> . -Procesa 361.2 kg de gallinaza.
Suelo radiante	Tuberías de polietileno reticulado PEX (16'2)	-Área a calefactar de 64 m <sup>2</sup> -Temperatura radiante media de 19 °C. -Temperatura operativa de 19.5 °C. -Flujo calorífico 144 W/m <sup>2</sup> .

**4.2.3. Sistema Biocarbón**

Este sistema se conformó por el tornillo sin fin de paso corto que permitió el traslado del biocarbón al exterior del prototipo. En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos para el Sistema de Biocarbón.

**Tabla 22***Resultados Sistema de Biocarbón*

<b>Elemento</b>	<b>Material</b>	<b>Características</b>
Tornillo sin fin de paso corto	Acero inoxidable 11.13 mm de espesor	-Traslado del biocarbón luego de que culminó el proceso de pirólisis.

En este estudio al construir un prototipo para incinerar gallinaza y obtener energía térmica, se obtuvo una máquina que produjo biocarbón, conformado por sistemas como: alimentación y dosificación, pirólisis y biocarbón; su estructura se construyó con acero inoxidable de tubo cuadrado a 10 mm de espesor, todo ello bajo el mando en un tablero de control para el funcionamiento adecuado. Ante lo descrito, se acepta la hipótesis de investigación la cual expresa que se permite combustionar eficientemente la gallinaza para generar energía térmica en avícolas. Los resultados son corroborados por Choque (2016) el cual expresa que para un correcto funcionamiento de prototipo es primordial la hermeticidad en el proceso de pirólisis para obtener biocarbón. Por tal motivo se establece correcto el diseño y dimensionamiento del prototipo para obtener biocarbón y energía térmica a partir de la gallinaza.

#### **4.3. Evaluar los parámetros de operación adecuados del prototipo para el proceso de incineración de la biomasa.**

Una vez obtenidas las condiciones estables de temperatura equivalente a máximo 480°C, se tomaron muestras diarias durante 1h20 minutos que dura el proceso desde el ingreso de gallinaza a la tolva hasta la salida de biocarbón junto con la energía térmica. Se tomó 1 muestra de temperatura en aceite y otra en horno pirolítico por cada minuto, es decir, 120 muestras de temperaturas diarias por tres días. Los datos registrados se muestran en el Anexo 13.

Al registrar los datos de temperatura del horno pirolítico se observó que el día 1 y 2 tienen una temperatura de 475°C en intervalo de 31-60 minutos y el día 3 con 474.2 °C en un rango de 0-30 minutos. Se establece que las temperaturas de los días 1 y 2 son apropiadas para el proceso de pirólisis, debido a su alto valor de temperatura, que contribuye a la obtención de energía térmica (ver Tabla 23).

**Tabla 23***Resultados de temperaturas parciales en horno pirolítico*

<b>Temperaturas °C</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>
0-30	474	473	474,2
31-60	475	475	470
61-90	471	471	471
91-120	471	471	472

Al obtener las temperaturas del aceite de recirculación, se observó que el día 1 y 3 tienen temperaturas de 133.5 °C en un intervalo de 31-60 minutos. El día 2 registró temperaturas menores. Se establece que el día 3 es el más idóneo para obtener energía térmica y calentar los galpones de polluelos (ver Tabla 24).

**Tabla 24***Resultados de temperaturas parciales en aceite de recirculación*

<b>Temperaturas °C</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>
0-30	131.9	136	133
31-60	133.5	130	133.5
61-90	136	136	136
91-120	137.5	131.9	137.5

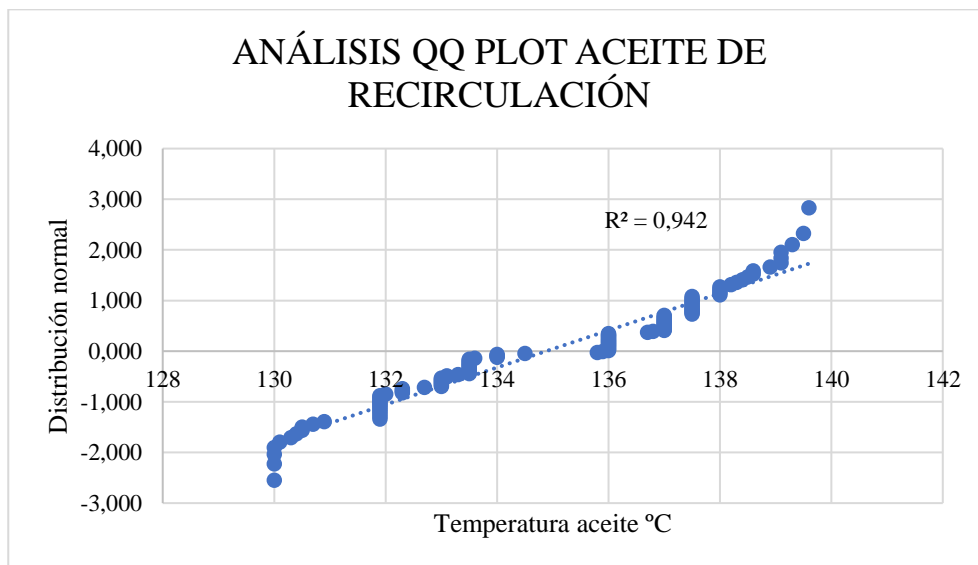
Según Morejón et al, (2020)., en su investigación, la pirólisis tuvo una temperatura de 673 K, en un tiempo de 45 minutos, con entrada de biomasa de forma continua.

#### **4.3.1. Análisis QQ Plot**

El análisis QQ Plot establece la comparación empírica de un grupo de valores junto con la distribución normal, es una forma gráfica para evaluaciones de normalidad en un conjunto de valores (Castillo & Lozano, 2007). En la Figura 31 se muestra el análisis QQ Plot de las temperaturas del aceite obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del prototipo, lo cual indica que en los datos existe normalidad ya que no están dispersos y siguen una línea de tendencia. Del mismo modo en la Figura 32, los valores de temperatura del horno pirolítico muestran normalidad.

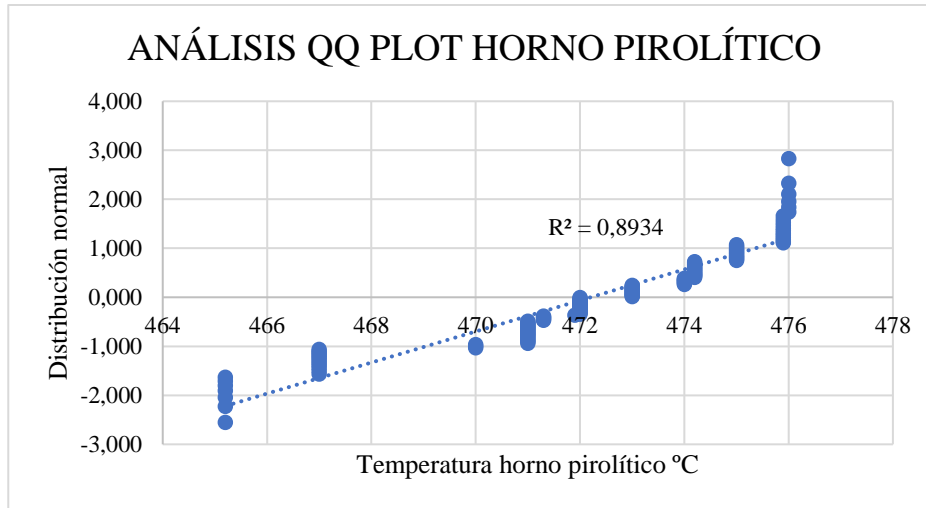
**Figura 31**

*Análisis QQ Plot de la temperatura de aceite*



**Figura 32**

*Análisis QQ Plot temperatura del horno pirolítico*



A partir del análisis QQ Plot en los datos de temperaturas en el horno pirolítico y aceite de recirculación, se procedió al análisis de componentes principales. Esto permite determinar cuál variable es representativa en el proceso (Castillo & Lozano, 2007). En la Tabla 24 se muestran los resultados obtenidos, en él se indica que la temperatura del horno pirolítico en el proceso de pirólisis es primordial para el funcionamiento del prototipo con un valor del 97% acumulado. Se descarta la variable temperatura de aceite al representar solo el 3% de incidencia en el funcionamiento del prototipo.

**Tabla 25**

*Análisis de componentes principales*

Variable	Porcentaje Acumulado (%)
Temperatura del horno	97.003
Temperatura del aceite	100

*Nota.* Los resultados que se representan en la Tabla 24 fueron realizados en el programa Statgraphics.

### 4.3.2. Análisis Estadístico

En el análisis estadístico se aplicó el método ANOVA (Análisis de Varianza), permite saber si los datos y resultados de la prueba tienen un nivel de significancia en la investigación, establece que se puede rechazar una hipótesis nula o aceptar la hipótesis del investigador o alternativa (Dagnino, 2014). En la Tabla 25 se muestra el Análisis ANOVA realizado sobre los datos obtenidos en las pruebas de funcionamiento de horno pirolítico obtenido luego del análisis de componentes principales. El valor P se encuentra mayor al 0.05 de significancia, esto indica que la hipótesis del investigador es verdadera, se cumple y los datos son correctos.

**Tabla 26**

*Análisis ANOVA*

<b>Fuente</b>	<b>Valor-P</b>
Temperatura horno pirolítico	0.2941

*Nota.* Los resultados que se representan en la Tabla ANOVA fueron realizados en el programa Statgraphics.

En la evaluación de los parámetros de operación adecuados del prototipo para incinerar biomasa, se obtuvo que el valor p calculado ( $0.0002 < p$  tabular  $0.05$ ) a través de la prueba paramétrica de ANOVA; adicional, se logró determinar que la temperatura correcta para el proceso de pirólisis y obtener biocarbón es  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  en 1 h 20 min resultando 5 kg de biocarbón a partir de 14 kg de gallinaza; además la temperatura máxima que se consiguió en aceite de recirculación fue  $136\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ante lo descrito, se acepta la hipótesis de investigación la cual expresa que se permite combustionar eficientemente la gallinaza para generar energía térmica en avícolas.

Los resultados obtenidos son corroborados por Morejón et al, (2020) que, mediante su investigación, obtuvo una temperatura de 400 °C en pirólisis, en un tiempo de 45 minutos, con entrada de biomasa de forma continua. Por tal motivo, en lo anterior descrito los parámetros de funcionamiento del prototipo de biocarbón se encuentran dentro del rango de temperaturas para producir biocarbón.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el siguiente capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones desarrolladas en la investigación, con fundamentos de la metodología desarrollada y los resultados obtenidos.

#### 5.1. Conclusiones

- La gallinaza de la avícola REPROAVI tiene un poder calorífico de 15.93 MJ/kg, con 10.93 % (p/p) en contenido de humedad y un contenido de cenizas de 20.57% (p/p).
- La parte fundamental del prototipo es el horno pirolítico, para su correcto funcionamiento se debe focalizar en la hermeticidad, control de temperatura y entrada de aire.
- La instalación del prototipo en la empresa REPROAVI representaría un ahorro energético de 4 287 kWh/año favorable para la avícola, evitando parcialmente la dependencia energética para la calefacción de pisos en el galpón para polluelos en la primera semana de vida.
- La temperatura idónea para el proceso de pirólisis a base de gallinaza es 450-480 °C. A partir de ello se podría calentar 64 m<sup>2</sup> en el suelo del galpón hasta obtener una temperatura interna de 32 °C que requiere el polluelo.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda una investigación para analizar las características físicas y químicas del biocarbón producido por pirólisis.
- Se propone realizar un estudio adecuado sobre control automatizado en el ingreso de la gallinaza hacia el cilindro secador giratorio.
- Se propone una capacitación hacia el personal de la avícola sobre el manejo y funcionamiento de la máquina de biocarbón.
- Se propone un análisis de los gases procedentes de la combustión luego del proceso de pirólisis.
- Se recomienda evaluar el proceso para la obtención de biocarbón con una visión de cogeneración.

## REFERENCIAS

- Alomá, E., & Malaver, M. (2007). Los Conceptos de Calor, Trabajo, Energía y Teorema de Carnot en Textos Universitarios de Termodinámica. *Educere*, 11, 477–478.  
<https://www.redalyc.org/pdf/356/35603814.pdf>
- ARCONEL. (2020, April 18). *Balance Nacional de Energía Eléctrica: Generación de Energía Térmica en Ecuador*. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>
- Ariadel, C. (2016). *DISEÑO DE UNA TOLVA DE FINOS CON PLANCHAS DE ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36 PARA ALMACENAR MINERAL POLIMETÁLICO A 300 MSNM*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7664/1/ARIALDE.pdf>
- Armijos, J., Barrezueta, S., & García, R. (2018). Elaboración de Biocarbón Obtenido a partir de la Cáscara de Cacao y Raquis del Banano. *ResearchGate*, 3.  
<https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/329659341>
- Asamblea Costa Rica. (2019). *Ley para la Gestión Integral de Residuos*.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68300#up](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68300#up)
- Asamblea Nacional. (2017). *CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Asociados Calero Ferre. (2021, February 5). *Tolvas de Almacenamiento: qué tipo elegir - ACF Industry*. <https://acfindustry.com/tolvas-de-almacenamiento-que-tipo-elegir-maquinaria-agroindustrial/>

- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). Extrusión. In *Tecnología de Polímeros: procesado y Propiedades* (1st ed., pp. 42–49). Universidad de Alicante.  
[https://books.google.es/books?id=jxilUUn4\\_QAC&lpg=PA4&pg=PA4&hl=es#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=jxilUUn4_QAC&lpg=PA4&pg=PA4&hl=es#v=onepage&q&f=false)
- BSI. (2009a). *Solid biofuels-Determination of ash content BS EN 14775*.
- BSI. (2009b). *Solid biofuels-Determination of calorific value BS EN 14918:2009*. British Standards Institute.
- BSI. (2009c). *Solid biofuels: determination of the content of volatile matter*. British Standards Institute.
- BSI. (2017). *Solid biofuels: determination of moisture content, oven dry method. Part 2, Total moisture, simplified method*.
- Carhuancho, F. (2012). *Aprovechamiento del Estiércol de Gallina para la Eleboración de Biol en Biodigestores Tipo Batch Como Propuesta al Manejo de Residuo Avícola*.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1769/P06.C375-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castelló, J. (2018, February). ¿CUÁNTA GALLINAZA PRODUCEN LAS GRANJAS DE POLLOS? Selecciones Avícolas .  
<https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2018/02/cuanta-gallinaza-producen-en-las-granjas-de-pollos>
- Castillo, S., & Lozano, D. (2007). Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. *Revista Electrónica Universidad de Jaén*, 2, 9.

- Choque, J. (2016). *OPTIMIZACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE SILO DE ALMACENAMIENTO PARA MATERIAL PUZOLANICO*.  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3441/Mtchcuj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *CONSTITUCION DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Cruz, C. (2018). *DISEÑO DE MEZCLAS DE CARBÓN Y CARBÓN-BIOMASA PARA PRODUCCIÓN DE BRIQUETAS GASIFICABLES EN LECHO FIJO*.  
[https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3035/1/TGT\\_1618.pdf?fbclid=IwAR3B2Mz-wAPyTuAprEWRsxu1QkS-M6d3u-Y8pmOvJbeXG9nqXiPnr1M7SCA](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3035/1/TGT_1618.pdf?fbclid=IwAR3B2Mz-wAPyTuAprEWRsxu1QkS-M6d3u-Y8pmOvJbeXG9nqXiPnr1M7SCA)
- Dagnino, J. (2014). ANÁLISIS DE VARIANZA. *Rev Chil Anest*, 303–310.  
<https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Dahiya, A. (2020). Bioenergy-biomass to biofuels: an overview. *GSR Solutions*, 3, 2–3.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815497-7.02001-7>
- DIEMVIC. (2018). *PODER CALORIFICO Y ANALISIS ELEMENTAL*.  
<https://www.diemvic.com/index.php/equipos-certificacion-pellet/poder-calorifico-analisis-elemental/>
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *SciELO*, 3, 374–375. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>

Estrada, M., & Marquéz, S. (2005). Interacción de los Factores Ambientales con la Respuesta del Comportamiento Productivo en Pollos de Engorde. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* , 18, 246–257.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-06902005000300006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902005000300006)

Gómez de la Torre, A., & Cangas, E. (2015). “*MANUAL ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO PARA LA EMPRESA REPROAVI CIA. LTDA. DE LA PARROQUIA DE CARANQUI CIUDAD DE IBARRA PROVINCIA DE IMBABURA.*”

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6636/1/02%20ICA%201149%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

González, C. (2020, March 18). *Calefacción por Suelo Radiante: Criterios de Diseño y Cálculo.*

Mundo HVAC&IR. <https://www.mundohvacr.com.mx/2018/11/calefaccion-por-suelo-radiante-criterios-de-diseno-y-calculo/>

Gordillo, J. (2018). “*DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN EQUIPO GENERADOR DE BIOCARBÓN UTILIZANDO MATERIA ORGÁNICA RESIDUAL.*”

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19309/1/CD-8677.pdf?fbclid=IwAR114Z0fudW9MbtWy6KJfcB3Rpg8K7NTR8vRsX7FHK2MDI91tDpF1qOzjMo>

Guzmán, R. E., Albornoz Vintimilla, E., Santiago, E., & Palacios, M. (2014). *ATLAS BIOENERGÉTICO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.*

IEA. (2018, June 15). *Tablas de datos y Estadística: Generación de Energía Térmica.*

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Renewables%20%26%20waste&year=2018>

Ingemecánica. (2017). *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin*.

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

Intagri. (2016). *La Gallinaza Como Fertilizante*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>

IRENA. (2017). *UNTAPPED POTENTIAL FOR CLIMATE ACTION RENEWABLE ENERGY IN NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTIONS About IRENA*. [www.irena.org](http://www.irena.org)

ISRAEL21c. (2018, May 10). *Huele mal, pero la excreta de aves promete ser fuente de energía*.

[https://es.israel21c.org/huele-mal-pero-la-excreta-de-aves-promete-ser-fuente-de-energia/?fbclid=IwAR3J6KVpZ3WeS8zoZq8NmZ-pqZ8CF-yR11zLaZYQPdyJthR8ganNTffu\\_dk](https://es.israel21c.org/huele-mal-pero-la-excreta-de-aves-promete-ser-fuente-de-energia/?fbclid=IwAR3J6KVpZ3WeS8zoZq8NmZ-pqZ8CF-yR11zLaZYQPdyJthR8ganNTffu_dk)

Lechtenberg, D., & Hansjorg, D. (2012). Alternative Fuel and Raw Material (AFR) Review “Poultry Litter.” In *Alternative Fuels and Raw Materials Handbook for the Cement and Lime Industry* (LB, Vol. 1, pp. 369–380). MVW Lechtenberg.

Liu Xu, L. (2015). *Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de Rosmarinus officinalis L. en vivero profesional*.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/54191/LIU%20-%20Desarrollo%20de%20nuevos%20sustratos%20a%20base%20de%20compost%20y%20biochar%20para%20la%20propagaci%F3n%20y%20producci%F3n....pdf?sequence=1>

MAGAP. (n.d.). *REGLAMENTO ZOOSANITARIO DE CENTROS DE CONCENTRACION DE ANIMALES*. Retrieved January 25, 2021, from [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

Manals, E., Salas, D., & Penedo, M. (2018, January). Caracterización de la biomasa vegetal “cascarilla de café.” *Scielo*, 1, 171–172. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq13118.pdf>

Ministerio de Producción, C. E. I. y P. (2021). *LIBRO BLANCO de Economía Circular en Ecuador*. [https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web\\_mayo102021.pdf](https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf)

Morejón, Y., Silva, D., & Reyes, Y. (2020). Design of an Industrial Rotary Cylinder Grain Dryer. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(3), 65–70. <https://eqrcode.co/a/XP8sGZ>

Mullo, I. (2012). *MANEJO Y PROCESAMIENTO DE LA GALLINAZA*. <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/2114/1/17T1106.pdf>

Murillo, T. (1999). *ALTERNATIVAS DE USO PARA LA GALLINAZA* (pp. 428–430). Conferencia 94. [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_427.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_427.pdf)

Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una Oportunidad para América Latina y el Caribe. In *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>

Nova Energía. (2009, April 22). *Biodigestores que producen energía a partir de gallinaza - Energías*. Grupo Nova Energía. <http://www.interempresas.net/Energia/Articulos/30744-Grupo-Nova-Energia-distribuye-biodigestores-que-producen-energia-a-partir-de-gallinaza.html>



- Perkins Engines Company Limited. (2004). *Manual de Operación y Mantenimiento: Motores 1103 y 1104*. <http://emesaperk.com.mx/manuales/h.pdf>
- PNUD Ecuador. (2012). *Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles | El PNUD en Ecuador*. <https://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html>
- Prefectura Imbabura. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura Geoparque Mundial de la Unesco*.  
[https://www.imbabura.gob.ec/sil/actualizacion-pdot/diagnostico/ficha\\_territorial\\_imbabura\\_04032020.pdf](https://www.imbabura.gob.ec/sil/actualizacion-pdot/diagnostico/ficha_territorial_imbabura_04032020.pdf)
- Prieto, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía Circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *ResearchGate*, 3, 85–91.  
<https://www.researchgate.net/publication/321197773>
- RBA. (2020, April 23). *¿Qué es la bioenergía? - Ambiental*. <http://www.rba-ambiental.com.ar/bioenergia/que-es-la-bioenergia/>
- Riba, C., & Molina, A. (2006). *Ingeniería Concurrente: Una Metodología Integradora*.  
<https://es.scribd.com/document/212472909/Riba-Molina-2006-Ingenieria-concurrente-completo>
- Rincón, J., & Silva, E. (2014). *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*.  
<http://www.ianas.com/docs/books/ebp01.pdf>
- Rivas, S. (2015). *Dimensionamiento y Estudio de Factibilidad para la Implementación de un Suelo Radiante para la Granja Avícola de Engorde LEBRIJA SANTANDER*.

[https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1410/2015\\_Tesis\\_Rivas\\_Paez\\_Sebastian.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1410/2015_Tesis_Rivas_Paez_Sebastian.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rodríguez, A. (2017, October 10). *¿Qué son las tolvas en el sector industrial y para qué sirven?: Maquinaria e Industria*. <https://maquinariaeindustria.es/que-son-las-tolvas-industriales/>

Romero, E. (2018). *Metodología para el Diseño de Máquinas Adaptadas a Comunidades en Desarrollo*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/121027/TMEBR1de1.pdf>

Salinas, E., & Gasca, V. (2009). Los Biocombustibles. *El Cotidiano*, 2, 77–78.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32512739009>

Sarachu, E. (2018, December 9). *Suelo Radiante: Ventajas, Funcionamiento y Tipos de Superficies Radiantes*. Eficiencia. <https://e-eficiencia.com/suelo-radiante-ventajas-funcionamiento-tipos/>

Sitio Avícola. (2013, November 13). *Sistemas de calefacción por biomasa para galpones de pollos*. <https://www.elsitioavicola.com/articles/2479/sistemas-de-calefaccian-por-biomasa-para-galpones-de-pollos/>

Suice, R. (2016, June 29). *Diseño de tolvas*. SlideShare.  
<https://www.slideshare.net/RamiroSIUCEBONIFACIO1/diseo-de-tolvas-63586969>

Tapia, L., & Mafla, C. (2014). *ACUERDO MINISTERIAL 5186 REGLAMENTO INTERMINISTERIAL GESTIÓN DESECHOS SANITARIOS*.  
[https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/12/ACUERDO\\_MINISTERIAL\\_5186\\_REGLAMENTO\\_INTERMINISTERIAL\\_GESTI%C3%93N\\_DESECHOS\\_SANITARIOS.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/12/ACUERDO_MINISTERIAL_5186_REGLAMENTO_INTERMINISTERIAL_GESTI%C3%93N_DESECHOS_SANITARIOS.pdf)

TECPA. (2020, September 29). *Elegir caldera de biomasa en 2020 | Formación de ingenieros.*

<https://www.tecpa.es/elegir-calderas-biomasa/>

Tuvansa. (2020). *DIMENSIONES Y PESOS DE TUBERIA DE ACERO AL CARBÓN SIN Y CON COSTURA ASTM-A-53-B, A-106-B Y API-5L-X42 / DIMENSIONS AND WEIGHTS FOR SEAMLESS AND WELDED WROUGHT STEEL PIPE.*

<http://www.tuvansa.com.mx/docs/tuberia.pdf>

Ugarte, M. (2017). *DISEÑO DE ALMACENAMIENTO Y ALIMENTACIÓN DE BIOMASA PARA UN GASIFICADOR DE LA CENTRAL DE 75 KW EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES.*

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23036/3560900231983UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Velázquez, M., Martínez, J., Guevara, P., Vargas, J., Castellanos, D., Duarte, C., Montiya, O., Durán, D., Morales, Y., Zarama, L., & Quintero, J. (2018). *ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERSIÓN A BIOGÁS DE LA BIOMASA EN COLOMBIA Y SU APROVECHAMIENTO.*

<https://bdigital.upme.gov.co/jspui/bitstream/001/1317/1/Informe%20final.pdf>

Williams, C. (1999). *Gestión de Residuos de aves de corral en los países en desarrollo.*

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

<http://www.fao.org/3/al718s/al718s00.pdf>




## ANEXOS

### Anexo 1. Sistema de Alimentación y Dosificación.



Este sistema se compone: 1) Tolva de alimentación, 2) Tornillo sin fin de paso corto, 3) Cilindro secador giratorio y 4) Chimenea para la expulsión de gases.

## Anexo 2. Ficha técnica de motorreductor DC-ServoDisk FG

<ul style="list-style-type: none"> <li>- forma plana y liviana para una fácil integración del diseño</li> <li>- relaciones de reducción de 15: 1 a 150: 1</li> <li>- par de salida continuo de hasta 22,6 Nm</li> <li>- adecuado para funcionamiento con batería de 12 o 24 voltios</li> <li>- cogging cero para un funcionamiento suave</li> <li>- baja inercia produce rapidez , respuesta precisa a las señales de comando</li> <li>: la solución rentable y que ahorra espacio</li> </ul>							
<p>La serie FG de bajo voltaje es un motorreductor de diseño plano, ideal para aplicaciones alimentadas por batería.</p> <p><b>Resumen de datos técnicos Serie de motorreductores DC-ServoDisk ... FG ...</b></p>							
Relación de transmisión		15: 1	25: 1	50: 1	80: 1	100: 1	150: 1
<b>9FG</b>	$M_N$ [Nm] / $n_N$ [1 / min]	1,1 / 208	1,9 / 125	3,8 / 60	6,0 / 38	6,7 / 31	6,7 / 21
<b>9FGT *</b>	$M_N$ [Nm] / $n_N$ [1 / min]	0,9 / 208	1,5 / 125	3,1 / 60	5,0 / 38	5,6 / 31	6,7 / 21
<b>12FG</b>	$M_N$ [Nm] / $n_N$ [1 / min]	3,5 / 189	5,3 / 123	11/60	17,5 / 36	21,1 / 30	22,6 / 21
<b>12FGT *</b>	$M_N$ [Nm] / $n_N$ [1 / min]	3,2 / 189	4,8 / 123	9,8 / 60	15,7 / 36	19,1 / 30	22,6 / 21
<b>9FG</b>	$U_N$ [V] / $I_N$ [A]	12,4 / 5,2	12,4 / 5,2	12,4 / 5,2	12,4 / 5,2	12,4 / 5,2	10,9 / 3,7
<b>9FGT *</b>	$U_N$ [V] / $I_N$ [A]	11,4 / 5,2	11,4 / 5,2	11,4 / 5,2	11,4 / 5,2	11,4 / 5,2	10,5 / 4,3
<b>12FG</b>	$U_N$ [V] / $I_N$ [A]	21,2 / 6,9	21,2 / 6,9	21,2 / 6,9	21,2 / 6,9	21,2 / 6,9	19,2 / 5,2
<b>12FGT *</b>	$U_N$ [V] / $I_N$ [A]	19,4 / 7,4	19,4 / 7,4	19,4 / 7,4	19,4 / 7,4	19,4 / 7,4	17,8 / 6,0

### Anexo 3. Especificaciones de las láminas de acero inoxidable de 1.4 mm de espesor.



#### ACERO INOXIDABLE 304

También se lo conoce como acero inoxidable opaco o mate. Los aceros inoxidables 304 austeníticos no son magnéticos, es decir no se pega el imán, y no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. Son muy dúctiles y presentan excelente soldabilidad.

El inoxidable austenítico más popular es el Tipo 304, que contiene básicamente 18% de cromo y 8% de níquel, con un tenor de carbono limitado a un máximo de 0,08%. Tiene gran aplicación en las industrias químicas, farmacéuticas, de

alcohol, aeronáutica, naval, uso en arquitectura, alimenticia, y de transporte. Es también utilizado en cubiertos, vajillas, piletas, revestimientos de ascensores y en un sin número de aplicaciones.

#### Acabados del acero inoxidable 304:

**Acabado 2B:** Planchas laminadas en frío, acabado mate, con protección PVC.

**Acabado N4:** Planchas pulida a una cara, con protección de PVC, la otra en acabado 2B.

**Acabado N1:** Planchas laminadas en caliente, tratadas térmicamente, decapadas química y mecánicamente.

### DESCRIPCIÓN

#### Norma: AISI 304

#### Especificaciones Generales del acero inoxidable 304:

ESPEORES	desde 0.40 – 15mm	
ACABADOS	2B – N4 – N1	
DIMENSIONES	1220 x 2440 mm (estándar)	
	1220 x otros (largos especial)	
DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A LA NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301



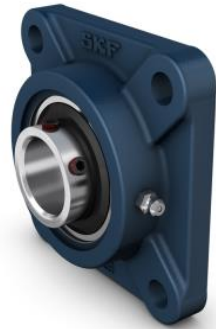
Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar en acabados: 2B, N1 y N4.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 – 10,5	18 – 20	XX	XX
PROPIEDADES MECÁNICAS								
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Mín.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)			
Kg / mm <sup>2</sup>	Psi	Kg / mm <sup>2</sup>	Psi		ROCKWELL B	VICKERS		
49	69500	18	25500	40	81,7	160		

## Anexo 4. Especificaciones de rodamientos tipo UCF 204-12.

**SKF**

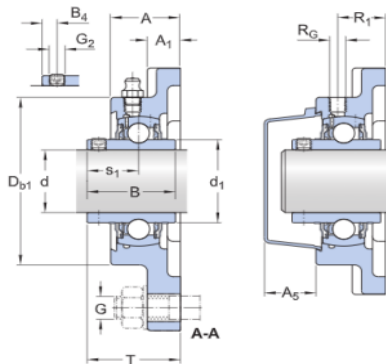
Generado desde [sitio] el [fecha]



### UCF 204-12

Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada

#### Especificación técnica



#### DIMENSIONES

d	19.05 mm	Diámetro del agujero
d1	≈28.7 mm	Diámetro exterior del aro interior
A	25.5 mm	Ancho total
A <sub>1</sub>	11 mm	Ancho de la pestaña
A <sub>5</sub>	20.5 mm	Parte que sobresale de la tapa lateral
B	31 mm	Ancho total del rodamiento
B <sub>4</sub>	5 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
D <sub>b1</sub>	60 mm	Diámetro superior externo
J	64 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
L	86 mm	Longitud total
N	12 mm	Diámetro del agujero del tornillo de fijación



**Anexo 5.** Especificaciones tubería de acero negro ANSI B36.10 cédula 80 y 120.

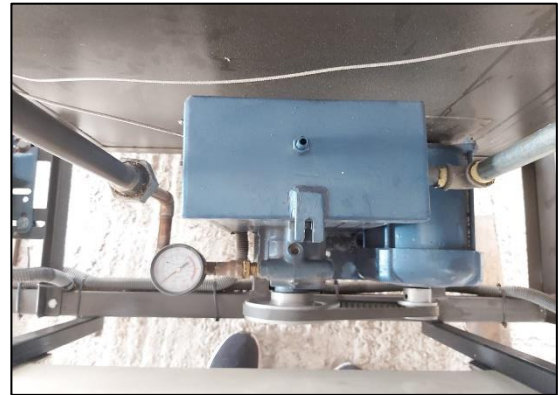


Steel Pipe Dimensions Chart ANSI B36.10 & 36.19

Nominal Pipe Size	Outside Diameter (mm)	Nominal Wall Thickness Schedule																	
		SCH 5s	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s	SCH STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80s	SCH XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	SCH XXS	
NPS	DN	OD																	
1/8	6	10.3		1.24				1.73	1.73	1.73		2.41	2.41	2.41					
1/4	8	13.7		1.65				2.24	2.24	2.24		3.02	3.02	3.02					
3/8	10	17.1		1.65				2.31	2.31	2.31		3.20	3.20	3.20					
1/2	15	21.3	1.65	2.11				2.77	2.77	2.77		3.73	3.73	3.73				4.78	7.47
3/4	20	26.7	1.65	2.11				2.87	2.87	2.87		3.91	3.91	3.91				5.56	7.82
1	25	33.4	1.65	2.77				3.38	3.38	3.38		4.55	4.55	4.55				6.35	9.09
1 1/4	32	42.2	1.65	2.77				3.56	3.56	3.56		4.85	4.85	4.85				6.35	9.70
1 1/2	40	48.3	1.65	2.77				3.68	3.68	3.68		5.08	5.08	5.08				7.14	10.15
2	50	60.3	1.65	2.77				3.91	3.91	3.91		5.54	5.54	5.54				8.74	11.07
2 1/2	65	73	2.11	3.05				5.16	5.16	5.16		7.01	7.01	7.01				9.53	14.02
3	80	88.9	2.11	3.05				5.49	5.49	5.49		7.62	7.62	7.62				11.13	15.24
3 1/2	90	101.6	2.11	3.05				5.74	5.74	5.74		8.08	8.08	8.08					
4	100	114.3	2.11	3.05				6.02	6.02	6.02		8.56	8.56	8.56		11.13		13.49	17.12
5	125	141.3	2.77	3.40				6.55	6.55	6.55		9.53	9.53	9.53		12.70		15.88	19.05
6	150	168.3	2.77	3.40				7.11	7.11	7.11		10.97	10.97	10.97		14.27		18.26	21.95

**Anexo 6.** Sistema de Pirólisis





El sistema se compone de: 1) Horno pirolítico con visor en su puerta para el control de llama dentro de la caldera. 2) Cilindro, en su interior el tornillo sin fin de paso corto y la caldera. 3) Toma de calor dentro del horno pirolítico. 4) Bomba de recirculación de aceite.

## Anexo 7. Ficha Técnica de Bomba hidráulica RENAULT K4M/K7M



**RENAULT**  
Passion for life



### Información del producto

Marca	Renault
Número de pieza	491108049R
Modelo	K4M / K7M

### Otras características

Diámetro del puerto de entrada de la bomba de dirección: 1 mm

Diámetro del puerto de salida de la bomba de dirección: 1 mm

Polea de la bomba de dirección incluida: No

Tipo de bomba de dirección: Hidráulica

Depósito de líquido incluido: No

Origen: RENAULT


OEM: 491108049R

## Anexo 8. Sistema de Biocarbón



El sistema se compone de: 1) Tubo de reinyección de gallinaza luego del proceso de pirólisis. 2) Tolva de la salida para el biocarbón.

## Anexo 9. Especificaciones térmicas de tuberías para suelo radiante PERT-AIR-PERT.



# Tubería PERT-AI-PERT

## Características del producto

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS

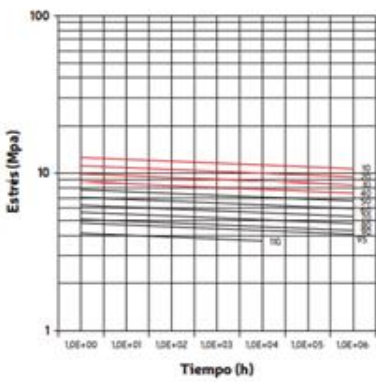
Característica	Valor	Unidad de medida
Temperatura máxima de servicio	95	°C
Temperatura máxima puntual	110	°C
Permeabilidad de oxígeno	<0.0010	g/m <sup>3</sup> d
Coefficiente de expansión lineal	0.025	mm/m °K
Conductividad térmica a 60°C	0.43	W/m °K
Alargamiento a la rotura	>400	%
Rugosidad	0.007	mm
Presión de rotura	80	bar
Densidad	>951	Kg/m <sup>3</sup>
Estabilidad térmica (110°C-8760h)	Sin ruptura	bar

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Características	Valor	Unidad
Densidad	951	Kg/m <sup>3</sup>
Grado de reticulación	>70	% peso
Rugosidad	0.007	mm
Peso	96	g/m
Volumen	0.13	l/m

### CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Características	Valor	Unidad
Temperatura máxima de servicio	95	°C
Temperatura máxima puntual	110	°C
Comportamiento calor 120°C; 1 hora	<2.5	%
Calor específico 23°C	2.3	KJ/kg · K
Conductividad térmica	0.35 - 0.38	W / m · K
VICAT temperatura	130-132	°C
Permeabilidad O <sub>2</sub>	0.08	g/m <sup>3</sup> d
Coefficiente de dilatación lineal	0.026	mm/m°K



### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Características	Valor	Unidad
Resistencia a la tensión	>22	N/mm <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura	>400	%
Módulo de elasticidad	>800	N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la presión interna s=4.8 Mpa, 95°C	>1	Horas
Resistencia a la presión interna s=4.7 Mpa, 95°C	>22	Horas
Resistencia a la presión interna s=4.5 Mpa, 95°C	>165	Horas
Resistencia a la presión interna s=4.4 Mpa, 95°C	>1000	Horas
Resistencia a la presión interna s=2.5 Mpa, 110°C	>1	Año

### CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES DE SERVICIO

Clase Aplicación	Función	Clase de temperatura	Temperatura (°C)	Tiempo (años)
1	Agua caliente (60°C)	Temperatura de diseño	60	49
		Temperatura máxima	80	1
		Temperatura mal funcionamiento	95	0.0114
2	Agua caliente (70°C)	Temperatura de diseño	70	49
		Temperatura máxima	80	1
		Temperatura mal funcionamiento	95	0.0114
		Temperatura de diseño	20	2.5
		Temperatura de diseño	40	2.5



## Anexo 10. Motor 2HP GS56HC1F 220 V 50 Hz



Motor con carcasa de chapa, destinado a uso general, desarrollado para atender a las más variadas aplicaciones con desempeño y ahorro máximos.

### Resumen de las características técnicas

Norma	NEMA MG-1	Potencia	2 HP
Frecuencia	50 Hz	Fijación	Con pies
Tensión	220 V	Brida	FC 149
Numero de polos	4	Forma constructiva	F-1
Grado de protección	IP21	Caja de conexión <sup>1</sup>	Sin caja de conexión
Rotación sincrona	1500 rpm	Refrigeración	IC01 - ODP

## Anexo 11. Previo a las pruebas de funcionamiento



## Anexo 12. Obtención de biocarbón.



**Anexo 13.** Resultado caracterización Fisicoquímica de la gallinaza de REPROAVI en el laboratorio de IIGE.



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN  
GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO  
LABORATORIO DE BIOMASA

Av. Giovanni Calles s/n y Av. Padre Luis Vaccari

INFORME DE ENSAYOS N° LB-01-2021

<b>SOLICITANTE</b>	Universidad Técnica del Norte- UTN Ing. Jorge Granja	<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	2021-01-21
<b>MUESTRA</b>	Gallinaza	<b>FECHA DE INFORME</b>	2021-01-29
<b>NÚMERO</b>	LB-001-2021	<b>ENVASE</b>	Envase aprox. 1500 g
<b>ENSAYO REQUERIDO</b>	Humedad, cenizas, análisis proximal, poder calórico	<b>MUESTREO</b>	Solicitante
<b>DOCUMENTO</b>	Oficio S/N del 16 de diciembre de 2020		
<b>TÉCNICO ASIGNADO</b>	D. Sinche, M. Romero		

**RESULTADOS**

MATRIZ DE ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO	MÍNIMO	MÁXIMO	RESULTADO
Gallinaza (LB-001-2021)	Humedad (N1), %(p/p)	ISO 18134-2:2017	a	a	11,14
	Humedad (N2), %(p/p)	ISO 18134-2:2017	a	a	10,62
	Humedad (N3), %(p/p)	ISO 18134-2:2017	a	a	11,10
	Humedad (N4), %(p/p)	ISO 18134-2:2017	a	a	10,94
	Humedad (N5), %(p/p)	ISO 18134-2:2017	a	a	10,70
	Cenizas (N1), %(p/p) bs	BS EN 14775:2009	a	a	20,63
	Cenizas (N2), %(p/p) bs	BS EN 14775:2009	a	a	20,56
	Cenizas (N3), %(p/p) bs	BS EN 14775:2009	a	a	20,56
	Cenizas (N4), %(p/p) bs	BS EN 14775:2009	a	a	20,60
	Cenizas (N5), %(p/p) bs	BS EN 14775:2009	a	a	20,54
	Materia volátil, %(p/p) bs	BS EN 15148:2009	a	a	68,08
	Carbón fijo*, %(p/p) bs	BS EN 15148:2009 BS EN 14775:2009	a	a	11,35
	Poder calórico superior (N1), MJ/kg bs	BS EN 14918:2009	a	a	15,88
	Poder calórico superior (N2), MJ/kg bs	BS EN 14918:2009	a	a	16,05
	Poder calórico superior (N3), MJ/kg bs	BS EN 14918:2009	a	a	15,88

Los ensayos fueron realizados en base a la muestras receptadas en el laboratorio y bajo los métodos mencionados.

a: El método utilizado no presente valores de mínimo y máximo para estos ensayos

bs: Valores expresados en base seca

\*: Valor en base seca calculado a partir del contenido promedio de cenizas y volátiles

Nota: El análisis proximal (en base seca) está compuesto por el contenido de cenizas, volátiles y carbón fijo.



Firmado electrónicamente por:  
**DANNY  
FABRICIO  
SINCHE ARIAS**

Danny Sinche  
Responsable Técnico del Laboratorio

**Anexo 13.** Registro de datos en pruebas de funcionamiento.

<b>Nro.</b>	<b>Temperatura Aceite (°C)</b>	<b>Temperatura Horno (°C)</b>
1	136	474
2	137	465.2
3	138	467
4	133	472
5	133.5	473
6	131.9	474.2
7	130	475
8	136	475.9
9	137.5	474
10	137	465.2
11	138	467
12	133	472
13	133.5	473
14	131.9	474.2
15	130	475
16	136	475.9
17	137.5	474
18	137	465.2
19	138	467
20	133	472
21	133.5	473
22	131.9	474.2
23	130	475
24	136	475.9
25	137.5	474
26	137	465.2
27	138	467
28	133	472
29	133.5	473
30	131.9	474.2
31	130	475
32	136	475.9
33	137.5	474
34	137	465.2
35	138	467
36	133	472
37	133.5	473
38	131.9	474.2
39	130	475



---

40	136	475.9
41	137.5	470
42	137	474
43	138	465.2
44	133	467
45	133.5	472
46	131.9	473
47	130	474.2
48	136	475
49	137.5	475.9
50	137	470
51	138	470
52	133	474
53	133.5	465.2
54	131.9	467
55	130	472
56	136	473
57	137.5	474.2
58	132	475
59	133.1	475.9
60	134	471
61	136	471
62	139	471
63	132.3	471
64	133.1	467
65	134	472
66	136	473
67	139	474.2
68	132.3	475
69	134	475.9
70	136	471
71	139	471
72	132.3	471
73	134	471.3
74	136	471.3
75	139	471.3
76	132.3	471.3
77	136	471.3
78	137.5	467
79	137	472
80	138	473
81	133	474.2

---

---

82	133.5	475
83	131.9	475.9
84	130	471
85	136	471
86	137.5	471
87	137	471.9
88	138	467
89	133	472
90	133.5	473
91	131.9	474.2
92	130	475
93	136	475.9
94	137.5	471
95	137	471
96	138	471
97	133	472
98	133.5	472
99	131.9	472
100	130	472
101	136	472
102	137.5	472
103	137	467
104	138	472
105	133	473
106	133.5	474.2
107	131.9	475
108	130	475.9
109	136	471
110	137.5	471
111	137	471
112	138	473
113	133	467
114	133.5	472
115	131.9	473
116	130	474.2
117	136	475
118	137.5	475.9
119	137	471
120	138	471

---

---

**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

**EQUIPO DE PIRÓLISIS PARA LA PRODUCCIÓN DE**

**BIOCARBÓN**

---

**Tema:** “IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOCARBÓN PARA OBTENER ENERGÍA TÉRMICA EN LA EMPRESA REPROAVI”.

**Ubicación:** Parroquia: El Sagrario

Cantón: Ibarra

Provincia: Imbabura

**Responsable:** Ing. Jorge Granja Ruales

**Autora:** Heidy Nicole Morillo

**Fecha:** 2022/02/23

**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**  
**EQUIPO DE PIRÓLISIS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCARBÓN**  
**OBJETIVO**

El documento presentado a continuación tiene por objetivo establecer un manual de operación y mantenimiento de un equipo de pirólisis para la producción de biocarbón y energía térmica, mismo que permita la comprensión de los procesos de forma rápida y sencilla posible. Este manual contiene instrucciones de importancia para el desarrollo y manejo del equipo con sus instalaciones. Las instrucciones descritas se basan en la autora de la máquina y normativas establecidas.

Al ser un equipo que entra en contacto con procesos de: rotación, combustión, expulsión de sustancias volátiles y recirculación de fluidos; consta de parámetros para precautelar su estado operativo, la integridad del ser humano y las instalaciones inmersas. En este texto se otorga los pasos a seguir y recomendaciones para poner en funcionamiento la máquina, como se menciona a continuación:

### **6.1. Seguridad**

Este aspecto indica situaciones de advertencia y peligro al momento de operar la máquina, lubricar, realizar mantenimiento o corregir desperfectos.

#### **6.1.1. Avisos de Seguridad**

Las etiquetas de los motores, componentes de la máquina e instalaciones deben estar señalizados de forma exacta que especifiquen el peligro correspondiente.

En caso de que las etiquetas no sean legibles, limpiarlas con agua y jabón, si la situación persiste reemplazar las etiquetas (Perkins Engines Company Limited, 2004). En la máquina existirán rótulos como se muestra en la Figura 33:

### Figura 33

*Etiquetas de bioseguridad presente en la máquina*



*Nota.* Tomado de *Señal de Peligro, Residuos Peligrosos*, por Perkins Engines Comapy Limited, 2004, (<http://ebersign.com/senalizacion/advertencia.php>).

#### 6.1.2. Seguridad Personal

La integridad del ser humano ante la manipulación de una máquina es primordial, lo ideal es contar con un equipo de seguridad y protección para evitar accidentes. Por ello se deben seguir las siguientes recomendaciones (ver Figura 34):

- El uso de casco, anteojos de protección y guantes es obligatorio.
- La máquina al estar en funcionamiento emite ruido que puede afectar al oído, por lo cual la protección auditiva es importante.
- El uso de la mascarilla es imprescindible para evitar el ingreso de material particulado y percibir olores desagradables presentes en la gallinaza.
- Asegurarse que el vestuario es el adecuado para trabajar con máquinas.

- El calzado debe ser el antideslizante para evitar caídas.

### Figura 34

*Equipo de seguridad y protección personal*



*Nota.* Tomado de *Importancia del Uso de Elementos de Protección Personal*, por Perkins Engines Comapy Limited, 2004, <https://www.guantexindustrial.com.ar/module/owlblog/post/33-1-importancia-del-uso-de-elementos-de-proteccion-personal.html>

#### 6.1.3. Penetración de Fluidos

La presión puede quedar dentro del circuito aun después de que se haya parado la máquina. Si esta presión no se alivia de forma correcta, puede causar que elementos como tapones de tuberías se disparen. En ese caso, NO se debe retirar ningún componente hasta que la máquina se haya estabilizado evitando daños personales (Perkins Engines Company Limited, 2004)..

Por otro lado, se puede utilizar un cartón para comprobar si hay fugas, debido a la baja presión misma que puede penetrar tejidos del cuerpo humano y causar posibles lesiones. Si dicho fluido atraviesa la piel, se debe tener atención médica inmediata como se observa en la Figura 35. La máquina dispone de un sistema de rotación de fluido ARV (Aceite Reciclado de Vehículo), que recircula de forma continua, siendo uno de los procesos que debe ser analizado en el mantenimiento preventivo, mediante pruebas ajustes o posibles reparaciones. En caso de que exista derrames de fluido, usar únicamente equipos y herramientas adecuadas para la recolección de fluidos. (Perkins Engines Company Limited, 2004).

## Figura 35

*Seguridad en penetración de fluidos*



*Nota.* Tomado de *Manual de Operación y Mantenimiento Motores 1103 y 1104* (p.7), por Perkins Engines Comapy Limited, 2004.

### **6.1.4. Prevención de Incendios o Explosiones**

Los lubricantes son inflamables, si existe alguna fuga o derrame sobre componentes eléctricos o superficies altamente calientes puede ocurrir un incendio, causando lesiones corporales y daños materiales. Ante esto, se recomienda que:

- No se realicen soldaduras en tanques que contengan fluidos inflamables.
- Las instalaciones eléctricas estén en buenas condiciones y firmemente sujetas.
- Evitar el uso de cables con menor calibre recomendado.
- La estructura de la máquina este alejada.

### **6.1.5. Prevención Contra Cortes**

Por lo general, en máquinas que disponen de piezas giratorias, que se encuentran en movimiento durante el funcionamiento. Es importante mantener a la persona que opera la máquina alejada de estos componentes, misma que debe contar con el equipo de seguridad y protección.

## **6.2. Operación**

La operación de la máquina requiere de un conjunto de actividades desarrolladas para lograr que el equipo tenga un funcionamiento correcto y pueda cumplir con la función para la que fue diseñada.

### **6.2.1. Antes de Arrancar la Máquina**

Antes de poner en funcionamiento la máquina, el personal operativo debe contar con el equipo de protección y un conjunto de herramientas en caso de una situación descontrolada o peligrosa. Para iniciar el funcionamiento de la máquina, se debe encender el biocarbón o carbón (en el primer arranque) ubicado en el hogar del horno, mediante el uso de un mechero a gas o un soplete, con la puerta cerrada del horno se alimentará a la flama con oxígeno utilizando el soplador se pulsa el botón verde de arranque.

### **6.2.2. Arranque de la Máquina**

Al cabo de 5-10 minutos de espera, posteriormente de haber colocado la gallinaza en la tolva de alimentación, el primer torillo sin fin de la tolva llevará la gallinaza al secador cilíndrico giratorio donde será mezclada y reducida en humedad para luego ser llevada hacia el tornillo sin fin principal que ingresa al horno pirolítico en cuanto logre la temperatura deseada y obtener el biocarbón junto con la energía térmica.

## **6.3. Mantenimiento**

### **6.3.1. Mantenimiento Preventivo**

Este tipo de mantenimiento se realiza de forma cronológica con el objetivo de precautelar el funcionamiento de la máquina y sus componentes. Se detalla en la Tabla 27.

#### **6.3.1.1. Mantenimiento preventivo eléctrico:**

- Puntos eléctricos
- Borneras



- Uniones, empalmes, aislamientos
- Revisión del sistema de control eléctrico
- Revisión del voltaje y corriente de consumo

**6.3.1.2. Mantenimiento preventivo mecánico:**

- Lubricación de rodamientos
- Reajuste de pernos
- Limpieza de la caldera
- Limpieza ventilación del motor
- Revisión de desgaste prematuro de las partes móviles
- Revisión de filtro
- Estado de la banda

**Tabla 27**

*Actividades desarrolladas en el mantenimiento preventivo*

No.	Actividad	Periodo (meses)	Descripción de la actividad

*Nota.* Tomado de *Manual de Operación y Mantenimiento Motores 1103 y 1104* (p.20), por Perkins Engines Comapy Limited, 2004.

**6.3.2. Mantenimiento Correctivo**

Si partir del mantenimiento preventivo que se hace habitualmente, existen desperfectos en el funcionamiento de la máquina como: sonidos extraños, emisión de sustancias ajenas o derrame

de fluido; se procede a emitir un informe del mantenimiento preventivo realizado y establecer una fecha para realizar el mantenimiento correctivo como se indica en la Tabla 28.

**Tabla 28**

*Informe de mantenimiento correctivo*

---

<b>Nombre del responsable:</b>	<b>Firma:</b>	<b>Fecha:</b>
<b>Ubicación:</b>	<b>Provincia:</b>	
<b>Descripción de la actividad</b>	<b>Corrección</b>	

**Comentarios y observaciones**

**Motivo por el cual se reemplaza**

---

*Nota.* Tomado de *Manual de Operación y Mantenimiento Motores 1103 y 1104* (p.22), por Perkins Engines Company Limited, 2004.