

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS



ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UN
BIODIGESTOR DE DESECHOS ORGÁNICOS PORCINOS.**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
GRADO DE BACHILERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA.**

**ELABORADO POR
DIEGO ARTURO MORALES QUESADA**

San José, Julio, 2020.

Contenido

Figuras.....	7
Ecuaciones.....	7
<i>Dedicatoria</i>	9
<i>Agradecimientos</i>	10
Resumen ejecutivo	11
Capítulo I.....	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
Planteamiento del problema	13
Objetivos	14
Objetivo General:	14
Objetivos Específicos:	14
Justificación:.....	15
Antecedentes:.....	15
Proyecciones.....	24
Limitaciones:.....	24
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	25
Biogás	26
Capacidad de producción de biogás	26
Etapas de formación del biogás	26
Factores que influyen en la producción de biogás.....	27
Proceso para la purificación de biogás	28
Utilización del biogás	29
Beneficios de uso de biogás.....	30
Principios de combustión del gas metano.....	31

Biodigestor.....	32
Modelos de biodigestores:	33
Flujo discontinuo o bache:	33
Flujo continuo:	33
Flujo semi-continuo	34
Tipos de biodigestores	34
Biodigestores de estructura sólida fija	34
De estructura sólida móvil	34
De estructura flexible.....	35
Tipos de residuos	36
Estiércol diario y estiércol disponible	36
Temperatura del biodigestor	39
Tiempo de retención	39
Generadores	43
Corriente	43
Transferencia Automática.....	44
Alternador Trifásico	44
Tensión o voltaje	47
Potencia eléctrica.....	48
Energía.....	48
Sistemas eléctricos trifásicos y monofásicos.....	49
Motor de combustión interna y Ciclo de Otto	49
Sistema de combustible	49
Sistema de enfriamiento	50
Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables	50

	4
Autoconsumo.....	50
Operación Aislada	50
Tasa Interna de Retorno y Valor Actual Neto.....	53
Cálculo de la TIR.....	53
La regla de la TIR	55
Cálculo del Valor Actual Neto.....	55
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.	56
Enfoque de la investigación.....	57
Método de la investigación.....	57
Fuentes de información	59
Variables o unidades de análisis	59
Instrumentos	61
Proceso para la recolección y análisis de datos	61
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
Descripción de la empresa.....	63
Definición del diseño.....	63
Desarrollo	64
Consumo proyectado mensual.....	71
Propuesta de casos a valorar	74
Primer Caso.	74
Segundo Caso	75
Tercer Caso.....	76
Condiciones de instalación	78
Análisis Financiero	79
Primer Caso.....	79

Segundo Caso.....	83
Tercer Caso	88
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
Conclusiones	92
Recomendaciones.....	94
CAPÍTULO VI: PROPUESTA.....	95
Descripción	96
Propuesta de implementación del diseño.....	96
REFERENCIAS	98
ANEXOS.....	102
Anexo 1. Producción de estiércol según etapa del cerdo.....	102
Anexo 2. Código Eléctrico Nacional	102
Anexo 3. Ficha Técnica Geomembrana.....	103
Anexo 4. Sistema de filtración de biogás para motores a as natural.....	104
Anexo 5. Equipo para la remoción de ácido sulfhídrico.....	105
Anexo 6. Generador KOHLER KG80	107
Anexo 7. Tabla de propiedades del gas metano según el fabricante de KOHLER	108
Anexo 8. Consumo de combustible KOHER KG80.....	109
Anexo 9. Entrevista.....	110
Anexo 10. Motor General Motors.....	111
Anexo 11. Consumo General Motors	112
Anexo 12. Generador TEDOM Biogás.....	113
Anexo 13. Consumo de biogás TEDOM	114
Anexo 14. Transferencia Automática	115
Anexo 15. Cotización generador primer caso.....	116

Anexo 16. Generador tercer caso.....	117
Anexo 17. Generador segundo caso.....	118
Anexo 18. Generador tercer caso.....	119
Anexo 19. Sistema de Transferencia Automática.....	120
Anexo 20. Vida útil de motores.....	121
Anexo 21. Tarifa de cobro según ARESEP.....	121
Tabla 1 Resultados de generación eléctrica.....	16
Tabla 2 Materia prima disponible (estiércol de cerdo).....	21
Tabla 3 Generación de electricidad con biogás en fincas de Costa Rica.....	23
Tabla 4: Equivalencias energéticas del biogás.....	30
Tabla 5 Poder calórico de los gases.....	32
Tabla 6: Cálculo de estiércol disponible.....	37
Tabla 7 Cantidad de estiércol producido según el peso.....	38
Tabla 8: Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores según circunferencias.....	41
Tabla 9 catalogo biodigestores BIOFLEX.....	42
Tabla 10 Ejemplo flujos de efectivo.....	54
Tabla 11 Cantidad de excremento diario.....	65
Tabla 13 Carga diaria del biodigestor.....	67
Tabla 14 Dimensión mínima del biodigestor.....	68
Tabla 15 Dimensiones del biodigestor.....	69
Tabla 16 Historial de consumo eléctrico.....	72
Tabla 16 Consumo de motores.....	73
Tabla 18 Valor Futuro Generador KOHLER.....	80

Tabla 19 Estimación de costos	81
Tabla 19 Inversión y ahorro acumulado.....	82
Tabla 21 Valor Futuro de General Motors	84
Tabla 21 Estimación de costos segundo caso.....	85
Tabla 22 Segundo caso.....	86
Tabla 23 Costos tercer caso.....	88
Tabla 25 Tercer caso	89

Figuras

Figura 1 Comportamiento y disminución del Ácido Sulhídrico	19
Figura 2: Esquema del proceso de la digestión anaeróbica.....	27
Figura 3: Esquema básico de todos los componentes que integran un biodigestor	33
Figura 4 Conexión de los devanados de un alternador en estrella	45
Figura 5 Conexión de devanados de un alternador en Delta	46
Figura 6. Diagrama de flujo	58
Figura 7. Ubicación satelital Finca Cerdos El Poró	63
Figura 8 Dimensiones en vista satelital	70

Ecuaciones

Ecuación 1 fórmula del volumen del líquido en el biodigestor	40
Ecuación 2 Fórmula del volumen total del biodigestor	40
Ecuación 3 Fórmula de dimensionamiento óptimo del biodigestor.....	40
Ecuación 4 Calcular potencia de alternador.....	47

Ecuación 5 Fórmula de voltaje	47
Ecuación 6 Fórmula de potencia	48
Ecuación 7 Fórmula de demanda energética	48
Ecuación 7 Fórmula de valor actual neto	54
Ecuación 8 Fórmula TIR	54
Ecuación 9 Cálculo valor presente	55
Ecuación 10 Fórmula valor presente neto	55
Ecuación 11 Cálculo de peso vivo de cerdo	64
Ecuación 12 Carga diaria de estiércol según tipo de cerdo	64

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a Dios y a la Virgen María, quienes han estado siempre presentes.

A mi padre, Guido Morales Arias, hombre emprendedor quien me enseñó a luchar con honradez, y me demostró que cuando se quiere algo, hay que luchar por ello.

A mi madre, Yensy Quesada Madrigal, quien me enseñó a ver las cosas más sencillas de la vida, y valorarlas.

A mi hermano, que ha sido mi ejemplo, y me ha brindado su apoyo para lograr mis metas.

Y a mis abuelos, quienes siempre han estado pendientes de mi etapa universitaria.

Agradecimientos

Doy gracias infinitas a Dios y a la Virgen María, por lo éxitos conseguidos y por llevarme de la mano en todo momento, y ser pilares de mi familia.

Le doy gracias infinitas a mis padres, a quienes les debo todo, y quienes siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente, buscando la manera de hacer posible este logro, de quienes he aprendido el sentido del amor, la responsabilidad, honradez y sinceridad, a mi hermano que siempre me ha instruido con sus conocimientos.

A los profesores, que me guiaron durante la formación profesional, dedicando su tiempo y esfuerzo, para transmitirnos su conocimiento y experiencia.

Le agradezco a la Familia Agüero, dueños de la Finca Cerdos el Poró, que permitieron realizar este proyecto en sus instalaciones.

A mis amigos y compañeros, quienes hicieron de este proceso un sinfín de experiencias.

Resumen Ejecutivo

La finca porcina actualmente cuenta con un sistema de tratamiento de desechos, el cual no genera ningún aporte económico a la empresa; por otra parte, la finca paga por mes altos montos a causa de la electricidad utilizada para la fabricación del alimento diario.

Por medio de un sistema de biodigestor, se pretende aprovechar los excrementos porcinos generados diariamente, y por medio de la digestión anaeróbica transformarlos en biogás, el cual contiene metano y permite ser utilizado como combustible. De esta manera, por medio de un motor de combustión acoplado a un generador eléctrico, se logra obtener la potencia necesaria para suplir el consumo de la fábrica de alimento.

El proyecto cuenta con una tasa interna de retorno (TIR) del 11%, lo cual permite ahorrar en veinte años, 2.4 veces el monto invertido, con un periodo de recuperación de ocho años, y una inversión de 65 millones de colones, se obtiene una ganancia de 156 millones de colones.

Se debe implementar un biodigestor con capacidad de producir 758.53 metros cúbicos de Biogás al día, el cual será almacenado y utilizado en un generador marca TEDOM de 50KVA de potencia, el cual produce la energía suficiente para satisfacer la fabricación diaria del alimento porcino.

El aporte ambiental es el que motiva la implementación del proyecto, ya que permite transformar material de desecho de alta contaminación, en un combustible provechoso para múltiples actividades; de modo que también, genere un aporte al país para reducir los gases de efecto invernadero.

Capítulo I

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La presente investigación corresponde a un sistema de producción de energía eléctrica, a partir de un biodigestor de desechos orgánicos porcinos, en el que se evaluarán las diferentes formas de transformar el biogás, por medio de un proceso de combustión en energía mecánica, la cual se aprovechará en un generador eléctrico.

Este proyecto se realiza para complementar las necesidades energéticas de las zonas rurales, gracias a que la producción de energía, a partir de biodigestores es una forma responsable e ingeniosa de transformar desechos de alto índice de contaminación, en una fuente no tradicional de energía; asimismo, reducir el grave impacto ecológico que este podría causar sin un tratamiento adecuado.

Por otra parte, el documento muestra el impacto económico que este sistema generaría en la empresa que lo implemente, lo cual podría reducir el costo de la producción porcina, debido al aprovechamiento de material de desecho que en un principio no tiene utilidad.

Dicho proyecto abarca la producción del biogás haciendo uso de biodigestores, donde el mayor beneficio es contribuir a la reducción de la huella de carbono, ya que es un problema real que afecta a todo el planeta, y todos deben buscar cómo reducir las emisiones.

En la zona de Puriscal, donde se encuentran las instalaciones de la finca El Poró, se producen fuertes vientos, los cuales derriban árboles; por tanto, las interrupciones del fluido eléctrico son muy frecuentes; de modo tal, limitan los procesos diurnos y nocturnos realizados en ellas, como es la fabricación del alimento. La aplicación de tecnologías limpias para la producción de electricidad permite el ahorro de costos, a través de la reducción de desechos, la menor demanda de recursos, y la creación de nuevos mercados como, la venta del abono resultante del proceso del biodigestor.

Planteamiento del Problema

¿Cuál es el diseño de generación de electricidad a partir de un biodigestor de desechos orgánicos porcinos para abastecer las instalaciones de la finca ubicada en Grifo Alto de Puriscal, San José?

Objetivos

Objetivo General:

Diseñar un sistema de producción de energía eléctrica a partir de un biodigestor de desechos orgánicos porcinos para abastecer las instalaciones de la finca El Poró.

Objetivos específicos:

1. Determinar el tamaño de los biodigestores de flujo continuo, adecuado al espacio en las instalaciones, por medio de la cantidad de desechos porcinos producidos.
2. Dimensionar el tamaño del generador eléctrico adecuado a la producción de biogás por metro cúbico de desechos.
3. Definir la tecnología del generador eléctrico apropiado para este proyecto, por medio del estudio, de lo que ofrecen los diferentes distribuidores en el país, considerando la carga a satisfacer y las condiciones físicas de la finca.
4. Verificar que el diseño cumpla las condiciones, fundamentado en las leyes que rigen este tipo de generación eléctrica en el país.
5. Establecer el análisis financiero para calcular el retorno de la inversión, por medio de la tasa interna de retorno y el valor actual neto.

Justificación:

En la finca Cerdos el Poró, que cuenta con instalaciones en el Grifo Alto, Puriscal, se dedica a la producción porcina de desarrollo y engorde, esta cuenta con una fábrica de alimento y un hogar donde residen los trabajadores y sus familias; además, el agua potable proviene de un pozo, que debe ser bombeada hasta un tanque de almacenamiento. Por tanto, este proyecto pretende por medio del biogás producido dentro de la finca, suplir el consumo eléctrico de sus instalaciones; así, disminuir el costo de la factura por servicio eléctrico.

Las interrupciones que sufre el fluido de la red eléctrica, el constante aumento del costo de la electricidad y los efectos del cambio climático en los sectores agrícolas, son factores que están presionando a implementar tecnologías que permitan a los productores pecuarios aprovechar las fuentes de energías renovables.

La finca cuenta con un área de instalaciones de más de 3000m², en donde se produce y engordan alrededor de 5000 cerdos al mes, de los cuales los desechos actualmente se tratan con lagunas de oxidación y no le generan ningún aporte económico a dicha producción.

Los cerdos con un peso de 40 a 110kg puede producir hasta 3.5kg de desechos por día, lo que genera una cantidad considerable para ser aprovechada en la generación de biogás.

El costo de la factura eléctrica mensual por consumo en las instalaciones de la finca alcanza los 700,000 colones por lo que aumenta el costo de producción y disminuye las ganancias.

Antecedentes:

INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Tabasco.

TÍTULO: Diseño de un biodigestor anaeróbico y propuesta de un sistema de generación eléctrica para el abastecimiento de un área de la Dacbiol.

AUTOR: Arubi Beatriz Díaz Valencia, Clara del Rocío Toledo Méndez

FECHA: junio de 2008.

Los resultados obtenidos de los cálculos para la estimación de la cantidad de mezcla en base seca y húmeda, se muestran en las tablas 26 y 27. Es importante aclarar que solo se consideran los datos cuyos resultados fueron positivos” (necesario para el cálculo del

volumen del biodigestor) este comportamiento tan radical se debe a los altos contenidos de Nitrógeno y Carbono presentes en cada componente, pues la insuficiencia de carbono del componente 1 es contrarrestada por el contenido del mismo en el componente y viceversa con el Nitrógeno presente en ellos.

Tabla 1 Resultados de generación eléctrica

	Mezcla	Vol. Biogás diario m³	CH₄ diario m³	KWh/m³	KW/día
1	Fruta + jacinto	2.52	1.51	15.02	360.46
2	Hojas + jacinto	6.19	3.71	36.89	885.42
3	E. de vaca + hojas	2.58	1.55	15.98	369.04
4	E. de vaca + fruta	6.66	4	39.69	952.65
5	E. de cerdo+ fruta	10.73	6.44	63.95	1534.82
6	E. de cerdo +hojas	3.07	1.84	18.30	439.13
7	E. de pollo +Frutas	33.25	19.95	198.17	4756.08
8	E. de pollo +hojas	5.81	3.49	34.63	831.06

(Díaz Valencia y Toledo Méndez, 2008).

Después de evaluar la tesis de Arubi Beatriz Díaz Valencia y Clara del Rocío Toledo Méndez, elaborado en Villahermosa, Tabasco. En junio de 2008, basado en: “Diseño de un digestor anaeróbico y propuesta de un sistema de generación eléctrica para el abastecimiento de un área de la Dacbiol”, será de útil importancia la investigación realizada a cerca de la producción de biogás a partir de estiércol de vaca y residuos de frutas, donde se diseñó un sistema de biodigestores “para

una producción de biogás de 4.33m³ por día y 2.6m³ de CH₄ por día, lo que equivale a una generación de 619.36kw/día, donde lo requerido para satisfacer el consumo del herbario son 433.36KW/d de demanda energética”. El biodigestor fue diseñado para un volumen de 3.78m³ de capacidad, un diámetro de 1.34m y una altura de 2.68m.

La importancia radicó en que el proyecto consiste en ofrecer una alternativa ambiental y técnicamente viable para ser implementada en muchos ámbitos, y la finalidad de desarrollar proyectos de generación de electricidad limpia aprovechando residuos de origen orgánico.

Por tanto, se consiguieron resultados satisfactorios en las estimaciones de mezclas y en la producción de biogás necesarias para abastecer de electricidad al herbario de la Dacbiol.

También se logró demostrar que: “Con la digestión anaeróbica de alta concentración de una mezcla de residuos orgánicos conformada por estiércol de vaca y residuos de frutas”, se produce biogás con calidad y que sea suficiente para generar energía eléctrica (Díaz Valencia y Toledo Méndez, 2008).

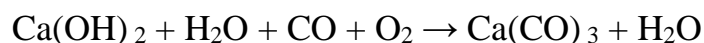
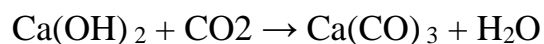
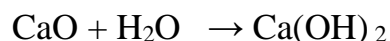
INSTITUCIÓN: Universidad EARTH Costa Rica.

TÍTULO: Implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de la EARTH.

AUTOR: J. E. Coto, J. J. Maldonado, R. Botero, J. V. Murillo.

FECHA: 19 de enero 2006.

En el biogás existe normalmente alrededor de un 30 % de CO₂ y CO y un 1 % de H₂S. Al entrar en contacto con agua, estos gases forman ácidos que son capaces de corroer las estructuras metálicas internas de motores, si se usa el biogás como combustible en motores de combustión interna. Por tal razón, se evaluaron diferentes filtros para disminuir la concentración de estos gases presentes en el biogás. Para determinar el mejor compuesto a utilizar como filtro para capturar el CO₂, el CO y el ácido sulfhídrico del biogás, se hicieron pruebas con CaO y Ca(OH)₂ con y sin agitación (Cuadro 1). La disminución en el contenido de CO, CO₂ y H₂S con el filtro líquido de CaO fue mayor, comparada con el filtro de Ca(OH)₂. Sin agitar las suspensiones, se obtuvo un aumento del 9 % en la concentración del CH₄ en el biogás. Para el caso del CaO, sólo se logró un 4 % de aumento en la concentración del CH₄ en el biogás. El aumento en la concentración de CH₄ se relacionó directamente con la retención del CO₂ y del CO por parte de las suspensiones. Esta retención ocurre al reaccionar el CO₂ con los compuestos probados, mediante las siguientes reacciones:



(Coto, Maldonado, Botero, & Murillo, 2007, págs. 132-133)

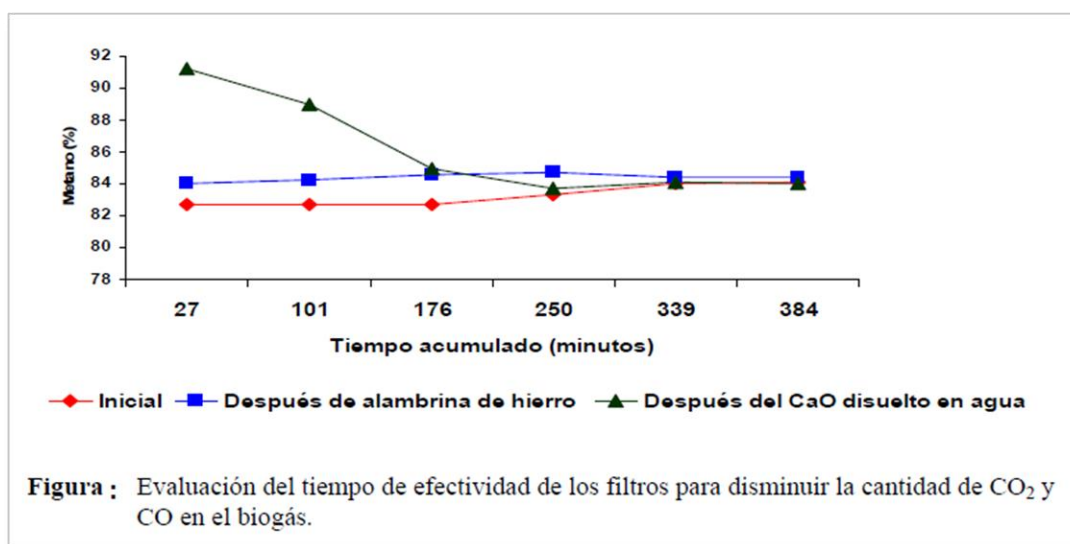
Después de evaluar el proyecto de “Implementación de un sistema para generar electricidad, a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de la EARTH”, ubicada en Los Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica.

Donde se logró diseñar e instalar un sistema integrado para aprovechar la producción de biogás proveniente de las excretas de animales para la posterior generación de energía eléctrica. Donde el

proyecto se fundamentó en realizarle distintas pruebas con el biogás, para medir la concentración de metano y para disminuir el ácido sulfhídrico (H₂S), el dióxido de carbono y el monóxido de carbono, los cuales son tóxicos y además generan una alta corrosión, que implicaría una futura disminución de vida útil en los cilindros de los motores, que se utilicen para la generación de electricidad.

También es de gran importancia los resultados que ellos obtuvieron con base en la purificación del biogás, porque muestra que es posible minimizar las impurezas que generan daños a largo plazo en motores que utilicen el biogás como combustible, y de esa manera aumentar el porcentaje de gas metano en la composición del biogás, con un aumento del 12%, según dicha investigación. Esta investigación aclara que, con la utilización de limadura de hierro como filtro, no se obtienen mejores resultados que con el Óxido de Calcio (CaO).

Figura 1 Comportamiento y disminución del Ácido Sulfhídrico



(Coto, Maldonado, Botero y Murillo, 2007).

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

TÍTULO: Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando el biogás obtenido de la conversión del estiércol de ganado porcino en la granja Macupe, distrito de Lagunas-Chiclayo, Perú.

AUTOR: Br. Joao Ildemaro Esquén Zamora.

FECHA: 2018.

La cantidad de estiércol del ganado porcino disponible es de 2.25Kg/día. En cuanto a su composición tiene un PH de 7.25, el cual está dentro de los parámetros de neutralidad adecuados (ni muy ácido, ni muy alcalino), la humedad de 16.28%, nos indica que existen excelentes condiciones para la generación de bacterias que contribuyes con el proceso de fermentación requiriéndose menos volumen de agua que en otras realidades. En relación con el nitrógeno, este es mejor aprovechado cuando es procesado para biogás, ya que su forma natural y expuesto al medio ambiente pierde un 50% de sus propiedades (NH₄).

La máxima demanda y la energía eléctrica requerida por la granja Mocupe es de 472.5W y de 2345W-h, el biodigestor de tipo tubular o taiwanés, de la marca sistema biobolsa modelo BB6, tendrá un volumen de 30m³ y se instalará en la fosa de 8m de largo, 1.5m de profundidad; 2m de ancho en superficie, al ser la capacidad para almacenar biogás en el biodigestor de 0.95m³ y el biogás producido es de 0.75m³, así mismo la energía producida es de 3.75Kw-h/día. El generador eléctrico será de una potencia instalada de 500W de la marca Power Value y un kit de conversión gasolina gas de baja presión de la marca sistema biobolsa.” (Esquén Zamora, 2018)

Tabla 2 Materia prima disponible (estiércol de cerdo)

	UNIDAD	AÑO 2018
% Recolectado en corral	%	100
Producción de estiércol total	Kg/día/total	9
Días en 1 año	Días/Año	365
Producción de estiércol en 1 año	Kg/Año	3285
Producción de estiércol en Toneladas/año	Ton/Año	3.2
Volumen del agua relación 1:2	m ³ /Año	6.4

(Esquén Zamora, 2018).

Después de evaluar la tesis de BR. Joao Ildemaro Esquén Zamora, es de gran provecho el conocer que, con cantidades pequeñas de estiércol, como lo son 2.25kg/día, se logra la obtención de energía eléctrica a través del biogás producido, a la vez, destaca las características de acidez, según las cuales se logra verificar si es apto para la producción de bacterias.

Para este caso, se utiliza un biodigestor tubular, bastante accesible en Costa Rica, lo cual es de gran provecho para continuar con su estudio y diseño.

INSTITUCIÓN: Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

TÍTULO: Programa Biogás.

AUTOR: Ing. Rodolfo Amador Bikkazakova, Grupo ICE.

FECHA: 19 de enero 2006.

El ICE brinda asesoría técnica al sector agropecuario y agroindustrial para la generación de biogás y producción de energía, a partir de los residuos orgánicos de sus actividades.

De acuerdo con este programa, es de gran importancia divulgar proyectos implementados en Costa Rica, en funcionamiento y con datos producción de electricidad. También resulta relevante el hecho de que el instituto costarricense de electricidad da apoyo y da asesoría a proyectos de generación, a partir de biomasa. Después de evaluar el proyecto en la finca Semide es de gran importancia saber que al contar con 4000 cerdos se logra producir 60KW que serán utilizados para el consumo de la fábrica de alimento, y el bombeo de fluidos, por la cantidad de gas solo se trabaja el generador durante varias horas al día (Bikkazakova, 2010).

También es de gran importancia dar a conocer que el país cuenta con potencial para la generación de electricidad, a partir de biomasa, desde proyectos pequeños como la finca Don Alex con una producción de 25KW, o grandes como la finca Porcina Americana con 250KW. Ello indica que, de contar con una cantidad considerable de biomasa, se puede aprovechar de manera responsable.

Tabla 3 Generación de electricidad con Biogás en fincas de Costa Rica

PROYECTO Grupo ICE	USO DE BIOGÁS
Sermire	60KW
Kafur	70KW
Cerdos el Cerro	70KW
Porcina América	250KW
Cristo Rey	60KW
Cerro Grande	20KW
Juan Domingo	70KW
Abigail	45KW
Don Alex	25KW

(Grupo ICE, 2014).

Proyecciones

- A la empresa Cerdos el Poró se le entregará una memoria de almacenamiento, con la documentación del proyecto, donde se incluya, los cálculos para el dimensionamiento del biodigestor y conocer la cantidad de biogás; también se incluirá los cálculos necesarios para dimensionar el generador eléctrico, así como las fichas técnicas del modelo recomendado.
- Este proyecto no contempla la construcción del biodigestor, pero se toman los datos de producción de biogás, de un sistema de biodigestor de flujo continuo; además, de la estimación del monto de instalación, por parte de un contratista.
- Se pretende dimensionar un generador eléctrico cuyo consumo de biogás pueda ser generado diariamente en los biodigestores, de manera que pueda suplir el consumo energético de la finca, el cual corresponde principalmente a la hora de fabricar del alimento de los cerdos.
- Los beneficios de elegir la tecnología adecuada del generador eléctrico, se verán reflejados en la vida útil del producto, y en generar la energía requerida.
- Conocer si existe en el país una ley que regule la generación de electricidad para autoconsumo, que pueda limitar las condiciones de diseño para la implementación del proyecto.
- Realizar un estudio económico, utilizando la propuesta que mejor se adapte a las condiciones de trabajo, y que tenga respaldo para mantenimiento; asimismo, se agrega una cotización de instalación, por parte de un contratista eléctrico.

Limitaciones:

La ubicación de la finca y el acceso hasta la misma impide realizar constantes visitas.

La distancia entre los apartos, los biodigestores y la fábrica de alimento, aumenta el costo de la inversión.

El espacio disponible para la instalación del biodigestor limita el proyecto a modelos tubulares.

El país cuenta con pocos distribuidores tanto de biodigestores, como de generadores eléctricos a biogás, por lo que limita el proyecto a utilizar lo que se vende en el mercado nacional.

La ausencia de cableado eléctrico público y la zona montañosa en la que se encuentra, limita las opciones o alternativas eléctricas para la finca.

Al no contar con biodigestores instalados, se limita el análisis de composición del biogás ya filtrado, para ser utilizado como combustible.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

Biogás

El Ministerio de Agricultura y Ganadería; Servicio Nacional de Salud Animal (2010) señala que: “El biogás es el gas producido por la descomposición de desechos orgánicos en un biodigestor mediante bacterias metanogénicas en recipientes sin oxígeno. El biogás es un combustible conformado en 50% a 75% de metano, de 25% a 45% de dióxido de carbono y pequeñas trazas de nitrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno y otros” (pág. 28).

El metano es el componente principal del biogás, y los porcentajes contenidos en el gas dependen básicamente de la composición de los desechos orgánicos utilizados, permitiendo al metano (CH_4) ser el más importante porque hace que el gas tenga propiedades de combustible.

Capacidad de producción de biogás

Según el Manual para el productor brindado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en conjunto con el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) (2010), en promedio 1 kilogramo de estiércol de cerdo produce 0.06 metros cúbicos de gas al día (Ministerio de Agricultura y Ganadería; Servicio Nacional de Salud Animal, 2010).

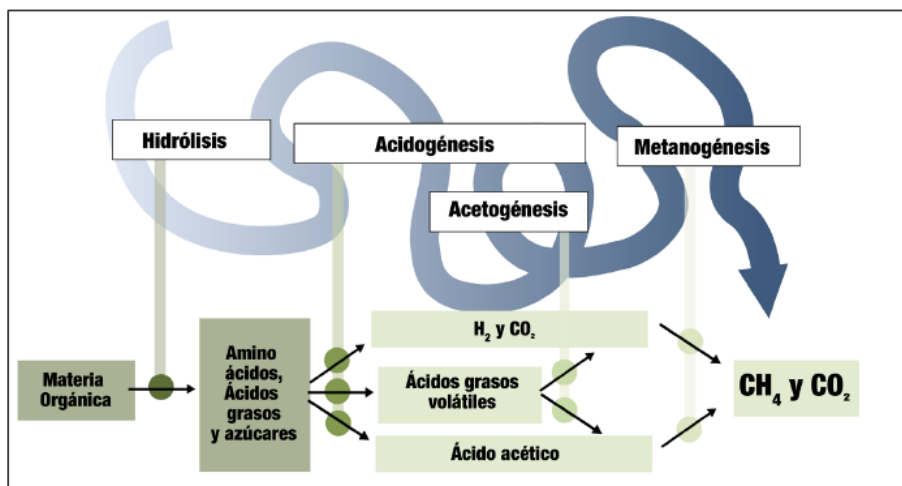
Etapas de formación del biogás

El proceso de fermentación es el encargado de producir el biogás, se compone de cuatro etapas donde al final del proceso se obtiene el Metano (CH_4) y el Dióxido de carbono (CO_2).

1. **Hidrólisis:** los desechos utilizados como materia prima se componen de carbohidratos(celulosa), proteínas, lípidos (grasas), son hidrolizados por medio de un grupo de bacterias hidrolíticas, transformándolos en compuestos solubles como azúcares, aminoácidos y ácidos grasos por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias.
2. **Acidó génesis:** esta etapa al igual que la anterior es realizada por las bacterias hidrolíticas-ácidogénicas y bacterias acetónicas que fermentan los azucars, ácidos grasos y aminoácidos solubles, en ácidos grasos volátiles (ácido acético, propiónico y butírico) alcoholes, hidrógeno y CO_2 . Esta etapa se conoce como fermentativa.
3. **Acetogénesis:** Ocurre cuando las bacterias acetogénicas desarrolladas oxidan el ácido propiónico, butírico, alcoholes, hasta producir ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono que son substratos metano génicos.

4. Metanogénica: esta es la última etapa de descomposición, donde se produce metano(CH_4) a partir del dióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno, por la acción de las bacterias metanogénicas, también se acumulan compuestos ligeros como resultado de la fermentación (Herrero, 2019).

Figura 2: Esquema del proceso de la digestión anaeróbica



Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería; Servicio Nacional de Salud Animal, 2010).

Factores que influyen en la producción de biogás.

El tipo de sustrato varía de acuerdo con el tipo de desechos vegetales, o de que animal provenga el estiércol que se fermenta, ya que cada uno presenta cantidades distintas de nutrientes.

La temperatura es fundamental para la creación de bacterias, y los cambios bruscos en ella puede atrasar la formación del biogás, por lo cual es importante que el biodigestor no esté a la intemperie, si las condiciones climáticas no le favorecen

Es importante conocer la carga volumétrica que ingresa al biodigestor, ya que si ingresara más carga de la establecida se pueden llegar a saturar la digestión de las bacterias; al igual que si se dejan muchos días para ingresarle una carga de materia para la descomposición.

El tiempo de retención varía según el sustrato, pero es importante al iniciar el proceso, controlar la cantidad de días establecidos.

Proceso para la purificación de biogás

Para Valerio (2010):

Existe mucha tecnología disponible para el enriquecimiento del contenido de metano en el biogás, principalmente por medio de la remoción del dióxido de carbono y ácido sulfhídrico. En grandes rasgos, estos procesos de purificación se pueden clasificar como físicos, químicos y biológicos. Aunque la mayoría de estos mecanismos básicos que logran la separación del dióxido de carbono del biogás, pueden ser usados para la eliminación del ácido sulfhídrico; otros procesos logran la remoción selectiva de diferentes constituyentes del biogás. Sin embargo, estos procesos fueron desarrollados inicialmente para su uso en la purificación de otros compuestos combustibles como el gas natural o el petróleo. Por esta razón, no todos ellos pueden ser aplicados de forma exitosa para el tratamiento específico del biogás. La aplicación o la elección de los métodos de purificación va a depender de la escala de producción del biogás, su composición, el uso que se le va a dar al biogás y el grado de purificación necesaria (Valerio García, 2010).

Existen distintos métodos de separación física, y es el de adsorción uno de ellos, consiste en que los compuestos presentes en el biogás, sean transferidos en la superficie de un material sólido, estos materiales adsorbentes se caracterizan por ser porosos, ello permite una un mayor contacto del gas con el sólido. El óxido de aluminio, carbón activado o silicatos, son compuestos utilizados como separadores o removedores de dióxido de carbono.

Este método, permite seleccionar el adsorbente de manera que se pueda eliminar distintas sustancias, ya que está construido por varios tanques por donde se hace pasar el flujo del gas, esto permite que se purifique progresivamente a lo largo de los compartimentos, donde se logra remover dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, vapor de agua y otras impurezas de una manera selectiva. (Allam, Bredsen y Drioti, 2003, págs. 53-118).

Los métodos químicos de filtración y purificación del biogás trabajan en recipientes o columnas similares a los de separación física, la cual consiste en la forma reversible de enlaces químicos entre el soluto y la solución química que se establezca; de manera que, el biogás deba pasar contra corriente a la solución química, para que entrando en contacto con esta. Dicha interacción tarda tan solo 1.3 o 2 segundos, para que se genere una reacción necesaria para que el contaminante se asocie a la solución, este método se ha señalado como una técnica efectiva (Allen, Myers y Brealey, 2010).

Los métodos de biológicos de purificación son lo de mayor preferencia, por ser más sencillos y amigables con el medio ambiente, este proceso se utiliza principalmente para remover el sulfuro de hidrogeno por medio de microorganismos, que tienen la capacidad para oxidar compuestos

residuos de azufre, y transformándolo en un compuesto de fácil eliminación (Pérez y Villa, 2005, págs. 17-20)

Un método de biodesulfuración, es el de aireación, es el más sencillo, ya que de manera biológica se logra remover el ácido sulfhídrico, y consiste en adicionar oxígeno o aire directamente en el biodigestor o en el tanque de almacenamiento del biogás, permitiendo el crecimiento de bacterias sulforeductoras presentes en la materia orgánica con la que se carga el biodigestor, de forma que se logra la degradación del ácido sulfhídrico por medio de esas bacterias. (Fernandez y Roodríguez, s.f).

Utilización del biogás

Su poder calórico es de aproximadamente 5400,00 Kilocalorías por metro cúbico lo que hace de esta tecnología una alternativa viable para el uso en hogares y para la descontaminación de aguas residuales, principalmente en el sector pecuario.

Su obtención permite hacer uso en los principios de la combustión, como en cocinas, de una manera práctica se modifica la entrada a los quemadores; incluso, la instalación de una caldera se produce vapor, generación de electricidad, entre otras.

El biogás puede ser utilizado para reemplazar el combustible diésel o la gasolina en motores de combustión interna debido a su poder calórico, para motores de gasolina puede ser reemplazado completamente, en el caso de motores diésel puede ser reemplazado hasta un 80%, pero se puede hacer una mezcla de biogás y el combustible normal, modificando el sistema de inyección de combustible o el carburador.

El uso de biogás directamente en aplicaciones mecánicas, como lo son picadoras de pasto o bombas de agua, al ser utilizado en motores de combustión interna, ya sea gasolina o diésel, gracias a que su octanaje ronda los 100 a 110, aunque muestra una desventaja por su baja velocidad de encendido.

En la tabla 4 se muestran algunas equivalencias energéticas del biogás con respecto a otros combustibles o energía recuperable de forma térmica o eléctrica (Herrero, 2019, pág. 43).

Tabla 4: Equivalencias energéticas del biogás.

1000 litros (1m³) de Biogás equivalen a:	
5647 kcal	Energía (65% CH ₄)
6.56 KWh	Energía (65% CH ₄)
1.6Kg	Madera
1.2Kg	Bosta seca
1.1 litros	Alcohol
0.75 litros	Gasolina
0.65 litros	Gas-oil
0.76 m ³	Gas natural
0.7 kg	Carbón
3.3KWh	Calor útil (65% CH ₄ ; rendimiento 50%)
2KWh	Electricidad útil (65% CH ₄ ; rendimiento 30%)

Fuente: (Herrero, 2019).

Beneficios de uso de biogás

Según el Convenio de la Cooperación para el Control de la Contaminación Ambiental de la Producción Porcina en Costa Rica, (2010):“El biogás obtenido por fermentación de la biomasa animal o vegetal produce un equilibrio perfecto, en un solo proceso que no desprecia ningún producto de la digestión. Es así, como se podría resolver dos de los problemas de mayor incidencia en los últimos tiempos: la crisis de la energía y el grave problema ecológico.”

De esta forma, Herrero (2019), aduce que: “Los residuos orgánicos tienen el potencial de producir un gas combustible como es el biogás. Además, la captura de este metano y su combustión

(transformándolo en CO₂) reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se produciría en la descomposición de los estiércoles sin tratamiento” (pág. 13).

Principios de combustión del gas metano

La combustión es una reacción química en la cual ocurre una rápida oxigenación/oxidación del biogás. La combustión completa puede ser representada por la siguiente ecuación química: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. El requerimiento de aire mínimo sería del 21%, pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión. La relación aire-gas puede ser optimizada aumentando la presión del aire, al incrementar la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura dos a tres veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior). La presión adecuada para un óptimo uso del biogás oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial precaución en este aspecto, para lo cual se debe calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro (adicionándole contrapesos en el caso de gasómetros flotantes).

En la siguiente tabla se muestra la energía equivalente (Valor Energético) Biogás versus otras fuentes. Composición promedio del Biogás: CH₄ (65%) – CO₂ (35%) (Moreno, 2011).

Tabla 5 Poder calórico de los gases

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

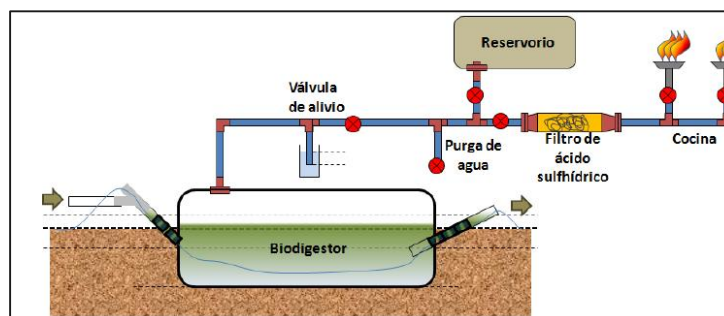
Fuente: (Varnero Moreno, 2011).

Biodigestor

Los biodigestores son sistemas en los que se produce y almacena el biogás y el bioabono, producto de los desechos orgánicos (estiércoles y desechos vegetales). Estos sistemas funcionan en ausencia de oxígeno, aislados herméticamente, permitiendo la presencia de consorcios bacterianos adecuados que desarrollen de forma natural la digestión anaeróbica y el biogás producido quede almacenado en el mismo sistema.

De acuerdo con Herrero (2019): “Un biodigestor en su funcionamiento es similar a un sistema digestivo animal: entra materia orgánica, que es digerida por bacterias, produciendo gases (biogás) y produciendo un subproducto líquido que tiene un alto valor como fertilizante” (pág. 13).

Figura 3: Esquema básico de todos los componentes que integran un biodigestor



(Herrero, 2019).

Por último, queda un lodo estabilizado e inactivo (sin olor) que pierde su capacidad de formar una suspensión con el agua, conteniendo la mayor parte de las sustancias fertilizantes de interés (nitrógeno, fósforo, potasio). (Tecnología y usos de biodigestores para degradar y generar biogás a partir de desechos sólidos y líquidos Castillo Araya José, Investigador Asociado, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 29).

Modelos de biodigestores:

Existen diversos modelos de biodigestores, los cuales son clasificados de acuerdo con la forma de alimentarlo, ya sea de flujo discontinuo (bache), de flujo continuo o semi-continuo.

Flujo discontinuo o bache:

Corresponden a aquellos diseños cuyo llenado con la mezcla de agua y materia orgánica, es realizado en un solo momento, se cierra herméticamente y luego de un tiempo de retención hidráulica es vaciado, después de ese momento vuelve a ser llenados. Se llama discontinuo porque la entrada de la mezcla y la salida del lodo, en el sistema se efectúa una sola vez sin tener una continuidad en el flujo de entrada y salida.

Flujo continuo:

El Ministerio de Agricultura y Ganadería; el Servicio Nacional de Salud Animal (2010) señalan que: “Pertenece a aquellos que como su nombre lo indica permiten la entrada y salida constante de fluido, donde se agrega una carga diaria de mezcla hasta alcanzar los días del tiempo

de retención hidráulica, y a partir de ese momento, se genera una continuidad de la carga diaria que ingresa y el lodo que se extrae” (pág. 30).

Lo anterior debido a que estos no cuentan con un agitador en su interior es necesario mezclar el estiércol con agua en una relación 1:4 para excremento de cerdos; en consecuencia, el tamaño volumétrico del biodigestor será mayor (en comparación al de flujo discontinuo).

Flujo semi-continuo

Se caracterizan porque la carga disponible se agrega cada doce horas, una vez al día, o cada 48 horas, de acuerdo con la producción de desechos, aunque mantienen los mismos criterios de tiempo de retención hidráulica, su diseño varía de acuerdo con las necesidades, ya sea para aprovechar el biogás o simplemente para medidas sanitarias.

Tipos de biodigestores

Existe una gran variedad de modelos de construcción de biodigestores, según los materiales, limitantes del lugar, y facilidades de transporte, figuras y demás; los cuales se agrupan en tres grandes grupos, ya sean de estructura sólida fija, estructura sólida móvil y estructura flexible.

Al ser los de estructura flexible, los más recomendados para lugares de difícil acceso, no solo por ser de bajo costo, si no también, por su fácil instalación.

Biodigestores de estructura sólida fija

Son los biodigestores que su estructura en general está compuesta de materiales rígidos, como bloques de cemento, ladrillos, incluso estañones. Se recomienda su construcción bajo el nivel de la tierra, donde existan suelos firmes y estables, ya que el gas contenido puede alcanzar presiones que comprometan la estructura, se genera alguna grieta o fisura, ello permite el escape de líquidos o gases. Por tanto, se recomienda utilizar personal capacitado para su diseño y construcción.

De estructura sólida móvil

Estos biodigestores están compuestos por dos partes, la primera al igual que en los de estructura fija, está bajo el nivel de la tierra, en un suelo firme, y construida con concreto, o ladrillos; la

segunda etapa es la que le da el nombre de móvil, ya que puede estar construida de fibra de vidrio, plástica, metálica o de algún material que logre mantener una presión constante en el gas generado.

De estructura flexible

Los biodigestores de estructura flexible, al contrario de los anteriores, son hechos de alguna geo membrana que logre impedir el escape de la mezcla o el gas, las cuales pueden ser de plástico, nylon, caucho, PVC o polietileno. Al ser flexibles también necesitan una fosa en el suelo a la profundidad de, al menos, el nivel del volumen líquido total, que puede tener forma cuadrada, rectangular o en V, y con un desnivel para que el peso de este no dañe las superficies que lo contienen, pero esta no requiere obligatoriamente una estructura sólida para su retención.

Como se explica mejor en el Catálogo del Producto del Convenio de la Cooperación para el Control de la Contaminación Ambiental de la Producción Porcina en Costa Rica (2010): “En términos generales, la estructura de la cámara de digestión consiste en un cilindro hecho en alguna membrana impermeable a los gases y líquidos (nylon, caucho, PVC, polietileno) que puede ser depositado en forma vertical u horizontal en una fosa excavada en el suelo. Este modelo trabaja a presiones bajas, no funciona con residuos orgánicos fibrosos y la duración del cilindro es de cinco a diez años” (s.p).

En el presente trabajo nos centraremos en los biodigestores de estructura flexible, al ser los más usados a nivel nacional, además del bajo costo de instalación, pueden tener una vida útil de hasta quince años,

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería; Servicio Nacional de Salud Animal (2010), en Costa Rica los modelos de biodigestores más utilizados son los siguientes:

1. Modelo de media bolsa con canal de agua.
2. Modelo Mortadela.
3. Modelo mixto fermentador cemento y estañones plásticos.
4. Tanques de cemento, ferrocemento, ladrillo, entre otros.
5. Modelo fijo.
6. Modelos metálicos.
7. Planta con cúpula fija.
8. Otros (70 modelos más, cada país tiene su propio modelo) (pág. 31).

Tipos de residuos

Existen diversos desechos que pueden ser tratados dentro de un biodigestor y de esto varía la composición del biogás, en este proyecto es de interés los desechos de origen porcino, que sean provenientes de granjas estabuladas.

Estiércol diario y estiércol disponible

Para conocer la cantidad de estiércol que se produce en la granja es necesario, efectuar una medición diaria para sacar los promedios de producción semanales o bien se puede estimar de acuerdo con valores promedio brindados por autores, como se observar en la tabla 7 que muestra valores promedio de cada tipo de cerdo y su peso promedio.

Para Herrero (2019):

El estiércol disponible es aquel que podemos cargar al biodigestor. De este modo, el estiércol disponible siempre será menor o igual al estiércol diario. De todo el estiércol diario que producen los animales, ¿cuánto está disponible para cargar el biodigestor? En el caso de los cerdos estabulados en corral con piso de cemento serán iguales, ya que todo el estiércol producido se puede cargar fácilmente en el biodigestor. En el caso de las vacas es diferente, pues en la gran mayoría de casos están semi estabuladas, y por tanto hay una parte de estiércol que se queda en los potreros y pastizales que difícilmente puede ser aprovechada para cargar el biodigestor (pág. 33).

Los desechos orgánicos porcinos que ingresan diariamente al biodigestor o también llamados sustrato, este compuesto de materia orgánica se encuentra dividida en tres principales partes: sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y PH, si se requiere conocer los parámetros de cada uno es necesario realizar un análisis de laboratorio, o consultar resultados de referencias confiables.

Los sólidos totales conforman la parte “seca” del sustrato sin contar la humedad que esta pueda presentar, y estos sólidos totales se forman por la suma de sólidos orgánicos y sólidos inertes, estos últimos para el caso de los cerdos que se encuentran en corrales se pueden ver reflejados en piedras arena o residuos externos que se encuentren los pisos.

Los sólidos orgánicos corresponden del 75% al 85% de los sólidos totales y se le llama sólidos volátiles (SV), ya que son los que serán digeridos por el consorcio bacteriano, en el proceso de digestión anaeróbica

Tabla 6: Cálculo de estiércol disponible

Caso	Estiércol disponible
Estabulados	= Estiércol diario
Estabulados solo en la noche	= 0.25 * estiércol diario
Estabulados un N° de horas	= $\left(\frac{n^{\circ} \text{ horas estabulado}}{24 \text{ horas}}\right) * \text{estiercol diario}$

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2011), para el documento creado por Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), se muestra un estudio de producción de estiércol porcino, donde se incluyen los distintos pesos y estados del cerdo dentro de una granja estabulada:

Tabla 7 Cantidad de estiércol producido según el peso

Estado		Peso vivo (Kg)	Producción estiércol animal/día (%)
Lechones	Lechones lactantes	2	1.04
	Lechones en preinicio-cuna	9	1.04
	lechones inicio	22	1.90
cerdos	Cerdos en desarrollo	50	3.13
	Cerdos engorde	100	6.26
Cerdas	Cerdas vacías	180	4.00
	Cerdas gestantes	180	4.00
	Cerdas lactantes	180	4.00
	Reemplazo	180	4.00
Verracos	Verracos	200	4.44

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería/ infoagro, 2011).

Temperatura del biodigestor

Madigan (et al, 2004), citado por Rossy Guillén Watson (2010) aduce que: “Tanto la temperatura interna como la externa de biodigestor, son de los factores que afectan al crecimiento y la supervivencia de los microorganismos, ya que a temperaturas muy altas o muy bajas no crecerán.” Para que el proceso de digestión inicie, es necesaria una temperatura mínima de 4 a 5°C.

Las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren dentro del biodigestor, reducen su tiempo de retención si se aumenta la temperatura. Una temperatura muy alta puede generar una disminución del ritmo metabólico, ya que las enzimas podrían degradarse. Cada especie bacteriana tiene un rango de temperatura óptimo para su crecimiento y ritmo metabólico (Dominguez, 2006).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería/ infoagro (2011) señala que: “La temperatura está relacionada directamente con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de Retención Hidráulica, TRH).”

Tiempo de retención

El proceso de transformación de los excrementos no es instantáneo, como se estudió anteriormente, entre mayor sea el tiempo de estas excretas en el biodigestor, se obtendrá una mayor producción de biogás por unidad de volumen de excremento. Por ello, el tiempo de retención hace referencia a la cantidad de horas o días que tardan las bacterias en realizar el proceso digestivo hasta obtener el biogás, es dependiente de la temperatura, la cantidad de carga que se adicione, y cada cuántos días ingresan las cargas al biodigestor.

Volumen de un biodigestor, carga diaria y tiempo de retención

El volumen del biodigestor se puede dividir entre la parte que ocupa la fase líquida (el estiércol y agua junto con el consorcio bacteriano) y la parte que ocupa la fase gaseosa (donde se acumula el biogás generado). El volumen líquido del biodigestor es el que está relacionado con la carga diaria y el tiempo de retención. Si imaginamos un biodigestor inicialmente vacío y comenzamos a cargarlo de forma diaria con una misma cantidad (carga diaria), tardará tantos días como tiempo de retención se hayan considerado, en llenarse. Así, el día “tiempo de retención +1 día”, al cargar el biodigestor, se desbordará expulsando la carga del primer día, ya digerida. Por lo tanto, el

volumen líquido de un biodigestor será el tiempo de retención multiplicado por carga diaria. Ello estaría indicando cuántos días tardaríamos en llenar el biodigestor con esa cantidad de carga diaria (Herrero, 2019).

Volumen de líquido que se agrega como carga diaria debe estar compuesta con un 22% de cerdaza sólida y 78% de agua, para crear un porcentaje de mezcla ideal (Ministerio de Agricultura y ganadería/ infoagro, 2011).

La ecuación del volumen líquido respecto al tiempo de retención y la carga diaria es la siguiente:

Ecuación 1 fórmula del volumen del líquido en el biodigestor

$$VL = TR \times CD$$

Fuente: (Herrero, 2019).

Donde VL es el volumen del líquido (m³ o L), TR es el tiempo de retención en días, y CD es la carga diaria que ingresa medida en m³/día o L/día.

Ecuación 2 Fórmula del volumen total del biodigestor

$$V_T = V_L + V_B$$

Fuente: (Herrero, 2019).

Donde V_T es el volumen total (m³ o L), V_L es el volumen del líquido (m³ o L) y V_B es el volumen ocupado por el Biogás (m³ o L).

Ecuación 3 Fórmula de dimensionamiento óptimo del biodigestor

$$\frac{L}{D} \text{ óptima} = 0.75$$

Fuente: (Herrero, 2019).

Donde L es la longitud en metros del biodigestor y D el diámetro equivalente de la circunferencia del plástico.

En la Tabla 8 se muestra las longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores tubulares según circunferencias típicas de plásticos, y en la tabla 9 se presenta medidas de geo membrana Bioflex que se pueden encontrar en el mercado costarricense.

Tabla 8: Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores según circunferencias.

Circunferencia (m)	Ancho de rollo (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Longitud biodigestor tubular		
				Mínima (m)	Máxima (m)	Optima (m)
2	1	0.32	0.64	3.2	6.4	4.8
3	1.5	0.48	0.95	4.8	9.5	7.2
4	2	0.64	1.27	6.4	12.7	9.5
5	2.5	0.80	1.59	8.0	15.9	11.9
6	3	0.95	1.91	9.5	19.1	14.3
7	3.5	1.11	2.23	11.1	22.3	16.7
8	4	1.27	2.55	12.7	25.5	19.1
9	4.5	1.43	2.86	14.3	28.6	21.5
10	5	1.59	3.18	15.9	31.8	23.9
14	7	2.23	4.46	22.3	44.6	33.4

Fuente: (Herrero, 2019).

Tabla 9 catalogo biodigestores BIOFLEX.

MODELO DE BIODIGESTOR	VOLUMEN DE BIODIGESTOR (m ³)	RECOMENDADO PARA		TAMAZO DE ZANJA		
		VACAS	CERDOS	PROFUNDIDAD (m)	LARGO (m)	ANCHO (m)
BF6	6	3.9	18.2	1.7	2.3	2.3
BF8	8	5.2	24.2	2.0	2.5	2.5
BF10	10	6.5	30.3	2.0	2.8	2.8
BF12	12	7.8	36.4	2.0	3.0	3.0
BF15	15	9.8	45.5	2.0	3.2	3.2
BF20	20	13.1	60.6	2.0	3.7	3.7
BF25	25	16.3	75.8	2.0	4.0	4.0
BF30	30	19.6	90.9	2.0	4.4	4.0
BF35	35	22.9	106.1	2.5	4.4	4.4
BF40	40	26.1	121.2	2.5	4.6	4.6
BF45	45	29.4	136.4	2.5	4.9	4.9
BF50	50	32.7	151.5	2.5	5.1	5.1
BF60	60	39.2	181.8	2.5	5.5	5.5
BF70	70	45.8	212.1	2.5	5.9	5.9
BF80	80	52.3	242.4	2.5	6.3	6.3
BF100	100	65.4	303.0	2.5	6.9	6.9
BF120	120	78.4	363.6	2.5	7.5	7.5

Fuente: (Cordillera Products , 2019).

Generadores

De acuerdo con la NFPA-70, en el Artículo 700.4 (A), sobre la capacidad del generador, se indica que un sistema “debe tener la capacidad y el valor nominal adecuado para las cargas que funcionarán simultáneamente; además, deben ser adecuados para la máxima corriente de falla disponible en sus terminales.”

La National Fire Protection Association (2014), en el artículo 700.12 (B) (2) aduce que: “Los sistemas de generación que pertenecen al grupo de motores de combustión interna como fuente primaria, indica que se debe instalar un sistema de almacenamiento de combustible en el sitio, suficiente para el funcionamiento de las instalaciones a plena carga, como mínimo por dos horas” (pág. 641).

Aunado a lo anterior, la misma National Fire Protection Association (2014), indica:

Artículo 702.5 Equipo de transferencia. El equipo de transferencia debe ser adecuado para el uso proyectado y estar diseñado e instalado de manera que se evite la conexión involuntaria de las fuentes de alimentación normal y alternativa durante cualquier operación del equipo de transferencia. El equipo de transferencia y los sistemas de generación de energía eléctrica instalados para permitir su funcionamiento en paralelo con alimentación normal, debe cumplir con los requisitos del artículo 705.

Debe permitirse que el equipo de transferencia, ubicado en el lado de la carga de la protección del circuito ramal, tenga protección complementaria contra sobre corriente con valor nominal de interrupción suficiente para corriente de falla disponible que el generador puede entregar. Los dispositivos complementarios de protección contra sobreprotección deben formar parte de un equipo de transferencia listado.

Se exigirá un sistema de transferencia para todos los sistemas de reserva sometidos a las disposiciones de este artículo y para los cuales la alimentación del servicio eléctrico público es la fuente normal, o la de reserva (pág. 647).

Corriente

La corriente es la velocidad a la que un flujo de electrones pasa por un punto de un circuito eléctrico completo. Del modo más básico, **corriente = flujo** (Chapman, 2012).

Transferencia Automática

Un sistema de transferencia automática o ATS, por el significado de sus siglas en inglés, es el mecanismo por el cual se hace la transferencia entre el flujo de corriente del proveedor eléctrico y el proveniente de una planta generadora.

Este sistema puede ser automático, manual o ambas, de manera que el ATS permite monitorear la red y analizar su estabilidad, si el sistema logra detectar una falla en la red principal la transferencia se encarga de encender el generador y se programa el tiempo que necesite el motor para calentar. De esta manera, la ATS se encarga de cambiar de la red principal a la red de emergencia, una vez el generador se haya estabilizado.

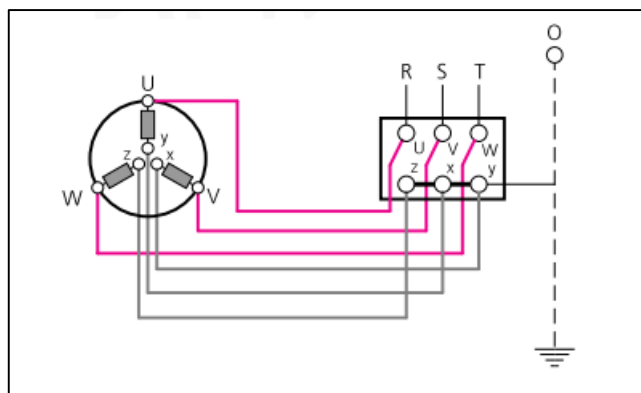
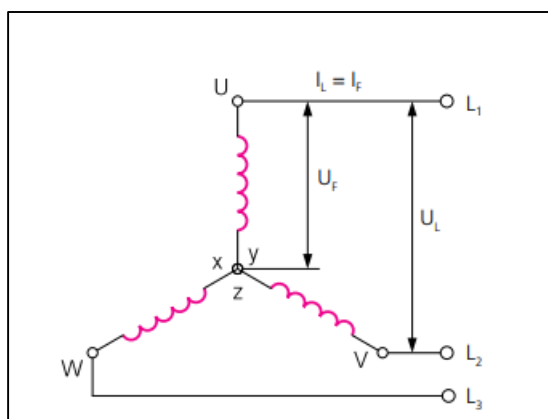
En el momento que la ATS esté con el generador encendido, sigue monitoreando la red principal, para cuando esta vuelva a la normalidad la transferencia apague el generador y restablezca la conexión con la red principal.

Alternador Trifásico

Los devanados en un generador trifásico se configuran de dos formas distintas, en delta y en estrella.

La conexión en estrella se realiza uniendo los terminales X, Y y Z de cada una de las tres fases en un nodo en común, donde estará conectado el Neutro, es los extremos de cada una de las fases, se encuentran los terminales U, V y W, donde se conectarán las líneas de distribución R, S y T, que corresponden a L_1 , L_2 L_3 . donde el cuarto hilo conductor corresponde al Neutro (Chapman, 2012).

Figura 4 Conexión de los devanados de un alternador en estrella

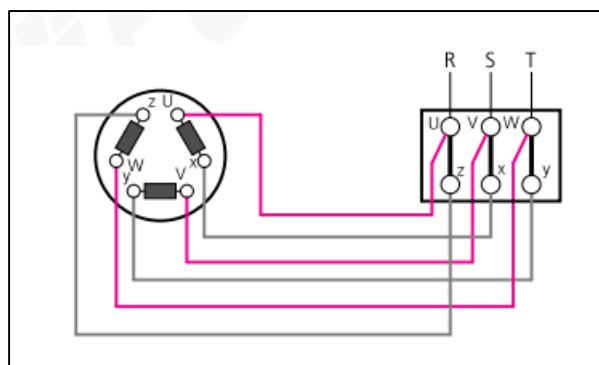
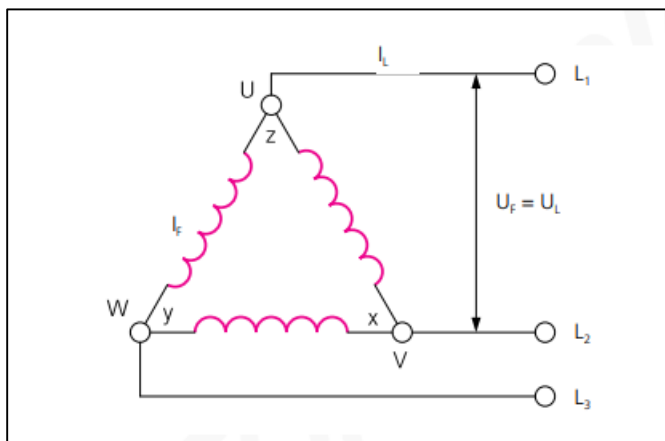


(Fondo Formación, 2001).

La conexión en delta se configura uniendo el inicio de cada fase con el terminal de la siguiente, de manera que sean W con Y, U con Z y X con V, y en cada una de esos tres puntos de unión se conecta cada línea de distribución L_1 , L_2 y L_3 (Chapman, 2012).

Como se puede ver en la imagen 2.

Figura 5 Conexión de devanados de un alternador en Delta



(Fondo Formación, 2001).

Ecuación 4 Calcular Potencia de alternador

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$$

Fuente: (Chapman, 2012).

Donde:

P = Potencia activa del generador (W).

U = Tensión en bornes del generador (V).

I = Intensidad de Corriente alterna (A).

Φ = Angulo de desfase entre tensión e intensidad.

Tensión o voltaje

La tensión es la presión de una fuente de energía de un circuito eléctrico que impulsa los electrones cargados (corriente) a lo largo de un lazo conductor, también se define como trabajo por unidad de carga ejercida por el campo eléctrico, sobre una partícula cargada, para moverla de un lugar a otro. (Floyd, 2007)

Ecuación 5 Fórmula de Voltaje

$$V = \frac{W}{Q}$$

Dónde: V = Voltaje en voltios (V).

W = Energía en joules (J).

Q = Energía en coulombs (C).

Potencia eléctrica

La potencia compleja suministrada a una carga se puede calcular como se muestra en la ecuación 4, donde la potencia (P) es el resultado de multiplicar el voltaje (V) por la corriente (I) (Chapman, 2012, pág. 39).

Ecuación 6 Fórmula de potencia

$$P = V * I$$

Fuente: (Chapman, 2012).

Energía

De acuerdo con el Consejo Nacional De Fuerza y Luz (CNFL):

La definición clásica indica que la energía es la capacidad de realizar un trabajo específico, por lo tanto, la energía eléctrica está relacionada directamente con la producción y con las horas de operación de las máquinas de una empresa o los equipos eléctricos en una residencia. la potencia es la rapidez con la que se gasta o consume la energía”. Lo que genera la siguiente expresión, donde la energía es el resultado de multiplicar la Potencia (W ó KW) por el Tiempo(h), y su unidad es KWh (CNFL, pág. 5).

Demanda eléctrica, se determina, a partir del consumo de un equipo o máquina y equivale al valor promedio de potencia eléctrica en un intervalo de 15 minutos. Para calcularla se utiliza la siguiente fórmula (CNFL, pág. 7)

Ecuación 7 Fórmula de Demanda energética

$$Demanda = \frac{Energía (KWh)}{Intervalo (h)}$$

Fuente: (Chapman, 2012).

Sistemas eléctricos trifásicos y monofásicos

De acuerdo con el Grupo APCE (2018);

Trifásico significa un sistema que da tres tensiones desfasadas 120 grados. Normalmente en baja tensión se suministra a 4 hilos con secundario del transformador en estrella en donde existen dos tensiones, que son las tensiones fase-neutro y fase-fase.

El sistema bifásico consiste en una línea de dos fases y neutro en la que se pueden obtener dos tensiones desfasadas entre sí.

Estas dos fases y neutro pueden derivar de una red trifásica o pueden venir de un transformador monofásico con toma media, en donde la relación de voltajes entre fases (extremos) y fase y neutro (un extremo y central) es de 2, con tensiones típicas de 110/220, 115/230, 120/240 V o 220/440 V (Grupo APCE, 2018).

Motor de combustión interna y Ciclo de Otto

El ciclo de Otto es el ciclo ideal para las máquinas reciprocantes de encendido por chispa (ECH). En la mayoría de las máquinas de encendido por chispa el émbolo ejecuta cuatro tiempos completos (dos ciclos mecánicos) dentro del cilindro, y el cigüeñal completa dos revoluciones por cada ciclo termodinámico. Estas máquinas son llamadas máquinas de combustión interna de cuatro tiempos (Cengel y otros, 2012).

Los mismos Cengel y otros (2012) aducen que:

Compresión, el pistón se mueve hacia arriba y comprime la mezcla de aire y combustible. Un poco antes de que el pistón alcance su posición más alta (PMS), la bujía produce una chispa y la mezcla se enciende, con lo cual aumenta presión y la temperatura del sistema.

Los gases de alta presión impulsan al pistón hacia abajo, el cual a su vez obliga a rotar al cigüeñal, lo que produce una salida de trabajo útil durante la carrera de expansión o carrera de potencia. Al final de esta carrera, el pistón se encuentra en su posición más baja (la terminación del primer ciclo mecánico) y el cilindro se llena con los productos de la combustión. Después el pistón se mueve hacia arriba una vez más y evacua los gases de escape por la válvula de escape (carrera de escape), para descender por segunda vez extrayendo una mezcla fresca de aire y combustible a través de la válvula de admisión (carrera de admisión) (pág. 495).

Sistema de combustible

Para el funcionamiento de los motores es necesario que el combustible ingrese a una presión establecida por el fabricante, los casos por recomendar cuentan con sistema de inyección directa,

y no requieren de compresores de gas para su funcionamiento, ya que trabajan a baja presión. (Ver anexo 15).

Sistema de enfriamiento

Los motores en su interior manejan temperaturas muy altas debido a la transferencia de calor desde lo interno de los cilindros; por ende, cuentan con un sistema de enfriamiento conformado por un radiador y un ventilador, el cual se encarga de mantener regulada la temperatura del motor.

Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables

Según el Decreto N°39220-MINAE en el artículo 1°: “El objetivo es regular la actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables utilizando el modelo de contractual de mediación neta sencilla”. Además, en el artículo 2° indica: “Se declara de interés público la actividad de generación distribuida para autoconsumo como un instrumento para promover la generación de electricidad haciendo uso de fuentes de energía renovables”. Todo ello con el fin de aportar a que el país alcance la meta propuesta de ser carbono neutral.

Autoconsumo

Con base en lo que señala el Ministerio de Ambiente y Energía (2015): “El autoconsumo es el aprovechamiento de la energía generada por parte del productor-consumidor para abastecer de forma exclusiva su (Propia) demanda, en el mismo sitio donde la produce” (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015).

Operación Aislada

Para el Ministerio de Ambiente y Energía (2015) consiste en: “Operación de un sistema de generación para autoconsumo que no tiene interacción con la red de distribución eléctrica.” (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015)

Como se establece en la Sección Tercera sobre, Del productor-consumidor.

Artículo 13. —Productor-consumidor.

Toda persona física o jurídica que produce electricidad con fuentes renovables para ser aprovechada exclusivamente por él, en el mismo sitio donde se genera, con el único propósito de suplir parcial o totalmente sus necesidades de energía eléctrica.

Artículo 14. —Tipos de productor-consumidor.

Existen dos tipos:

a) El productor-consumidor con un sistema de generación no interconectado a la red de distribución.

b) El productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución.

Artículo 18. —El productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución.

Es el abonado que instala y opera un sistema de generación distribuida para autoconsumo interconectado a la red de distribución eléctrica, por medio un contrato de interconexión.

Artículo 19. —Responsabilidades del productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución.

Son responsabilidades del productor-consumidor interconectado:

a) Previo a instalar el sistema de generación distribuida para autoconsumo deberá obtener la autorización por parte de la empresa distribuidora para su instalación.

b) Instalar únicamente equipos que cumplan las especificaciones técnicas, constructivas y operativas contempladas en las normas técnicas.

c) El diseño del sistema de generación distribuida deberá estar firmado y sellado por un ingeniero colegiado y visado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

d) Adecuar y mantener el sistema estructural y eléctrico de su inmueble, para los nuevos requerimientos del sistema de generación distribuida.

e) Diseñar, construir, operar y mantener el sistema de generación distribuida y sus instalaciones eléctricas de conformidad con las normas técnicas.

f) Cumplir en todos sus extremos el contrato de interconexión suscrito con la empresa distribuidora.

g) Cumplir con los procedimientos, requisitos, condiciones técnicas y cualquier otro requerimiento establecido por la empresa distribuidora.

h) Permitir el acceso del personal de la empresa distribuidora al área donde se ubique el sistema de generación distribuida.

i) Atender las consultas y recomendaciones que la empresa distribuidora le realice en cumplimiento con este reglamento y las normas técnicas.

j) Hacer una correcta disposición final de los residuos de los sistemas de generación y almacenamiento de la energía, en concordancia con la Ley N°8839, Ley para la Gestión Integral de Residuos y Reglamento N°37567-S-MINAET-H, Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos.

Disposiciones generales para el sistema de generación distribuida para autoconsumo

Artículo 33. —Límite del sistema de generación interconectado a la red de distribución.

Será responsabilidad del abonado dimensionar la potencia eléctrica de su sistema de acuerdo con la proyección del comportamiento de su consumo. Para los casos que la empresa distribuidora identifique, los sistemas de generación distribuida deberán cumplir con las normas técnicas que definen los criterios de despacho del Centro Nacional de Control de Energía, según la potencia instalada.

Artículo 34. —Autorización para almacenamiento y retiro de energía.

El productor-consumidor podrá depositar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del cuarenta y nueve por ciento (49%) de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual. La energía total producida y la energía no consumida serán contabilizadas de forma mensual por un período de un año dentro del proceso de facturación, siendo su fecha anual de corte un acuerdo de las partes dentro del contrato de interconexión. Se exceptúan de estas limitaciones, previa evaluación y autorización de la empresa distribuidora, los sistemas de generación distribuida que utilicen residuos agroindustriales o la fuerza hidráulica para la generación de electricidad.

Artículo 35. —Punto de interconexión común.

La medición de la energía intercambiada debe realizarse en un punto de interconexión común, para ello la empresa distribuidora emplearía los medidores de energía y demás dispositivos con la tecnología a(Propia)da para dicho fin. El productor consumidor sólo podrá suscribir un sistema por cada punto de interconexión establecido con la empresa distribuidora.

Artículo 36. —Modalidad contractual.

Para la interconexión y operación de un sistema de generación distribuida se utilizará la modalidad contractual medición neta sencilla.

Artículo 37. —Medición neta sencilla.

Esta modalidad permite que se deposite en la red de distribución la energía no consumida en forma mensual, para hacer uso de ella durante un ciclo anual, en forma de consumo diferido.

Si el productor-consumidor consume más energía que la depositada en la red de distribución deberá pagar la diferencia de acuerdo con las tarifas establecidas por la ARESEP. La producción de energía deberá medirse en su totalidad y se contabilizará de acuerdo con lo estipulado en el contrato de interconexión.

Artículo 39. —Acceso a la red.

El productor-consumidor deberá cancelar mensualmente a la empresa distribuidora, el costo de acceso a la red de distribución de acuerdo con la tarifa de la ARESEP.

Artículo 41. —Pagos de excedentes de energía.

No será sujeto a ninguna retribución económica, ni de intercambio, cualquier exceso de energía depositada superior a lo establecido en el artículo 34 de este Reglamento.

Artículo 42. —Tarifas.

La ARESEP será la responsable de establecer las tarifas de interconexión, acceso, cargos por potencia, actividades de gestión administrativa y técnica y cualquier otro cargo aplicable a la actividad regulada asociada a la generación distribuida para autoconsumo modalidad contractual medición neta sencilla. (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015)

Tasa Interna de Retorno y Valor Actual Neto

Cálculo de la TIR

Para Allen y otros (2010), en su libro de Finanzas Corporativas: “La tasa interna de rendimiento se define como la tasa de descuento a la cual $VPN = 0$. Esto significa que para encontrar la TIR de un proyecto de inversión que dure T años, debemos despejar la TIR de la expresión siguiente” (pág. 122).

Ecuación 8 Fórmula de Valor Actual Neto

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1 + TIR} + \frac{C_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1 + TIR)^T}$$

Fuente: (Allen, Myers y Brealey, 2010).

Para comprender mejor, en Principios de Finanzas Corporativas se ejemplifica el cálculo.

Para calcular la TIR, se sigue el método de prueba y error. Por ejemplo, consideremos un proyecto que genere los siguientes flujos:

Tabla 10 Ejemplo flujos de efectivo

Flujos de efectivo dólares		
C ₀	C ₁	C ₂
-4000	+2000	+4000

Fuente: (Allen, Myers y Brealey, 2010).

La tasa interna de rendimiento es la TIR en la ecuación:

Ecuación 9 Fórmula TIR

$$VPN = -4000 + \frac{2000}{1 + TIR} + \frac{4000}{(1 + TIR)^2} = 0$$

Fuente: (Allen, Myers y Brealey, 2010).

Algunas personas confunden la tasa interna de rendimiento con el costo de oportunidad del capital, porque los dos entran como tasas de descuento en la fórmula del VAN.

La tasa interna de rendimiento es una medida de rentabilidad que depende únicamente de la cantidad y los plazos de los flujos de efectivo. El costo de oportunidad del capital es un estándar de rentabilidad que empleamos para calcular cuánto vale el proyecto. El costo de oportunidad del capital se establece en los mercados de capitales y corresponde a la tasa de rendimiento esperada de otros activos que tienen el mismo nivel de riesgo que el proyecto sujeto a evaluación.

La regla de la TIR

Allen y otros (2010), señalan que:

La regla de la tasa interna de rendimiento consiste en aceptar un proyecto de inversión si el costo de oportunidad del capital es menor que la tasa interna de rendimiento. Si el costo de oportunidad del capital es menor que la TIR de 28%, entonces el proyecto tiene un VPN positivo cuando se descuenta al costo de oportunidad del capital. Si es igual a la TIR, el proyecto tiene un VPN de cero, y si es mayor el proyecto tendrá un VPN negativo. Por lo tanto, cuando comparamos el costo de oportunidad del capital con la TIR de nuestro proyecto, en realidad preguntamos si el proyecto tiene un VPN positivo, y así ocurre en todos los casos: la regla siempre dará la misma respuesta que la regla del valor presente neto si el VPN de un proyecto es una función de la tasa de descuento que decrece suavemente (pág. 123).

Cálculo del valor actual neto

El valor actual neto, también conocido valor actualizado neto o valor presente neto (en inglés *net present value*), cuyo acrónimo es VAN, este procedimiento permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

Para hallar el valor presente neto, primero calculamos su valor presente. Se descuenta el flujo de efectivo futuro con una tasa adecuada r , que generalmente se conoce como tasa de descuento, tasa mínima aceptable, o costo de oportunidad del capital:

Ecuación 10 Cálculo Valor Presente

$$\text{Valor Presente}(VP) = \frac{C_1}{1 + r}$$

Fuente: (Allen, Myers y Brealey, 2010, pág. 29).

La fórmula básica del valor presente de un activo que paga en varios periodos es la siguiente extensión de la fórmula para un periodo:

Ecuación 11 Fórmula valor presente neto

$$VAN = \frac{C_1}{1 + r_1} + \frac{C_2}{1 + r_2} + \dots$$

Fuente: (Allen, Myers y Brealey, 2010).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.

Enfoque de la investigación

Este proyecto se desarrolla desde el enfoque cuantitativo no experimental, por medio del muestreo de la cantidad de animales, cálculos de dimensionamiento, análisis de facturación energética, búsqueda de proveedores, cotización de costos de inversión y realizar análisis financieros.

Realizar los dimensionamientos necesarios para evaluar las opciones que ofrece el mercado, sobre un sistema de planta de generación eléctrica, que sea adecuado para abastecer energéticamente las instalaciones de la empresa.

Método de la investigación

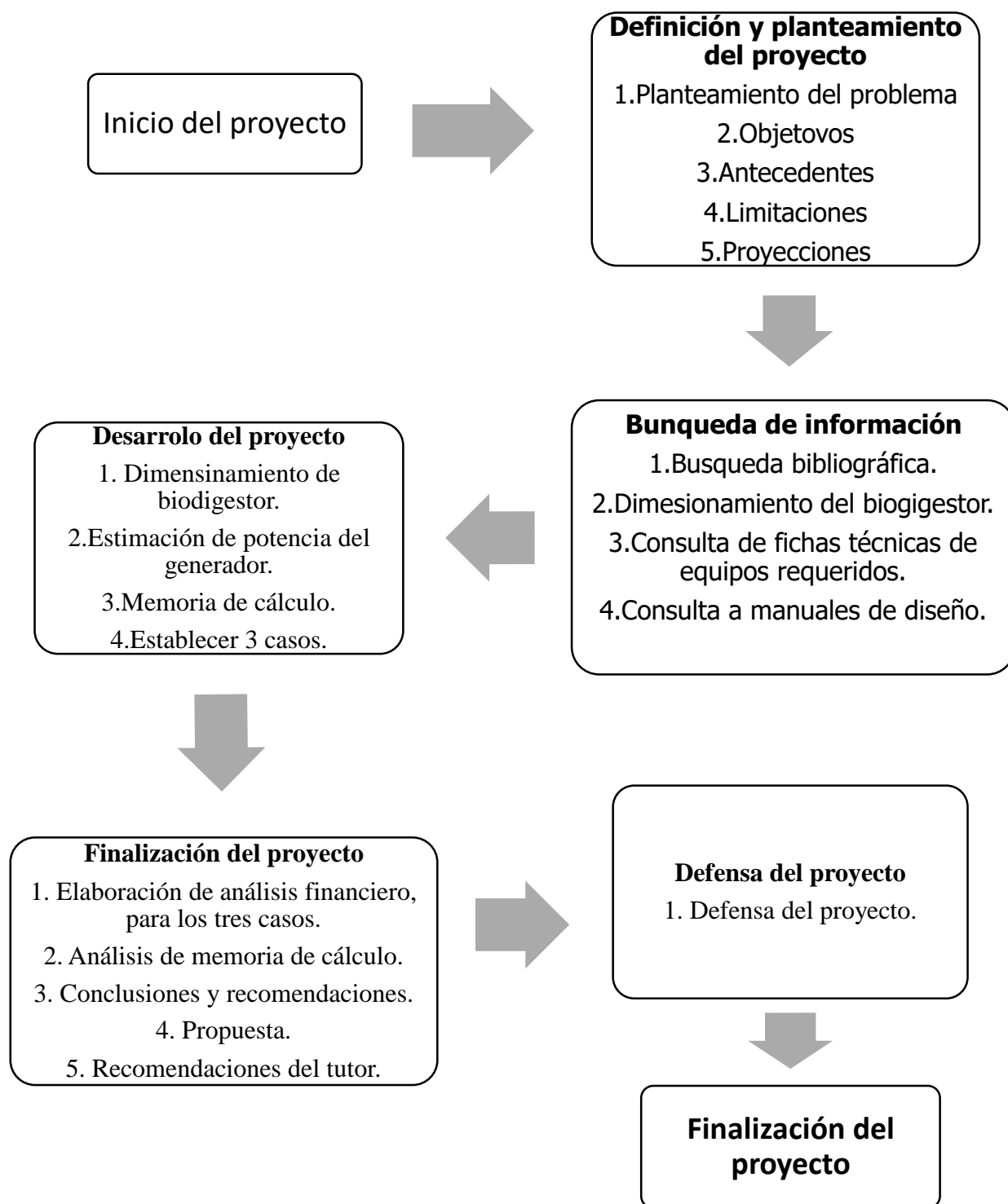
Para poder generar una solución al problema planteado, y conocer cuál es el diseño de generación por proponer, se realiza un análisis de las facturas por consumo eléctrico donde se determinará el valor de la energía demandada.

Cuando se logre determinar el tamaño del generador requerido, se dará inicio al diseño del biodigestor, por lo que se procede a consultar las bases de datos de la finca, para conocer la cantidad de cerdos existentes en las instalaciones, y poder así estimar la cantidad de estiércol que generan.

Realizando una memoria de cálculo, se determinarán los parámetros y dimensiones requeridos para el biodigestor, así como la cantidad de gas que producirá diariamente, de ser implementado.

Se realizará una comparativa económica de los diferentes proveedores de generadores eléctricos, para lograr una propuesta formal y final del proyecto.

Figura 6. Diagrama de flujo



Fuente: (Propia).

Fuentes de información

- Base de datos sobre ganado porcino existente en la finca.
- Manual para el productor (MAG, SENASA).
- Manual de diseño de biodigestores tubulares (Herrero, 2019).
- Manual de Biogás (Varnero Moreno, 2011).
- Proyecto Biogás (Grupo ICE).
- Revisiones de catálogos de biodigestores.
- Libros de termodinámica (Cengel, Yunus A, Boles y Michael A).
- Fichas técnicas de proveedores de plantas eléctricas
- Libro de Principios de Finanzas Corporativas (Allen, Myers y Brealey).

Variables o unidades de análisis

1. Objetivo: Determinar el tamaño de los biodigestores de flujo continuo, adecuado al espacio en las instalaciones, por medio de la cantidad de desechos porcinos producidos.

Variable: estiércol disponible.

Indicador: se medirá la cantidad de cerdos según su tipo.

Definición conceptual: cantidad de excremento producido, por el cerdo o cerdos en un día.

Definición operacional: por medio de la base de datos de la finca, donde se detalle la cantidad de cerdos según su tipo y peso promedio.

Definición instrumental: se utilizará la tabla 7 donde indica la cantidad promedio de estiércol que generan los cerdos según su tipo y peso; además, se verifican las dimensiones con el software de Google Earth.

2. Objetivo: Dimensionar el tamaño del generador eléctrico adecuado a la producción de biogás por m³ de desechos.

Variable: consumo KWh.

Indicador: se medirá la demanda energética en (KWh/mes) que consume la finca.

Definición conceptual: cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida, en un tiempo determinado.

Definición Operacional: se analizarán las facturas por consumo eléctrico mensuales, y se promediará con la cantidad de horas de funcionamiento de las instalaciones.

Definición instrumental: amperímetro de pinza, y voltímetro.

3. Definir la tecnología del generador eléctrico a(Propia)do para este proyecto, por medio del estudio, de lo que ofrecen los diferentes distribuidores en el país, y considerando la carga por satisfacer y las condiciones físicas de la finca.

Variable: modelos y fabricantes

Indicador: cumplimiento de características de generación requeridas.

Definición Operacional: visita a la finca, para conocer la posible ubicación del generador, consultar el tipo de voltaje requerido, y calcular la carga demandada.

Definición instrumental: consulta de fichas técnicas brincadas por los proveedores.

4. Objetivo: Verificar que el diseño cumpla las condiciones, fundamentado en las leyes que rigen este tipo de generación eléctrica en el país.

Variable: autoconsumo energético.

Indicador: determinar si existe en el país, un reglamento o ley que regule el proyecto de autoconsumo.

Definición conceptual: es el aprovechamiento de la energía generada por parte del productor-consumidor para abastecer de forma exclusiva su (Propia) demanda, en el sitio donde se produce.

Definición Operacional: leer artículos vigentes del plan piloto de generación distribuida y autoconsumo en Costa Rica.

Definición instrumental: leyes vigentes.

5. Objetivo: Establecer el análisis financiero para calcular el retorno de la inversión, por medio de la tasa interna de retorno y el valor actual neto.

Variable: productos cotizados.

Indicador: calcular el costo de la inversión,

Definición conceptual: cálculos realizados con el fin de analizar, con respecto al costo de inversión, si es viable financieramente implementar un proyecto.

Definición Operacional: comparación de cotizaciones y calcular el retorno de la inversión, si se utiliza el monto destinado a facturación eléctrica como monto mensual.

Definición instrumental: memoria de cálculo.

Instrumentos

Proceso para la recolección y análisis de datos

Se inicia buscando manuales y catálogos de biodigestores, de diversas fuentes (Guía de Diseño y Manual de Instalación, Bioflex, MAG), para comprender el funcionamiento de un biodigestor, conocer los modelos y diseños existentes en el mercado nacional, que se ajusten para la aplicación de generación de energía.

Se investigan estadísticas nacionales sobre la producción de estiércol porcino, y sus características de composición (Ministerio de Agricultura y Ganadería), al igual que los cálculos necesarios para el dimensionamiento de biodigestores y estimaciones de biogás por producir.

De los cuales se indican los cálculos y variables necesarios, por ende, se procede a elaborar una visita a la finca y así tomar los datos, como lo son; número de cerdos, peso vivo promedio, tipo de superficie (cemento, rejillas), y espacio disponible para posible instalación de biodigestor.

Después de consultar distintos proyectos realizados con el respaldo del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), se logró obtener información de distintos proveedores nacionales e internacionales en materia de generadores eléctricos, por lo que se procede a contactarlos y solicitar diferentes fichas técnicas, por lo que es necesario hacer otra recolección de datos en el sitio.

Para dimensionar el generador eléctrico requerido, se comenzará a revisar el historial de facturación eléctrica, donde se muestra el consumo de energía por mes, así como se también levantará un listado de equipos que se encuentran conectados a la red, con el resultado de esos cálculos se buscará información de proveedores nacionales, en equipos, TEDOM, General Motors, KOLER, entre otros, los cuales ofrezcan respaldo y muestren un costo beneficioso para la posible inversión.

Se realizarán consultas a las distintas normativas y leyes vigentes, que regulen la autogeneración haciendo uso de biomasa, así como condiciones de diseño establecidas por el Código Eléctrico Nacional (NEC).

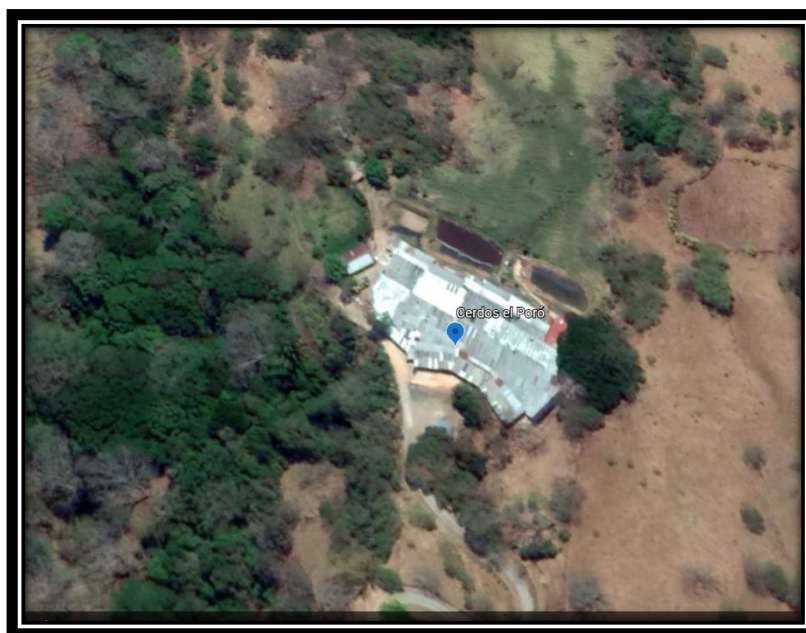
Se investigará en libros de Finanzas, el método de cálculo del retorno de la inversión, de ahí tomar las fórmulas y cálculos necesarios para analizar las cotizaciones.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Descripción de la empresa

La finca Cerdos el Poró está ubicada en Grifo Alto de Puriscal, se dedica a la producción y engorde de cerdos desde madres en gestación hasta que obtengan el peso ideal para su venta, este proceso se repite continuamente a lo largo del año.

Figura 7. Ubicación satelital Finca cerdos el Poró



Fuente: (Google Earth, sf.).

Definición del diseño

Se desea diseñar un sistema electromecánico de generación de electricidad, a partir de biogás producido a partir de biomasa, basados en los consumos energéticos y la cantidad de producción de biogás estimada.

Se realizarán dos propuestas con generadores a gas natural adaptados a biogás y una con generador a biogás, donde se estimarán que cubran la demanda en un periodo de seis horas al día, los siete días de la semana.

Desarrollo

Propuesta de diseño de biodigestor

De la investigación realizada anteriormente en el marco referencial para conocer las cantidades de estiércol disponible, se encontró que cada aparto o corral cuenta con dimensiones estructurales y cantidades distintas de cerdos, así como variantes en el peso de los animales, la finca cuenta con una base de datos, de la cual se logra extraer la siguiente información, y confirmar que los promedios de peso, según el tipo de cerdo propuestos en el marco referencial son confiables.

Los cerdos en esta finca cumplen un ciclo lineal, donde la cantidad de animales que salen de la finca mensualmente, es igual a los que ingresan a maternidad, por lo que se consideran los datos de la tabla 11 como constantes a lo largo del año.

De acuerdo con la tabla 6 del marco referencial y los promedios de producción de estiércol del MAG, se toman los siguientes datos de la finca, como se muestra en la tabla 11.

Ecuación 12 Cálculo de peso vivo de cerdo

$$Peso\ vivo = Cantidad\ de\ cerdos \times Peso\ promedio$$

Fuente: (Propia).

Ecuación 13 Carga diaria de estiércol según Tipo de cerdo

$$Carga\ Diaria = \frac{peso\ vivo\ (Kg)}{100(Kg)} \times estiercol\ promedio\ (Kg)$$

Fuente: (Propia).

Tabla 11 Cantidad de excremento diario

Cantidad de excremento diario por cada 100kg de peso vivo.					
	Cantidad De Cerdos	Peso Promedio (Kg)	Peso Vivo (Kg)	Estiércol Promedio (Kg)	Carga Diaria De Estiércol (Kg)
Lechones	948	2	1896	1,04	19,7184
Crecimiento	1545	30	46350	1,9	880,65
Engorde	2500	68	170000	4,4	7480
Gestación	400	125	50000	4	2000
Cerda Y Camada	79	170	13430	15	2014,5
Verracos	5	160	800	5	40
Total	5477		282476		12434,8684

Fuente: (Propia).

Como se muestra en la tabla anterior, los cálculos de estiércol están dados de manera que la cantidad de cerdos es multiplicada por el peso promedio (el cual varía según el tipo de cerdo), lo cual da como resultado la cantidad de peso vivo, en la columna de kilogramos de estiércol se muestra un promedio la cantidad de estiércol que se produce por cada 100 kilogramos de peso vivo.

Para llegar al cálculo del promedio de estiércol diario generado, se debe dividir el peso vivo entre 100 y multiplicarlo por el valor correspondiente de la columna de kilogramo de estiércol. El biodigestor debe tener espacio para almacenar por veinticinco días la carga generada diariamente, por tanto es importante para un buen diseño del biodigestor, conocer la carga diaria, y cuánto líquido tendrá almacenado, ya que esta cantidad de carga es sumada durante el número de días que se haya determinado como tiempo de retención.

Cálculos para conocer la cantidad de biogás

Como lo establece el NEC en el Artículo-705: “El combustible del generador debe ser el suficiente para el funcionamiento del sistema a plena carga”, por lo que se procede a hacer los cálculos para conocer la cantidad de combustible (biogás) con el que se cuenta.

Según el marco referencial, se estima la producción de biogás donde 1 kilogramo de estiércol de cerdo produce en promedio 0.061 metros cúbicos de biogás.

$$\text{Biogás } m^3 = (\text{Carga Diaria de estiércol})Kg \times (0.061m^3)$$

$$\text{Biogás} = 12434.86 \text{ Kg} \times 0.061m^3$$

$$\text{Biogás} = 758.53 m^3$$

Fuente: (Propia).

Los aparatos cuentan con piso de cemento o rejillas, lo que permite que se pueda lavar con facilidad cada corral, este a su vez es un avance importante, ya que la mezcla que ingresa al biodigestor debe estar compuesta en su mayoría por agua, en una relación de cuatro litros de agua por cada kilogramo de excremento.

Volumen de agua

Se procede por realizar las estimaciones de agua requeridas para la cantidad de desechos calculados anteriormente. La mezcla de sólido y líquido debe pasar por un separador para evitar que ingresen sólidos inertes al biodigestor.

Cálculo de volumen líquido:

$$\text{Volumen líquido } m^3 = \frac{\text{Carga diaria (kg)} \times 4 \text{ litros}}{1000}$$

$$\text{Volumen líquido } m^3 = \frac{12434,87 \text{ Kg} \times 4 \text{ litros}}{1000}$$

$$\text{Volumen líquido} = 49.74 m^3$$

Fuente: (Propia).

Una vez obtenido el resultado de volumen de líquido y volumen de sólidos, se puede efectuar un cálculo de la cantidad estimada a ingresar diariamente al biodigestor, mediante una suma de los dos volúmenes, cálculo necesario más adelante para conocer las dimensiones del biodigestor. Este volumen resultante debe ser mezclado para que se genere un sustrato uniforme.

$$VT = VL + VS$$

Tabla 12 Carga diaria del biodigestor

Volumen de Mezcla Diaria		
Volumen liquido	49,74	m3
Volumen solido	12,43	m3
Volumen total	62,17	m3

Fuente: (Propia).

Como se muestra en la tabla 16, para conocer la dimensión mínima del biodigestor, se necesita tomar un valor de 25 días de tiempo de retención, lapso durante el cual estarán ingresando diariamente un volumen de 62.17 metros cúbicos de mezcla.

Si se multiplica la carga diaria por la cantidad de días establecidos como tiempo de retención, se logra determinar el volumen mínimo requerido, de no respetar este parámetro es posible que se desborde la mezcla que aún no ha terminado su proceso de digestión.

Este cálculo también es importante, ya que es necesario para dimensionar la fosa o zanja donde se instalará el biodigestor, en caso de que se realice el proyecto.

Tabla 13 Dimensión mínima del biodigestor

Volumen mínimo		
Tiempo de retención	25	días
Carga diaria	62,17	m ³
Volumen	1554,36	m³

Fuente: (Propia).

$$volumen = 25 \times 62.17m^3$$

$$Volumen = 1554.36m^3$$

Fuente: (Propia).

Como se indicó anteriormente, no se recomienda diseñar el biodigestor con su valor mínimo de volumen, por lo cual se procede a tomar en cuenta el espacio ocupado por el gas que será producido en su interior.

Volumen del biodigestor

Para dimensionar este espacio adicional, no existe una medida establecida, ya que puede variar según su uso. En este caso, se calculará para que almacene dos días de producción de gas, aunque puede ser menor para aumentar la presión del gas.

Se elige este diseño debido a que el biogás será utilizado para la generación de electricidad, y es necesario evitar que se agote el combustible almacenado.

$$\text{Volumen de Biodigestor} = \text{Volumen}_L + (2 \times \text{Volumen}_G)$$

$$\text{Volumen de Biodigestor} = 1554.36\text{m}^3 + 910.23\text{m}^3$$

$$\text{Volumen de Biodigestor} = 2464.59\text{m}^3$$

Tabla 14 Dimensiones del biodigestor

Dimensionamiento		
volumen liquido (m ³)	1554,36	
volumen del gas (m ³)	910,23	Dos días
volumen total (m³)	2464,59	

Fuente: (Propia).

El biodigestor debe ser hecho a la medida o implementar una serie de biodigestores prefabricados, en consecuencia, se le solicita a un contratista de la Asociación Costarricense de Biodigestores, que realice una estimación de los costos de fabricación e implementación de un digestor con las siguientes dimensiones son de 20m x 40m x3.5m para un total de 2800 metros cúbicos.

La geografía de la finca es montañosa, factor que limitaría colocar el sistema de biodigestores en un lugar cercano a la fábrica de alimento; no obstante, de ser implementado, el proyecto las lagunas de oxidación se convierten en un lugar adecuado para la instalación, pues estas quedarían en desuso. Asimismo, las tuberías de transporte del estiércol porcino están dirigidas a las lagunas, y el material llega por gravedad, lo que permite ahorrar la instalación de un sistema de bombeo para el llenado del biodigestor.

Con la ayuda de Google Earth que es un sistema informático donde se encuentran tomas satelitales de la cartografía terráquea, se procede a buscar la ubicación de la finca, una vez encontrada, se logra observar la posible ubicación de los biodigestores, y con la utilización de la función de “medir” se logra determinar que las dimensiones del biodigestor propuestas, son aptas para el espacio disponible.

Como se observa en la figura 8, corresponde al espacio disponible en la finca para la instalación de los biodigestores de ser implementados.

Figura 8 Dimensiones en vista satelital



Fuente: (Google Earth).

Se elige un biodigestor de flujo continuo que sea fabricado con materiales de alta resistencia a un bajo costo, dado a que como se explicó en el marco referencial, es el más adecuado para casos donde se produzcan cantidades diarias de biomasa; de manera que, se genere un llenado y una producción de gas continuamente durante la vida útil del biodigestor.

Los proveedores nacionales, cuentan con tipos de biodigestores que son fabricados de geomembrana (PVC) flexible (Anexo 3), ya que son los más adecuados debido a su fácil instalación y resistencia al envejecimiento por temperatura, radiación UV, y sus excelentes propiedades mecánicas, el fabricante indica que los biodigestores de este material cuentan con una vida útil de hasta veinte años.

Para garantizar la supervivencia de las bacterias metanogénicas encargadas de la digestión y producción de los gases, es necesario que el biodigestor no sufra cambios bruscos de temperatura, por tanto, se procede a efectuar una visita a la finca y analizar el lugar donde pretende instalar los biodigestores. Asimismo, con información brindada por el propietario del lugar, se logra conocer

que en la posible ubicación, será afectada por el viento; en consecuencia, se sugiere después de instalados los biodigestores, tomar mediciones de temperatura, y de ser necesario crear un recinto cerrado a su alrededor, para evitar que la temperatura sufra cambios bruscos, de manera que se vea afectada la producción del biogás.

Resulta necesario implementar un filtro de adsorción química (Anexo 5), compuesto por óxido de hierro (Fe_2O_3), el cual permite reducir el contenido de ácido sulfhídrico a 10 partes por millón (ppm), y eliminar el vapor de agua que pueda contener el biogás, convirtiéndolo en apto para ingresar al motor. Este filtro no remueve el dióxido de carbono, ni aumenta el porcentaje de metano, ya que los motores a biogás trabajan con porcentajes bajos en el contenido de metano (hasta un 40%), lo que permite ahorrar en un proceso de filtración o generación de biometano (Biogás con alto porcentaje de metano) con costos más elevados.

Consumo proyectado mensual

Para conocer las dimensiones de generador es necesario obtener el consumo energético, por consiguiente, se procede a solicitar el historial de consumo de un año, donde se buscará obtener el valor más alto de consumo. Aparte de la fábrica de alimento, se encuentra la cabaña donde duermen los trabajadores, la cual cuenta con un televisor, una refrigeradora pequeña, y su iluminación interior es LED, además cocinan con gas LPG, por ello, no se considera necesario satisfacer dicha demanda energética con el generador eléctrico.

Tabla 15 Historial de consumo eléctrico

Consumo Por Mes		Potencia Demandada (KWh)		
		KWh/mes	KWh/día	KWh/horas de trabajo
Junio 2019	₡723 020,00	5236	174,54	34,91
Julio 2019	₡697 530,00	5052	168,39	33,68
Agosto 2019	₡780 140,00	5650	188,33	37,67
Septiembre 2019	₡718 920,00	5207	173,55	34,71
Octubre 2019	₡756 040,00	5475	182,51	36,50
Noviembre 2019	₡791 105,00	7136	237,87	47,57
Diciembre 2019	₡788 605,00	7114	237,12	47,42
Enero 2020	₡741 305,00	5369	178,96	35,79
Febrero 2020	₡638 120,00	4849	161,63	32,33
Marzo 2020	₡713 140,00	5400	180,00	36,00
Abril 2020	₡794 905,00	7170	239,00	47,80
Mayo 2020	₡744 085,00	5350	178,33	35,67

Fuente: (Propia).

Se procede a realizar un análisis de la facturación eléctrica, donde se encontraron los datos antes establecidos en la tabla 16, el factor de uso se estableció como la cantidad de horas que trabaja dicha fábrica, un total de 5 horas al día, durante los siete días de la semana.

Además, utilizando de la tabla 430.250 del Código Eléctrico Nacional para la corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna (Anexo 2), se logra estimar una potencia al momento de trabajar el 100% de los motores, además de un factor de 1.25 para el pico de arranque. Es importante recalcar que la mayoría de los motores de la fábrica trabajan intermitentemente, pero se asumen como cargas fijas, ya que podrían llegar a trabajar, más de tres horas seguidas.

Tabla 16 Consumo de motores

							Tabla 430,250	1,25%
Modelo	Voltaje (V)	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Factor de potencia (fp)	Corriente (A)	Eficiencia	Corriente Plena Carga NEC (A)	Corriente de arranque (A)
EBERLE	230	2	2	0,76	3,2	0,92	6,8	8,5
siemens	230	50	30	0,86	110	0,936	130	162,5
siemens	230	7,5	5	0,86	20,2	0,842	22	27,5
EBERLE	230	2	2	0,76	3,2	0,92	6,8	8,5
n.d	230	5	3	0,82	14,8	0,805	15,2	18,75
Total		66,5	41,584		151,4		180,8	225,75

Fuente: (Propia).

De la tabla anterior número 16, y haciendo uso de la ecuación 6 del marco referencial, se pueden estimar los siguientes datos de potencia instalada, al considerar la corriente de arranque estimada en 1.25 adicional por ser equipos de carga continua, según la corriente en la tabla 430.250 (NEC-2014).

$$P = V \times I$$

$$P = 230 V \times 225.75 A$$

$$Potencia\ instantanea = 51.9KVA$$

Fuente: (Propia).

Con el resultado de estimación de carga demandada, se procede a cotizar con los distintos proveedores nacionales, una planta generadora que utilicen como combustible, biogás o gas natural adaptado a biogás. No se deben emplear motores que usen como combustible el gas propano, ya

que, tal y como se evidencia en el marco referencial, este no cuenta con las mismas propiedades de poder calórico y demás, también se conoce del marco referencial y de los antecedentes de este proyecto, que se puede usar el biogás mezclado con diésel en generadores que trabajen con este combustible, pero no se tomarán esas opciones, para evitar el uso de combustibles fósiles dentro del proyecto.

Como se explica en el marco referencial, el biogás generado, a partir de biodigestores, contiene sustancias como el ácido sulfhídrico (H_2S), vapor de agua, y demás, que podrían llegar a disminuir la vida útil del motor del generador, este proyecto no contempla el diseño de filtración y purificación del biogás, pero sí la elección del filtro, según lo existente en el mercado nacional, por lo cual se elige un filtro bajo el método de adsorción química (Anexo 5), al utilizar óxido de hierro, que como se explica en el marco referencial, permite disminuir el H_2S y el vapor. Sin embargo, una vez generado el biogás deben realizarse los estudios correspondientes para conocer el porcentaje de metano y ácido sulfhídrico reales resultantes del proceso, se realizan las memorias de cálculo, asumiendo un gas ya purificado y apto para ingresar en el generador.

En estas circunstancias, se obtienen opciones para valorar.

Propuesta de casos por valorar

Primer caso.

1. KOHLER KG80, Planta eléctrica adaptada a biogás, de 60KW a 220/480 60Hz, 1800RPM:
La planta generadora está compuesta por un motor 4 tiempos, con 8 cilindros en configuración tipo “V” de 6200 centímetros cúbicos, turbo cargado- post enfriado, y con una velocidad rotacional de 1800 RPM. (Anexo 6).
Acoplado directamente a un alternador de corriente alterna, trifásico cuatro polos, con regulador de voltaje. Cuenta con una vida útil estimada en 20000 horas de trabajo.

$$\text{años de vida útil} = \frac{20000h}{\text{horas de servicio}}$$

$$\text{años de vida útil} = 20000h \times \frac{1 \text{ año}}{2232h}$$

$$\text{años de vida útil} = 8.9 \text{ años}$$

Fuente: (Propia).

Cálculo de consumo de biogás según la ficha técnica es de 34.0 metros cúbicos por hora (Anexo 8) se va a asumir dos horas de trabajo adicionales por lo que se toma como siete horas al día:

$$\text{Consumo diario} = \text{consumo} (m^3/h) \times 7 (h/día)$$

$$\text{Consumo diario} = 34.0 \frac{m^3}{h} \times 7 \frac{h}{día}$$

$$\text{Consumo} = 238 m^3/día$$

Fuente: (Propia).

Segundo caso

2. General Motors, Planta eléctrica Biogás de 40KW a 220/480 60Hz, 1800RPM:

La Planta eléctrica está compuesta por un motor de 4 tiempos con 8 cilindros de “V” tipo industrial estacionario, de inyección directa, turbo cargado con post enfriamiento, lo que asegura un bajo consumo de combustible, enfriado por agua (Anexo 10).

Acoplado a un generador LEROY SOMER corriente alterna, Trifásico a 4 hilos, con regulador de voltaje externo, tipo transistorizado, manteniendo el voltaje entre vacío y plena carga +-1% Diseñado para trabajar a 1800RPM, 60Hz, 12 puntas estándar 3 fases 0.8 de factor de potencia, aislamiento NEMA CLASE F/H con barniz tropicalizado y accesorios montados y probados totalmente en fábrica. Estos generadores son de construcción robusta a prueba de goteo provistos de un ventilador para su enfriamiento. Además, incluye,

interruptor motorizado para salida de cables, gabinete para intemperie y con todos los suplementos internos.

La planta cuenta con certificación de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para cumplir con las regulaciones de emisiones ambientales.

$$\text{años de vida útil} = \frac{20000h}{\text{horas de servicio}}$$

Si tomamos como referencia las cinco horas de trabajo por día.

$$\frac{6h}{\text{día}} \times \frac{31 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = \frac{2232h}{\text{año}}$$

$$\text{años de vida útil} = 20000h \times \frac{1 \text{ año}}{2232h}$$

$$\text{años de vida útil} = 8.9 \text{ años}$$

Al igual que el primer caso, asumimos dos horas adicionales a las cinco que se trabaja en el día, y según la ficha técnica trabajando al 100% el equipo consume 22.4 metros cúbicos de gas por hora. (Anexo 11).

$$\text{Consumo diario} = \text{consumo} (m^3/h) \times 7 (h/día)$$

$$\text{Consumo diario} = 22.4 \frac{m^3}{h} \times 7 \frac{h}{\text{día}}$$

$$\text{Consumo} = 156.8 m^3/día$$

Tercer caso

3. TEDOM, Planta Eléctrica Biogás de 35KW a 220/480, 60Hz:

La planta eléctrica de 35KW está preparada para entregar 33kw/h continuos con un porcentaje de 40% de metano. Está compuesta de un motor modelo V3800, cuatro tiempos con cuatro cilindros en línea tipo industrial estacionario, turbo cargado con post enfriamiento, lo cual asegura un mayor ahorro de combustible, enfriados por agua y de tipo

inyección directa. Provisto de protecciones contra sobre velocidad, baja presión de aceite y bajo nivel de agua en el radiador (Anexo 12).

Acoplado a un generador Zanardi Italia AS2 25 de corriente alterna, trifásico, cuatro hilos 60Hz, 1800RPM, acoplado directamente al motor con discos flexibles de acero, sin escobillas, con regulador de voltaje externo, tipo transistorizado, mantenimiento de voltaje entre plena carga y vacío.

Además, incluye regulador de presión de biogás, interruptor motorizado para salida de cables, gabinete para intemperie y con todos los suplementos internos, Sistema para sincronía con otras máquinas, calentador de bloque de motor- gabinete de conmutador de generador (disyuntor de 52 G) incluyendo relé de protección del generador.

Si se elige utilizar un motor de biogás, es de fabricantes alemanes como: MAN o TEDOM; estos ofrecen vidas útiles de hasta 65000 horas de trabajo (ver anexo 10), con opción de realizar al final de su vida útil un mantenimiento especial donde se realice un overhaul para alargar su vida útil.

Es importante saber que estos motores vienen diseñados para trabajar a ciclo continuo las veinticuatro horas, y en estas propuestas se trabajan seis horas lo cual permite que la inversión sea aprovechable por muchos años. Como se muestra en los siguientes cálculos los motores diseñados para biogás si trabajan a ciclo continuo hasta por veinticuatro horas, su vida útil es de hasta quince años.

$$\text{años de vida útil} = \frac{65000h}{\text{horas de servicio}}$$

Si tomamos como referencia las seis horas de trabajo por día.

$$\frac{6h}{\text{día}} \times \frac{31 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = \frac{2232h}{\text{año}}$$

$$\text{años de vida útil} = 65000h \times \frac{1 \text{ año}}{2232h}$$

$$\text{años de vida útil} = 29 \text{ años}$$

Fuente: (Propia).

Para estimar el consumo de biogás en el tercer caso, se toman siete horas de trabajo, y según la ficha técnica este consume a plena carga un total de 12.0 metros cúbicos por hora. (Anexo 13).

$$\text{Consumo diario} = \text{consumo (m}^3/\text{h)} \times 7 \text{ (h/día)}$$

$$\text{Consumo diario} = 12.0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 7 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

$$\text{Consumo} = 84 \text{ m}^3/\text{día}$$

Fuente: (Propia).

Condiciones de instalación

Fundamentado en las leyes que rigen la generación de electricidad en el país, no se encontró ninguna limitante, de manera que, si la energía producida es para autoconsumo, se podrá generar la necesaria para satisfacer las instalaciones, según el Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables.

Sin embargo, existen condiciones que se establecen en el Código Eléctrico Nacional (NEC) que deben ser cumplidas, como lo son el artículo 702.4 (A) Capacidad y valor nominal, que se cumple cuando al momento de solicitar una cotización del equipo se solicita para una carga de 50KWh o al más cercana a ella, estimada para trabajar a plena carga, debe ser dimensionada rigurosamente, dado que entre cada modelo de generador puede existir una gran diferencia económica, como lo es el costo del equipo y su mantenimiento.

En el artículo 17 del Decreto N°39220-MINAE, donde se prohíbe al productor-consumidor no interconectado a la red de distribución, que distribuya o comercialice de alguna forma, la energía que produzca, además según lo establecido en el artículo 16 del mismo documento se debe impedir que el sistema implantado entre en contacto con la red de distribución eléctrica.

Todo equipo de generación de energía que permanezca conectado a la red del proveedor eléctrico, necesita un equipo de transferencia, el cual debe ser automático de modo que prevenga una interconexión accidental cuando aún se cuenta con fluido eléctrico de la red principal (ICE), para permitir su funcionamiento en paralelo, como se establece en el Artículo 702.5 (NEC 2014).

Análisis Financiero

Se solicitó a la Compañía Vega que realizara un estimado por la construcción de la infraestructura del biodigestor, por lo tanto, todos los casos se mantiene el costo estimado del biodigestor, el cual será igual para los tres casos.

La tasa interna de retorno o también llamada tasa del flujo de efectivo descontado, corresponde al periodo de recuperación del proyecto, así como un porcentaje de rendimiento. Se considera la aceptación del proyecto si la tasa de rendimiento superiores al costo de oportunidad del capital, por ende, se debe analizar cada caso para filtrar los resultados en caso de que se muestren con resultados positivos.

El valor actual neto depende de los flujos de efectivos proyectados provenientes del proyecto, así como del costo de oportunidad del capital.

Para efectuar los cálculos respectivos del valor actual neto y la tasa interna de retorno, se utiliza el programa de Microsoft Excel, para el cual es necesario utilizar como costo de oportunidad la tasa de interés brindado por BN Pyme Verde, financiamiento para proyectos ecológicos de pequeña y mediana empresa la cual es de un 10%. se estima un aumento del 5% anual en la tarifa del proveedor eléctrico.

Para este proyecto se establece un periodo de veinte años, el cual corresponde a la vida del biodigestor, según el fabricante si se cuenta con las condiciones de mantenimiento adecuadas.

Primer Caso

KOHLER KG80, Planta eléctrica adaptada a biogás, de 60KW a 220/480 60Hz, 1800RPM: donde será necesario hacer solo un recambio de equipo en el transcurso año ocho, y nuevamente al año 16, si se instala el mismo modelo, ya que el motor de este generador cuenta con una vida útil de ocho años, donde será sustituido por otro, para este caso se toma el valor del generador y se lleva a valor futuro el cual corresponde al valor que tendría el generador dentro de ocho años y de igual manera en el año 16, como se muestra en la siguiente tabla 18:

Tabla 17 Valor Futuro Generador KOHLER

Valor Futuro KOHLER KG80	
Generador	\$28 077,53
Generador en colones	¢16 200 735,00
Valor Futuro año 8	¢23 935 864,00
Valor Futuro año 16	¢49 626 019.00

Fuente: (Propia).

Vamos a asumir un porcentaje, para estimar el monto requerido para el mantenimiento preventivo anual, de un 10% del costo del generador a gas natural y 3% para biogás.

Mant. Preventivo Anual	
Porcentaje	10%
Valor del Generador	\$26 668,00

$$\text{Mantenimiento} = 10\% \times \text{valor del generador}$$

$$\text{Mantenimiento} = \$26\,668 \times 10\%$$

$$\text{Mantenimiento} = \$2506.792$$

Fuente: (Propia).

Tabla 18 Estimación de costos

PRIMER CASO	
BIODIGESTOR	\$26 000,00
ATS (Anexo 19)	\$2 486,00
GENERADOR KOHLER (Anexo 16)	\$26 668,00
INVERSIÓN EN DOLARES	\$55 154,00
CAMBIO DEL DÓLAR	₡577,00
INVERSIÓN INICIAL	₡31 823 858,00
MANT. PREVENTIVO ANUAL	₡1 538 743,00
AHORRO EN ENERGIA	₡9 538 860,00
AHORRO ANUAL	₡8 000 116,40
TASA PIMEVERDE BNCR	10%

Fuente: (Propia).

Con la resta requerida para costo de mantenimiento preventivo estimado, se obtiene un ahorro anual de ocho millones noventa y ocho mil ochocientos sesenta colones, que corresponde al ochenta y cinco por ciento del monto que inicialmente estaba destinado a facturación energética. Se procede a calcular el Valor Actual Neto y la tasa interna de retorno, empleando la ecuación establecida en el marco referencial la cual es:

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

La ecuación para la tasa interna de retorno se calcula con la fórmula anterior del valor actual neto, pero en este, caso igualándola a cero, se debe sustituir la tasa de descuento por la incógnita TIR.

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1+TIR} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+TIR)^T} = 0$$

A continuación, se presenta una tabla que muestra las proyecciones donde se toma un aumento del cinco por ciento anual sobre la tarifa por facturación eléctrica, de manera que se convierte a valor futuro a lo largo de los veinte años.

Tabla 19 Inversión y ahorro acumulado

Primer Caso		
Año	Flujo Neto	VAN
Año 1	¢8 000 116,40	-¢24 551 024,91
Año 2	¢8 400 122,22	-¢17 608 775,14
Año 3	¢8 820 128,33	-¢10 319 412,88
Año 4	¢9 261 134,75	-¢2 665 582,51
Año 5	¢9 724 191,48	¢5 370 939,37
Año 6	¢10 210 401,06	¢13 809 287,36
Año 7	¢10 720 921,11	¢22 669 552,74
Año 8	¢11 256 967,17	¢31 972 831,39
Año 9	¢11 819 815,53	¢19 007 022,89
Año 10	¢12 410 806,30	¢29 263 887,60
Año 11	¢13 031 346,62	¢40 033 595,55
Año 12	¢13 682 913,95	¢51 341 788,90
Año 13	¢14 367 059,65	¢63 215 391,91
Año 14	¢15 085 412,63	¢75 682 675,07
Año 15	¢15 839 683,26	¢88 773 322,40
Año 16	¢16 631 667,42	¢52 892 483,11
Año 17	¢17 463 250,79	¢67 324 921,78
Año 18	¢18 336 413,33	¢82 478 982,38
Año 19	¢19 253 234,00	¢98 390 746,02
Año 20	¢20 215 895,70	¢115 098 097,84
TIR		26%

Fuente: (Propia).

Según los resultados en el cálculo financiero para el primer caso, si la tasa interna de retorno (TIR) es menor al costo de capital, no se recomienda la implementación del proyecto. Como se puede ver en la tabla anterior la TIR es de veinte siete por ciento, y el costo de oportunidad (Pyme verde) es de un diez por ciento, lo cual indica que es viable desde la parte financiera.

Del cuadro anterior el periodo del año veinte, se logra un ahorro de ciento sesenta y siete millones cuatrocientos treinta mil seiscientos sesenta y seis colones generados desde el momento que se recupera la inversión.

Gráfica 1 Inversión y ahorro primer caso



Fuente: (Propia).

Como se logra observar en la gráfica 1, la recuperación de la inversión se da en año cuatro, por lo que, a partir del quinto año, se generarán ingresos positivos, que indican el ahorro generado por la implementación del proyecto, en el año ocho al igual que en el 16, corresponde hacer el reemplazo del generador, como se muestra en la gráfica anterior se genera una disminución del ahorro, ya que es requerida una nueva inversión.

Este proyecto cuenta con la particularidad de que en octavo periodo se debe realizar un recambio del generador; sin embargo, esto permite evaluar las condiciones de la empresa al momento de hacer el reemplazo; por tanto, da la oportunidad de amentar la potencia del equipo permitiendo la escalabilidad de la empresa.

Segundo Caso

General Motors, Planta Eléctrica Biogás de 40KW a 220/480 60Hz, 1800RPM: al igual que el caso anterior se establece el análisis financiero bajo las mismas condiciones, para este segundo

caso, será necesario hacer un recambio de equipo a finales del octavo año, ya que este viene adaptado de fábrica para ser utilizado con biogás, y se estima una vida útil de 20000 horas de trabajo.

Por lo tanto, se calcula el valor del generador en el año ocho y en el 16, como se muestra a continuación en la tabla:

Tabla 20 Valor Futuro de General Motors

Valor Futuro General Motors	
Generador	\$28 077,53
Generador en colones	¢16 200 734,81
Valor Futuro año 8	¢23 935 863,84
Valor Futuro año 16	¢52 248 988.92

Fuente: (Propia).

Mediante uso de la herramienta de Microsoft Excel, se aplica la siguiente fórmula para el valor actual neto.

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

Para calcular la tasa interna de retorno se aplica sobre el valor actual neto de cada periodo, aplicando la siguiente ecuación.

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1+TIR} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+TIR)^T} = 0$$

Tabla 21 Estimación de costos Segundo caso

SEGUNDO CASO	
BIODIGESTOR	\$26 000,00
ATS (Anexo 19)	\$2 486,00
GENERADOR (Anexo17)	\$28 077,53
INVERSIÓN EN DOLARES	\$56 563,53
CAMBIO DEL DÓLAR	₡577,00
INVERSIÓN INICIAL	₡32 637 156,81
MANT. PREVENTIVO ANUAL	₡1 620 073,47
AHORRO EN ENERGIA	₡9 538 860,00
AHORRO ANUAL	₡7 918 786,52
TASA PIMEVERDE BNCR	10%

Fuente: (Propia).

En la tabla anterior, se aprecia la inversión inicial que corresponde a cincuenta y seis mil, quinientos sesenta y tres dólares, si la comparamos con el primer caso solo cuenta con, un uno por ciento adicional en el costo de la inversión, pero cuenta con las mismas condiciones de vida útil.

Cálculo de valor actual neto la cual corresponde a la aportación neta del proyecto, menos la inversión inicial, dando como resultado el periodo en el cual esta se recupera. La tasa interna de retorno calculada con respecto al VAN de los flujos de efectivo futuros, corresponde a la tasa de descuento a la cual la inversión tiene un valor presente nulo.

Tabla 22 Segundo caso

SEGUNDO CASO		
Año	Flujo Neto	VAN
Año 1	₡7 918 786,52	-₡25 438 259,97
Año 2	₡8 314 725,85	-₡18 566 585,72
Año 3	₡8 730 462,14	-₡11 351 327,76
Año 4	₡9 166 985,25	-₡3 775 306,89
Año 5	₡9 625 334,51	₡4 179 515,02
Año 6	₡10 106 601,23	₡12 532 078,02
Año 7	₡10 611 931,29	₡21 302 269,17
Año 8	₡11 142 527,86	₡30 510 969,88
Año 9	₡11 699 654,25	₡16 244 241,79
Año 10	₡12 284 636,96	₡26 396 834,32
Año 11	₡12 898 868,81	₡37 057 056,48
Año 12	₡13 543 812,25	₡48 250 289,75
Año 13	₡14 221 002,87	₡60 003 184,68
Año 14	₡14 932 053,01	₡72 343 724,36
Año 15	₡15 678 655,66	₡85 301 291,02
Año 16	₡16 462 588,44	₡46 657 747,09
Año 17	₡17 285 717,87	₡60 943 464,33
Año 18	₡18 150 003,76	₡75 943 467,44
Año 19	₡19 057 503,95	₡91 693 470,70
Año 20	₡20 010 379,14	₡108 230 974,12
TIR		26%

Fuente: (Propia).

Para este segundo caso, se encontró una tasa interna de retorno del veinte seis por ciento, el cual no solo tiene un valor positivo, sino que también es mayor al diez por ciento que corresponde al posible costo de oportunidad en caso que fuera financiado.

De los resultados que muestra la tabla anterior, se obtiene un ahorro de ciento ocho millones doscientos treinta y un mil colones, al haber cumplido los veinte años establecidos del proyecto.

Gráfica 2 Inversión y ahorro segundo caso

Fuente: (Propia).

Como se logra observar en la gráfica anterior, la inversión tiene un periodo de recuperación de cuatro años, y a partir del quinto año se comienza a acumular un ahorro hasta que alcanza el octavo año donde se termina la vida útil del generador y este debe ser reemplazado, lo cual genera una disminución el ahorro acumulado, pero permite seguir contando con un ahorro significativo hasta el año 16 donde ocurre el mismo fenómeno.

Si se elige el segundo caso como propuesta, se debe saber que al igual que el primer caso el recambio del generador en el octavo año es una oportunidad para analizar su funcionamiento, durante su periodo de trabajo, y si cumplió con los requerimientos.

De esta manera, se puede realizar un nuevo análisis para implementar una mejor opción de generador o de mayor potencia, incluso si fuera necesario un equipo con mejores características como aprovechamiento de vapor, o mayor vida útil en ciclo continuo para posible cogeneración conectado a la red del proveedor (ICE).

Tercer Caso

Si comparamos, el costo de inversión es de un cincuenta por ciento mayor a los casos anteriores; sin embargo, no es de asombro, ya que la se cuenta con una mayor vida útil; se procede a hacer los cálculos correspondientes al valor actual neto y la tasa interna de retorno, manteniendo las condiciones anteriores.

Tabla 23 Costos tercer caso

TERCER CASO	
BIODIGESTOR	\$26 000,00
ATS (Anexo 19)	\$2 486,00
GENERADOR (Anexo 18)	\$84 166,69
INVERSIÓN EN DOLARES	\$112 652,69
CAMBIO DEL DÓLAR	¢577,00
INVERSIÓN INICIAL	¢65 000 602,13
MANT. PREVENTIVO ANUAL	¢1 942 567,00
AHORRO EN ENERGIA	¢9 538 860,00
AHORRO ANUAL	¢7 596 293,00
TASA PIMEVERDE BNCR	10%

Fuente: (Propia).

Una vez realizadas las estimaciones por costos de inversión, se continúa con el cálculo de retorno de inversión. al igual que en los casos anteriores.

Tabla 24 Tercer Caso

TERCER CASO		
Año	Flujo Neto	VAN
Año 1	₡8 098 860,00	-₡57 638 002,13
Año 2	₡8 503 803,00	-₡50 610 065,77
Año 3	₡8 928 993,15	-₡43 230 732,58
Año 4	₡9 375 442,81	-₡35 482 432,74
Año 5	₡9 844 214,95	-₡27 346 717,91
Año 6	₡10 336 425,70	-₡18 804 217,34
Año 7	₡10 853 246,98	-₡9 834 591,73
Año 8	₡11 395 909,33	-₡416 484,85
Año 9	₡11 965 704,80	₡9 472 527,38
Año 10	₡12 563 990,04	₡19 855 990,22
Año 11	₡13 192 189,54	₡30 758 626,20
Año 12	₡13 851 799,01	₡42 206 393,98
Año 13	₡14 544 388,96	₡54 226 550,15
Año 14	₡15 271 608,41	₡66 847 714,13
Año 15	₡16 035 188,83	₡80 099 936,30
Año 16	₡16 836 948,28	₡94 014 769,59
Año 17	₡17 678 795,69	₡108 625 344,54
Año 18	₡18 562 735,47	₡123 966 448,23
Año 19	₡19 490 872,25	₡140 074 607,11
Año 20	₡20 465 415,86	₡156 988 173,94
TIR		11%

Fuente: (Propia).

De la tabla anterior donde se muestra los flujos, se logra determinar que la tasa interna de retorno corresponde a un once por ciento, lo cual puede generar cierta incertidumbre sobre la implementación del proyecto, porque - como se mencionó en los casos anteriores -, el valor de la TIR debe ser comparado con el porcentaje de interés correspondiente al costo de oportunidad dato brindado por una entidad financiera, el cual, para nuestro caso, fue estimado en un diez por ciento,

Además, se logra estimar el ahorro al final del periodo por un monto de ciento cincuenta y seis millones novecientos ochenta y ocho mil ciento setenta y tres colones; si se compara, este corresponde a tan solo a ocho millones cuatrocientos veintisiete mil quinientos ochenta y dos colones o un 5% menor que los ahorros generados por los casos anteriores.

Gráfica 3 Inversión y ahorro tercer caso

Fuente: (Propia).

Este tercer caso es el que requiere una mayor inversión, pero es evidente en la gráfica 3, el periodo de recuperación en el año ocho, y donde hasta el octavo año se comienza a generar y acumular un ahorro, lo que nos indica, a partir de ese momento el proyecto comenzará a generar utilidades.

Si se elige el caso tres como propuesta, este solo requiere únicamente de la inversión inicial, puesto que el generador cuenta con vida útil suficiente para el periodo del proyecto completo. Este generador cuenta con características que le dan propiedades más resistentes a trabajar en ciclos continuos,

Las características del generador del tercer caso muestran ser el más robusto, además de ser fabricado especialmente para combustible biogás. Este cuenta con la mayor vida útil de los tres casos, con un total de sesenta y cinco mil horas de trabajo, además es fabricado para ciclo continuo. Los resultados financieros revelan que la recuperación se obtiene después de transcurrido el octavo año, con una tasa interna de retorno muy cercana al costo de oportunidad.

Sin embargo, al ser un motor diseñado para ciclo continuo permite, evaluar después de implantado ciertos proyectos de expansión, que permitirían un ingreso adicional, aumentado el ahorro anual, el tiempo de operación se puede extender a ocho horas por día donde la vida útil del equipo se reduce a veintiún años, trabajando dos mil novecientos setenta y seis horas al año. Por mencionar algunos casos, se puede estudiar después de implementado la posibilidad de convertirse

en productor-consumidor con sistema de generación interconectado a la red, cumpliendo las responsabilidades según el artículo 19 del decreto N° 39220-MINAE, la ley 7200 que autoriza la generación eléctrica autónoma o paralela, y tarifas reguladas por la ARESEP, esto debe ser hasta dentro de al menos seis años, porque, según Carolina Hernández (Grupo ICE), no se está comprando electricidad debido a que se cuenta con exceso de la misma. Otra propuesta que se podría evaluar, es expandir la producción de alimento y generar ganancias por medio de su venta.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Como se puede apreciar en el análisis de resultados, se logró determinar por medio de los cálculos de volúmenes, que el biodigestor adecuado para la cantidad de desechos porcinos producidos, debe contar con dimensiones de 40 metros de largo, 20 metros de ancho y 3.5 metros de profundidad, para un total de 2800 metros cúbicos, por medio de la herramienta de Google Earth se logra verificar que, las dimensiones son aptas para el espacio disponible en las instalaciones, puesto que, al ser un terreno montañoso se cuenta con un espacio limitado, se debe contar con una válvula de alivio y una antorcha que permita liberar de manera responsable la sobre producción de gas.
2. Se determina que la cantidad de biogás producida no es una limitante en este proyecto, por tanto, se logra dimensionar el tamaño del generador eléctrico adecuado para suplir el consumo energético de la fábrica de alimento, el cual fue estimado en 50KVA, por medio del historial de consumo brindado por la empresa distribuidora (ICE), ello ayuda a obtener una proyección de consumo el cual en promedio es de 5751KWh al mes, pagando alrededor de ¢740576 por el servicio, como se muestra en la tabla 16 del análisis de resultados.
3. Para definir la tecnología del generador más adecuada, se crearon tres casos con distintos modelos ofrecidos por proveedores nacionales, los cuales cumplen con las características requeridas de potencia, tipo de combustible y dimensiones físicas requeridas; donde fueron evaluados según su vida útil como se muestra en el análisis de resultados.
4. Por medio de la investigación teórica realizada en el marco referencial, se logra conocer que el país no cuenta con leyes que limiten, sino que, en su lugar aprueban el aprovechamiento de la energía generada por parte del productor-consumidor, como se muestra en el artículo 13 del Decreto N° 39220-MINAE, en el reglamento de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables; en consecuencia, se concluye que el sistema cumple con las condiciones de diseño, según el Código Eléctrico Nacional

corresponden como lo son: contar con combustible suficiente para el funcionamiento de al menos un día, contar un sistema de aislamiento de la corriente generada, con respecto a la principal, y que el generador cuente con potencia suficiente para plena carga.

5. Por medio de un análisis financiero aplicado a los tres modelos evaluados en el análisis de resultados, se obtiene el retorno de la inversión para cada uno de los casos, los cuales muestran resultados positivos de retorno de la inversión, donde los dos primeros casos la inversión es recuperada al 100% en un periodo de cuatro años con ahorros de hasta $\text{¢}115\,098\,098$, y el tercer caso se recupera el 100% de la inversión al año número 8 con ahorros de $\text{¢}156\,998\,173$.
6. Se concluyó que, para el diseño de un sistema de generación de electricidad a partir de la biomasa excretada por los cerdos, es necesario un biodigestor con capacidad de al menos 2800 metros cúbicos, el cual generará 785 metros cúbicos de biogás por día, con una etapa de filtración que lo hace capaz de ingresar a un motor de combustión interna; este, a la vez, se encuentra acoplado directamente a un alternador trifásico que generará la electricidad para satisfacer las instalaciones durante un periodo de cinco horas al día.

Recomendaciones

A partir de lo determinado a través del presente estudio, se recomienda:

1. En el momento de compra del motor, contar con un estudio del biogás producido ya filtrado para que el fabricante adapte el equipo a la condición óptima de trabajo, según el porcentaje de metano en el biogás; de igual manera, que se garantice la venta de repuestos durante diez años como mínimo.
2. Realizar un diagrama de flujo para la implementación del proyecto, ya que el equipo en la mayoría de casos cuenta con un tiempo de entrega de más de ocho semanas, lo que podría causar un atraso en el proyecto.
3. A los dueños de la finca cerdos el Poró, realizar capacitaciones al personal de la empresa, donde se detalle el funcionamiento del sistema, de manera que comprendan las condiciones que se deben seguir y las prevenciones del caso, como evitar el ingreso de sólidos inertes al biodigestor, o el arranque simultaneo de motores; este último es importante porque después de encendido un motor se debe esperar a que el voltaje se regule para poder encender otro motor y evitar picos elevados en la corriente de arranque.
4. Que los estudiantes de ingeniería electromecánica repliquen esta investigación, en instalaciones con capacidades distintas, implementando otras metodologías de generación de biogás, como reactores, o sistemas con mezcladores internos, que cuentan con el mismo principio, pero una mayor eficiencia de producción de gas, que permitiría hacer uso de menor cantidad de excrementos para generar la electricidad por día, o instalar un generador de más potencia y capacidad para producir energía durante más horas al día.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

Descripción

El proyecto pretende hacer uso de los excrementos porcinos de generados en los distintos corrales (desechos los cuales en un principio no generan ningún aporte económico), y por medio de un proceso de digestión anaeróbico, las bacterias metanogénicas se encargan de producir gases como metano, dióxido de carbono entre otros.

Por lo supraindicado, es necesario el diseño de un biodigestor con capacidad volumétrica de almacenar, el sustrato formado de la mezcla entre estiércol y el agua, además del biogás, el cual será producido diariamente, las dimensiones de este biodigestor no pueden exceder el espacio destinado dentro de la finca para su posible instalación, esto debido a que el terreno sobre el que se encuentra es empinado.

La finca porcina prepara diariamente un plan alimenticio para los cerdos, por tanto, en las instalaciones se cuenta con una fábrica de alimento, la cual trabaja durante cinco horas y abarca en su mayoría el consumo energético facturado mensualmente. Así que, este proyecto pretende implementar el biogás como combustible para la generación de electricidad.

En este proyecto se plantearon tres casos los cuales cuentan con el mismo dimensionamiento de biodigestor; en el primer caso con un generador de modelo KOLER KG80, de 86KVA, el segundo caso con un generador de General Motors, de 60KVA y un tercer caso con un generador TEDOM de 50KVA, con los tres casos se estima suplir la carga demandada en la fábrica de alimento de la finca.

Propuesta de implementación del diseño

La finca cuenta con corrales que albergan 5477 cerdos de distintos pesajes, con base en ese dato, se estimó una producción de 12 434 kilogramos de excremento, a los cuales se les debe adicionar 49.74 metros cúbicos de agua para formar el sustrato, los cálculos para conocer el volumen de la mezcla dan como resultado 62 metros cúbicos de carga diaria, se propone que el tiempo de retención de la carga dentro de biodigestor sea de 25 días, generando 758.53 metros cúbicos de biogás, a un total de 2464 metros cúbicos (tabla 15). Por tanto, se propone un biodigestor de flujo continuo con dimensiones de 40 metros de largo, 20 metros de ancho y 3.5 metros de profundidad, para un total de 2800 metros cúbicos (Figura 6).

Se propone implementar un filtro de adsorción química, compuesto por óxido de hierro, el cual permitiría reducir el contenido de ácido sulfhídrico (H_2S) a 10 partes por millón (ppm), y

eliminar el vapor de agua que pueda contener el biogás, convirtiéndolo en apto para ingresar al motor, ya que el motor a biogás propuesto trabaja con porcentajes bajos en el contenido de metano de hasta un 40%, permite ahorrar la inversión en un proceso de generación de biometano (biogás con 90% de CH₄) con costos más elevados.

Al analizar el historial de consumo energético y realizar la comparación con los datos de las placas en los motores, se logra determinar que el generador necesario debe ser de al menos 50,000 Volt-Ampere. Por lo tanto, recurriendo a proveedores nacionales, se obtienen tres propuestas de plantas eléctricas, y se elige para el proyecto el tercer caso con un de marca TEDOM de 50KVA de potencia, es el más indicado para el proyecto, ya que trabaja con presiones bajas en el biogás y hasta con un mínimo de 40% de metano en su composición. Su vida útil es la mayor de los tres casos investigados, y cuenta con características que permiten estar expuesto a la intemperie.

No se debe, bajo ninguna circunstancia permitir que la red principal y la generada se encuentren conectadas simultáneamente, para esto el cableado de la planta de generación debe estar a conectada a un sistema de transferencia automática, el cual permita separar la corriente de la red principal, cuando se encienda el generador, y viceversa.

El tercer caso cuenta con un biodigestor de 2800 metros cúbicos con un valor de \$26000, una transferencia automática de 200 Amperes con un costo de \$2486, y un generador de 50 000 volt-Amperes modelo TEDOM V3800, por un monto de \$84166, para un costo de inversión de \$112652.69. Para el análisis financiero, se toma el cambio del dólar del Banco Nacional de Costa Rica a la fecha del primero de junio del 2020 correspondiente a ¢570.22. El proyecto cuenta con un valor de TIR positivo y mayor al 10%; así, se logra determinar que, en un plazo de veinte años, de ser implementado, este genera un ahorro de ¢156 988 173,943.5, correspondientes al no pago del servicio por parte del proveedor (ICE).

REFERENCIAS

(n.d.).

Allam, R., Bredsen, & Drioti, E. (2003). CO2 Separation Technologies. In *Carbon dioxide recovery and utilization* (pp. 53-118). Holanda: Kluwer Academic Publishers.

Allen, F., Myers, S., & Brealey, R. A. (2010). *PRINCIPIOS DE FINANZAS CORPORATIVAS (Novena Edición)*. Mexico: Mc Graw Hill.

Bikkazakova, I. R. (2010). *Programa de Biogás*. Costa Rica.

cengel, Yunus A, Boles, & Michael A. (2012). *termodinámica*. Mexico: MC Graw Hill.

Chapman, S. J. (2012). *Máquinas Eléctricas Quinta edición*. México: McGRAW-HILL.

CNFL. (n.d.). *Consejo Nacional de Fuerza y Luz*. Retrieved from Terminos eléctricos y de facturación generales:
https://www.cnfl.go.cr/documentos/eficiencia/terminos%20electricos_y_de_facturacion.pdf

Cordillera Products . (2019). *biodigestores bioflex*. Retrieved from Lista de Biodigestores:
<https://img1.wsimg.com/blobby/go/9fe208aa-4ca4-4bf9-9151-23774c26560a/downloads/Lista%20de%20modelos.%202019.pdf?ver=1570201568822>

Coto, J. E., Maldonado, J. J., Botero, R., & Murillo, J. V. (2007). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA GENERAR ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS EN LA FINCA PECUARIA INTEGRADA DE EARTH. *Tierra Tropical*, 132-133.

Díaz Valencia, A. B., & Toledo Méndez, C. (2008). *Diseño de un digestor anaerobico y propuesta de un sistema de generación electrica para el abastecimiento de un area de la dacbiol. Tabasco.*

Domínguez, L. P. (2006). *Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. Cuba-Punta Brava.*

Esquén Zamora, B. (2018). *Diseño de un sistema de generación de energia electrica utilizando el biogás dobtenido de la conversión del estiércol de ganado porcino en la granja MOCUPE, Distrito de lagunas- Chiclayo. Lambayeque-Perú.*

Fernández, E., & Roodríguez, S. (s.f). *Proceso de purificación biológica. In De Biogás a acompañante del petróleo .*
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/escolar13/HTML/artículo01.htm>. Retrieved from
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/escolar13/HTML/artículo01.htm>

Floyd, T. L. (2007). *Principios de Circuitos Eléctricos*. México: Prentice Hall.

Fluke corporate. (2020). *Fluke*. Retrieved from ¿que es la tensión?: <https://www.fluke.com/es-cr/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-mediciones/electricidad/que-es-la-tension>

Fluke Corporation. (2020). *Fluke*. Retrieved from ¿que es la corriente?: <https://www.fluke.com/es-cr/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-mediciones/electricidad/que-es-la-corriente>

FONDO FORMACIÓN. (2001). *Generadores de Corriente Alterna*. Fondo Formación.

- Grupo APCE. (2018, 01 03). *SISTEMAS ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS, BIFÁSICOS Y MONOFÁSICOS*. Retrieved from

<http://www.apcotech.com/BLOG/uncategorized/sistemas-electricos-trifasicos-bifasicos-y-monofasicos/#:~:text=Trif%C3%A1sico%20significa%20un%20sistema%20que%20da%203%20tensiones%20desfasadas%20120%20grados.&text=En%20realidad%20bif%C3%A1sico%20se%20refiere>,

Grupo ICE. (2014). *Grupo ICE*. Retrieved from Programa Biogás:
<https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/Electricidad/informacion/proyectos-energeticos/programa-biogas>

Herrero, J. M. (2019). Biodigestores Tubulares. In M. H. J., *Guía de Diseño y Manual de Instalación* (p. 33). ECUADOR: Creative Commons.

López, C. T. (2016, 5 31). *Cuaderno de cultura Científica* . Retrieved from Potencia electrica :
<https://culturacientifica.com/2016/05/03/potencia-electrica/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería/ infoagro. (2011, 11 15). Retrieved from Diseño de biodigestores y producción de electricidad:
<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>

Ministerio de Agricultura y Ganadería; Servicio Nacional de Salud Animal. (2010, Noviembre). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Retrieved from convenio de la cooperacion para el control de la contaminación Ambiental de la producción porcina en Costa Rica.:
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Q70-4056.pdf>

Ministerio de Ambiente y Energía. (2015, setiembre 14). *Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con fuentes renovables*. Retrieved from Decreto N° 39220-MINAE:
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos148918.pdf>

Moreno, M. T. (2011). *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura*. Retrieved from MANUAL DE BIOGÁS:
<http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

National Fire Protection association. (2014). *Código Electrico Nacional*.

Padilla Pérez, M. (2006, Setiembre). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*/. Retrieved from Algunas consideraciones sobre el manejo y utilización de los remanentes de granjas porcinas: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Q70-9265.pdf>

Pérez, H., & Villa, P. (2005). Desulburación Biológica. In *Una Alternativa para el Tratamiento de emisiones de gases a la Atmosfera* (pp. 17-20). Agua Latinoamérica.

Valerio García, M. A. (2010). *Diseño de un sistema para purificación del metano producido mediante biodigestión en el ITCR*. Cartago.

Varnero Moreno, M. T. (2011). Usos del biogás. In *Manual de Biogás* (p. 55). Santiago de Chile.

ANEXOS

Anexo 1. Producción de estiércol según etapa del cerdo

Cuadro 2. Producción Total de Heces y Orina según Etapa Productiva

CLASE	TAMAÑO KG	KG/DIA	% HUMEDAD
Lechón	16	1.04	91
Cerdo crecimiento	30	1.9	91
Cerdo engorde	68	4.4	91
Cerdo finalización	90	5.9	91
Cerda gestación	125	4.0	91
Cerda y camada	170	15.0	91
Verracos	160	5.00	91

Adaptado de Midcost Plan Service MLUPS-18. Los valores son heces y orina únicamente.

Anexo 2. Código Eléctrico Nacional

ARTÍCULO 430 — MOTORES, CIRCUITOS DE MOTORES Y CONTROLADORES

430.245

Tabla 430.250 Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna

Los siguientes valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas deben permitirse para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 1000 volts.

Caballos de fuerza	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado (Amperes)							Tipo sincrónico de factor de potencia unitario* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
1/2	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
3/4	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1 1/2	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7 1/2	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

*Para factores de potencia de 90 por ciento y 80 por ciento, las cifras anteriores se deben multiplicar respectivamente por 1.1 y 1.25.

Anexo 3. Ficha técnica Geomembrana

Durman[®] FT Geomembrana

Geomembranas PEAD

Son materiales de excelente calidad fabricadas exclusivamente con resina 100% virgen de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y específicamente diseñada para la producción de geomembranas flexibles. Está compuesta aproximadamente por un 97.5% de polietileno, 2.5% de negro de humo, además de antioxidantes y termoestabilizadores; no se emplean otros aditivos, rellenos o plastificantes. Tiene excelentes propiedades mecánicas, resistencia química y al agrietamiento ambiental, estabilidad dimensional, resistencia al envejecimiento por temperatura y a la radiación UV.



Geomembranas de PVC

Son una excelente opción para impermeabilización de losas de concreto (barreras de vapor). Entre sus características se encuentran las siguientes: excelente capacidad de sellado, resistencia química, apto para soldadura química o por calor.



Propiedad	GEOMEMBRANAS PEAD					GEOMEMBRANAS PVC		
	Método de ensayo (ASTM)	Unidad	1.0mm	1.5mm	2.0mm	Método de ensayo (ASTM)	Unidad	1.27mm
Espesor promedio mínimo	D 5199	mm	1.00	1.50	2.00	D 5199	mm	1.27 +/- 0.06
Espesor mín. (>10 lecturas)	D 5199	mm	0.90	1.35	1.80	n.a.	n.a.	n.a.
Densidad	D 1505	g/cm ³	0.94	0.94	0.94	D 792	g/cc	1.20
Resist. a la rotura	D 6693, TIPO IV	N/mm	29	44	58	D 882 Min	kN/m	20.3
Resist. a la fluencia	DUMBELL, 2 ipm	N/mm	15	22	30	D 751 Min	kPa	1030
Elongación a la rotura	G.L.=2.0 in	%	700	700	700	n.a.	n.a.	n.a.
Elongación a la fluencia	G.L.=1.3 in	%	13	13	13	n.a.	n.a.	n.a.
Resistencia al desgarro	D 1004	N	125	187	249	D 1004	N	58
Resist. al Punzonamiento	D 4833	N	380	570	704	n.a.	n.a.	n.a.
Conten. negro humo (rango)	D 1603	%	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	n.a.	n.a.	n.a.
Resist. agrietamiento (NCTL)	D 5397	Horas	1,000	1,000	1,000	n.a.	n.a.	n.a.
Tiempo inducción oxidación	D 3895	Min	>120	>120	>120	n.a.	n.a.	n.a.
Envejeci. horno/OIT retenido	D 5721/3895	%	55 / 80	55 / 80	55 / 80	n.a.	n.a.	n.a.
Envejeci. UV, OIT retenido	D 5885	%	>50	>50	>50	n.a.	n.a.	n.a.
Dimensiones del Rollo	Ancho	m	6.9	6.9	6.9	7.8		
	Largo	m	265.0	171.0	131.0	75.0		
	Área	m ²	1,819.0	1,171.0	899.0	581.3		

Anexo 4. Sistema de filtración de biogás para motores a gas natural

Estimado Señor:

Por este medio y de acuerdo con su solicitud, me permito detallarle nuestra Oferta para la instalación de un equipo para la cogeneración eléctrica con biogás.

El equipo esta diseñado para una capacidad de 50Kw y trabajara durante 12 horas al día

Para poder producir esta generación se requiere una disponibilidad de 400 metros cúbicos de biogás con una concentración mínima del 65% de metano

SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL BIOGAS:

Ante de utilizar el biogás como combustible del generador este debe ser tratado para lo cual se tiene que instalar los siguientes equipos.

- Filtro para la remoción del ácido sulfhídrico cuya concentración se recomienda no sea superior a 200 PPM
- Filtro para la deshidratación del biogás
- Compresor para biogás

Telefono (506) 2529 0918, Fax (506) 2292 7162, E-mail: atfsa@atfsacr.com
Apartado Postal 402 – 2200, SAN JOSE, COSTA RICA.

Anexo 5. Equipo para la remoción de ácido sulfhídrico



Especialistas en el Tratamiento de Aguas Residuales Industriales



EQUIPO PARA LA REMOCION DE ACIDO SULFIDRICO
Y AGUA DEL BIOGAS

Anexo 6. Generador KOHLER KG80

Alternator Specifications

Specifications	Alternator	
Manufacturer	Kohler	<ul style="list-style-type: none"> • NEMA MG1, IEEE, and ANSI standards compliance for temperature rise and motor starting. • Sustained short-circuit current of up to 300% of the rated current for up to 10 seconds. • Sustained short-circuit current enabling downstream circuit breakers to trip without collapsing the alternator field. • Self-ventilated and dripproof construction. • Superior voltage waveform from a two-thirds pitch stator and skewed rotor. • Windings are vacuum-impregnated with epoxy varnish for dependability and long life.
Type	4-Pole, Rotating-Field	
Exciter type	Brushless, Rare-Earth Permanent Magnet	
Leads: quantity, type	12, Reconnectable	
4P10X, 4R9X	4, 110-120/220-240 V	
4T9X	Solid State, Volts/Hz	
Voltage regulator	NEMA MG1	
Insulation:	Class H	
Material	130°C, Standby	
Temperature rise	1, Sealed	
Bearing: quantity, type	Flexible Disc	
Coupling	Full	
Amortisseur windings	±0.5%	
Voltage regulation, no-load to full-load		
One-step load acceptance	100% of Rating	
Unbalanced load capability	100% of Rated Standby Current	
Peak motor starting kVA:	(35% dip for voltages below)	
480 V 4P10X (12 lead)	275 (60 Hz)	
480 V 4R9X (12 lead)	385 (60 Hz)	
240 V 4T9X (4 lead)	237 (60 Hz)	

Engine

Engine Specifications	60 Hz	50 Hz
Manufacturer	Kohler	
Engine: model, type	KG6208TASD 6.2 L Turbocharged, Aftercooled	
Cylinder arrangement	V-8	
Displacement, L (cu. in.)	6.2 (378)	
Bore and stroke, mm (in.)	101.6 x 95.25 (4.00 x 3.75)	
Compression ratio	9.8:1	
Rated rpm	1800	1500
Max. power at rated rpm, kW (HP)		
Natural Gas	93.6 (126)	78 (105)
LPG	94.6 (127)	78.8 (106)
Cylinder head material	Cast Aluminum	
Piston type and material	Cast Aluminum	
Crankshaft material	Cast Iron	
Valve (exhaust) material	Forged Steel	
Governor type	Electronic	
Frequency regulation, no-load to full-load	Isochronous	
Frequency regulation, steady state	±1.0%	
Frequency	Fixed	
Air cleaner type, all models	Dry	

Anexo 7. Tabla de propiedades del Gas metano según el fabricante de KOHLER

Compound		Natural Gas			Propane		
		Low	High	Average	Low	High	Average
Methane	CH ₄	92	94.5	93.25	0	1.23	0.615
Ethane	C ₂ H ₆	1	4.5	2.75	2.22	10.12	6.17
Propylene	C ₃ H ₆			0			0
Propane	C ₃ H ₈	0.09	0.44	0.265	87.68	96.7	92.19
i- Butane	C ₄ H ₁₀	0	0.06	0.03	0.56	1.87	1.215
n- Butane	C ₄ H ₁₀	0	0.12	0.06	0.04	1.28	0.66
i- Pentane	C ₅ H ₁₂	0	0.02	0.01	0	0	0
n- Pentane	C ₅ H ₁₂	0	0.01	0.005	0	0	0
Hexane+	C ₆ H ₁₄	0	0.02	0.01	0	0	0
n- Heptane	C ₇ H ₁₆						
n- Octane	C ₈ H ₁₈						
n- Nonane	C ₉ H ₂₀						
n- Decane	C ₁₀ H ₂₂						
Hydrogen Sulfide	H ₂ S						
Carbon Dioxide	CO ₂	0.05	0.25	0.15	0.01	0.11	0.06
Nitrogen	N ₂	1.5	1.5	1.5	0.17	0.76	0.465
Oxygen	O ₂						
Water (gas)	H ₂ O						
NOTE: All units of measurement above are expressed as % by volume.							
Specific Gravity ($S_g = M_{gas}/M_{air}$ where $M_{air} = 28.964$ g/mol)		0.537	0.600	0.568	1.372	1.656	1.514
Wobbe Index ($I_w = HHV/\sqrt{S_g}$ where $HHV = BTU/SCF$)		1295	1359	1328	1935	2120	2030
Wobbe Index (MJ/Sm^3 ; 1000 Btu/scf = 37.3 MJ/Sm ³)		47.92	50.28	49.12	71.59	78.44	75.09
Low Heating Value (LHV), (Btu/cubic ft.)		857	952	904	2116	2563	2338
High Heating Value (HHV), (Btu/cubic ft.)		949	1053	1001	2266	2728	2497
The generator set manufacturer reserves the right to change the design or specifications without notice and without any obligation or liability whatsoever.							

Anexo 8. Consumo de combustible KOHER KG80

Operation Requirements

Air Requirements	60 Hz	50 Hz
Radiator-cooled cooling air, m ³ /min. (scfm) †	230 (8122)	192 (6780)
Combustion air, m ³ /min. (cfm)	5.3 (187)	4.4 (155)
Heat rejected to ambient air:		
Engine, kW (Btu/min.)	24 (1366)	20 (1138)
Alternator, kW (Btu/min.)	8.8 (500)	7.9 (450)
† Air density = 1.20 kg/m ³ (0.075 lbm/ft ³)		

Fuel Consumption ‡	60 Hz	50 Hz
Natural Gas, m³/hr. (cfh) at % load	Standby Ratings	
100%	34.0 (1202)	28.1 (993)
75%	29.2 (1032)	23.2 (821)
50%	22.7 (803)	16.5 (584)
25%	14.9 (527)	9.8 (347)
LP Gas, m³/hr. (cfh) at % load	Standby Ratings	
100%	14.7 (521)	11.4 (403)
75%	11.7 (413)	8.5 (300)
50%	7.7 (272)	6.0 (215)
25%	5.2 (183)	4.2 (149)

‡ Nominal fuel rating: Natural gas, 37 MJ/m³ (1000 Btu/ft.³)
 LP vapor, 93 MJ/m³ (2500 Btu/ft.³)

LP vapor conversion factors:

$$8.58 \text{ ft.}^3 = 1 \text{ lb.}$$

$$0.535 \text{ m}^3 = 1 \text{ kg.}$$

$$36.39 \text{ ft.}^3 = 1 \text{ gal.}$$

Anexo 9. Entrevista

Se le solicita al proveedor un motor de 50KVA para ciclo continuo, a lo que él responde:

De: Diego Morales <diego18497@gmail.com>

Enviado el: Lunes, 22 de junio de 2020 10:15

Para: Michael Guzman Fallas <michael.guzman@font.co.cr>

Asunto: Re: Diego Morales

excelente, muchas gracias
quedo atento

El lun., 22 jun. 2020 a las 10:12, Michael Guzman Fallas (<michael.guzman@font.co.cr>) escribió:

Adjunto el reporte correspondiente.

El fabricante recomienda el Generador KG80 de 80 kW en Standby, pero como se va a usar continuamente entra en la categoría prime por lo que se recomienda un KG100 de 100kW.

Voy a preparar la configuración para enviarle la cotización.

Cordialmente;



Michael Guzmán F.
Asistente Técnico División Industrial

Cel: +506 7109-1843.
michael.guzman@font.co.cr
Tel: +506 2296 9010 Ext. 7159

www.corporacionfont.com
Costa Rica • Nicaragua

Anexo 10. Motor General Motors

ALTERNATOR SPECIFICATIONS

Type	Four pole, rotating- field
Rotor Insulation	Class H
Temperature Rise	150°C Standby
Insulation Material	Class "H" High Grade Resin(VPI)
Line-To-Line Harmonic Factor (Max)	5%
Telephone Interference Factor (Tif)	1%
Voltage Regulator	Solid State
Cooling	Self-ventilated and drip proof
Bearing	1 each, Sealed
Coupling	Direct, Flexible Disc
Load Capacity (Standby)	100%
Overload Capacity (Prime)	110%
Voltage Regulation	
No Load To Full Load	± 0.25 %
One Step Load Acceptance	
Per NFPA 110	100%

ENGINE SPECIFICATIONS

Manufacturer	General Motors
Model	Vortec 5.7L
Bore	4.00 In (101.6 mm)
Stroke	3.48 In (88.4 mm)
Number Of Cylinders	V-8
Piston Displacement	350 cu.in. (5.7 L)
Compression Ratio	9.1 : 1
Combustion System	Spark Ignited
Engine Type	4 cycle
Aspiration	Natural
Piston Material	Cast Aluminum
Cylinder Head Material	Cast Iron
Crankshaft Material	Cast Nodular
Governor	Electronic Control
Frequency Regulation,	± 0.5 %
No Load To Full Load	Isochronous
Air Cleaner	Dry

Anexo 11. Consumo General Motors

AGM60SI

FUEL CONSUMPTIONS

			Stby 60Hz	Prime 60Hz	Stby 50Hz	Prime 50Hz
Natural Gas	Fuel Consumption @ 100% Power	ft ³ /hr (m ³ /hr)	790 (22.4)	748 (21.2)	640 (18.1)	604 (17.1)
	Fuel Consumption @ 75% Power	ft ³ /hr (m ³ /hr)	685 (19.4)	636 (18.0)	550 (15.6)	510 (14.4)
	Fuel Consumption @ 50% Power	ft ³ /hr (m ³ /hr)	520 (14.7)	486 (13.8)	415 (11.8)	387 (11.0)
	Fuel Consumption @ 25% Power	ft ³ /hr (m ³ /hr)	350 (9.9)	335 (9.5)	275 (7.8)	263 (7.4)

			Stby 60Hz	Prime60Hz	Stby 50Hz	Prime 50Hz
Propane Gas	Fuel Consumption @ 100% Power	ft ³ /hr (m ³ /hr)	330 (9.3)	298 (8.4)	280 (7.9)	256 (7.2)
	Fuel Consumption @ 75% Power	ft ³ /hr (m ³ /hr)	250 (7.1)	232 (6.6)	220 (6.2)	204 (5.8)
	Fuel Consumption @ 50% Power	ft ³ /hr (m ³ /hr)	190 (5.4)	179 (5.1)	165 (4.7)	154 (4.4)
	Fuel Consumption @ 25% Power	ft ³ /hr (m ³ /hr)	135 (3.8)	130 (3.7)	110 (3.1)	105 (3.0)

ARMSTRONG POWER SYSTEMS

Anexo 12. Generador TEDOM Biogás

Engine

The V3800 gas combustion engine, the product of TEDOM, used to drive the CHP unit has the basic parameters given in the table below:

Number of cylinders	4
Arrangement of cylinders	in line
Bore × Stroke	100 x 120 mm
Displacement	230 cui
Compression ratio	13 : 1
Speed	1800 rpm
Oil consumption, normal / max.	0.3/0.6 g/kWh
Max. engine power	40 kW

Generator

Electrical energy is supplied by the type ATEW 34/4 1S synchronous generator manufactured by Zanardi, Italy, with the basic parameters given in the table below:

Generator power	45 kVA
Cos φ	0.8 - 1
Efficiency in the working point	93,2 %
Voltage	208 / 480 V
Frequency	60 Hz

Anexo 13. Consumo de biogás TEDOM

Basic Technical Data

Description of CHP unit:

The CHP unit is intended for the natural gas combustion, S - fitted with synchronous generator operating in parallel to the grid.

	Imperial	Metric	With condenser	
			Imperial	Metric
Nominal electrical output		35 kW		35 kW
Maximum heat output	246,000 BTU	72.2 kW	272,000 BTU ¹⁾	79,8 kW ¹⁾
Fuel input	385,000 BTU	113 kW	385,000 BTU	113 kW
Heat Rate	11,000 BTU/kWe		11,000 BTU/kWe	
Electrical efficiency		31.0 %		31.0 %
Heat efficiency		63.9 %		70.6 %
Total efficiency (fuel utilization)		94.9 %		101.6 %
Gas consumption at 100% power	420 CFH	12.0 m ³ /h	420 CFH	12.0 m ³ /h
Gas consumption at 75% power	339 CFH	9.6 m ³ /h	339 CFH	9.6 m ³ /h
Gas consumption at 50% power	254 CFH	7.2 m ³ /h	254 CFH	7.2 m ³ /h

The Basic Technical Data are applicable for the standard conditions pursuant to the „Technical instructions“ document

The required min. permanent electrical power is 50 % of the rated power

Gas consumption is expressed under the invoicing conditions (15°C, 101.325 kPa / 59°F, 14.7 PSI; Low Heat Value of 912.18 BTU/CF)


The technical data are specified for the hydraulic circuit temperatures ranging within 65/85°C (149/185°F)

Gas consumption tolerance, or fuel input tolerance, at 100% load is +5%

Tolerances of other parameters are mentioned in "Technical Instructions-Validity of Technical Data" document.

1) Valid for return water temperature 35°C (95°F)

Anexo 14. Transferencia Automática



100-400 Amps

RTS Transfer Switches

Functions

All Timing and sensing functions originate in the generator controller

Utility voltage drop-out	< 60%
Timer to generator start	10 second factory set, adjustable between 10-30 seconds
Engine warm up delay	5 seconds
Standby voltage sensor	60% for 5 seconds
Utility voltage pickup	> 80%
Re-transfer time delay	15 seconds
Engine cool-down timer	60 seconds
Exerciser	12 minutes every 7 days

The transfer switch can be operated manually without power applied.

Specifications

Amps	100	200	400
Voltage	120/208, 3ø 120/240, 3ø 277/480, 3ø	120/208, 3ø 120/240, 3ø 277/480, 3ø	120/208, 3ø 120/240, 3ø 277/480, 3ø
Load Transition Type (Automatic)	Open Transition	Open Transition	Open Transition
Enclosure Type	NEMA 3R	NEMA 3R	NEMA 3R
Withstand Rating (Amps)	10,000 14,000 14,000	10,000 25,000 25,000	18,000
Lug Range	2/0 - #14	400 MCM - #4	600 MCM - #4 or 2-250 MCM

Anexo 15. Cotización generador primer caso



Cédula Jurídica: 3-101-008736
Tel: (506) 2296-9010 Fax: (506) 2220-1854

www.corporacionfont.com

Página 2 de 5

Cotización No. 329132

1- MOTOR:

El motor incluido en este grupo tiene las características siguientes:

-Fabricante:	KOHLER	-Nº de Cilindros:	V8
-Modelo:	KG6208TASD 6.2L	-Desplazamiento:	6.2 Litros
-Aspiración:	Turbo cargado-post enfriado	-Diámetro/Carrera:	101.6 mm x 96.25 mm
-Regulación:	Electrónica Isocrónica	-Velocidad Rot.:	1800 Rpm

Además, el motor estará equipado de los elementos siguientes:

- Gobernador electrónico isocrónico con regulación de frecuencia en estado estable de +/-0.25%.
- Batería de 12 VDC, servicio pesado, 1/ 650 CCA c/u.
- Cargador de baterías de 12 VDC-6 AMP tipo equalización y flotación, compensación por temperatura.

2- GENERADOR: 385 KVA de arranque @ 35% caída de tensión (480 V).

El generador de tendrá las características siguientes:

-Tipo:	4 polos, 120 V.	-Regulador:	Volts/Hz
-Cumple:	NEMA MG1, IEEE, ANSI.	-Capacid. corto circuito:	300% I _n / 10 seg.
-Tipo de excitación:	PMG.	-Regulación tensión:	+/- 0.25%
-Modelo:	4R9X	-Aislamiento:	Clase H UL1446

Anexo 16. Generador tercer caso

Cédula Jurídica: 3-101-008736
 Tel: (506) 2296-9010 Fax: (506) 2220-1854

www.corporacionfont.com

Página 4 de 5

Cotización No. 329132

6- ELEMENTOS OPCIONALES INCLUIDOS EN EL SUMINISTRO

Además del suministro estándar, se está cotizando en esta oferta el suministro de los elementos siguientes:

- Documentación completa: manual de operación y mantenimiento en inglés.
- Protección contra los contactos de las partes en rotación.
- Refrigerante (coolant) y aceite lubricante.
- Asesoría para la instalación.

(*) Artículo exonerado del IVA

SUBTOTAL	23,600.00
(+) Impuesto (IVA)	3,068.00
PRECIO TOTAL (DOLARES)	26,668.30

Anexo 17. Generador segundo caso



CED. JUR: 3-102-721479
 San Pedro de Poás, Alajuela, CR
 TEL: (506)2448-6183
www.companiavega.com / info@companiavega.com

TEDOM GROUP

Puesta en marcha.

Diagrama eléctrico y manual de servicio, montaje y cimentación.

COSTO DE LOS EQUIPOS:

PLANTA ELECTRICA		
Unidad	Descripción	costo
1	Planta Eléctrica de 30KW, control digital. (venta a cliente final.	\$22281.00USD
1	Transporte Costa Rica.	\$2900.00USD
1	Impuestos.	\$2896.53USD
	Total	\$28.077,53USD

Anexo 18. Generador tercer caso



CED. JUR: 3-102-721479
San Pedro de Poás, Alajuela, CR
TEL: (506)2448-6183

www.companiavega.com / info@companiavega.com

TEDOM GROUP

COSTO DE LOS EQUIPOS:

PLANTA ELECTRICA		
Unidad	Descripción	costo
1	Planta Eléctrica de 35KW, control digital. (venta a cliente final \$84602).	\$70501.50USD
1	Transporte Costa Rica.	\$4500.00USD
1	Impuestos.	\$9165.19USD
	Total	\$84.166,69USD

DESCRIPCION DEL EQUIPO:

Estimado Señor: A continuación, le presentamos información sobre nuestros equipos Plantas Eléctricas Biogás de 35kw a 220, 480V, 60 Hz. Marca TEDOM fabricada 100% en Europa, con las normas de calidad ISO 9001, ISO 14001, CE, UL, IEEE.

- Planta eléctrica compuesta de un motor de cuatro tiempos con 4 cilindros en "L", tipo industrial estacionario, acoplado a un generador CA, controles y accesorios montados y probados totalmente en fabrica.
- A 3 fases, 4 hilos, 60 Hertz, compuesta por un motor TEDOM de cuatro tiempos acoplado a un generador CA síncrono, controles y accesorios totalmente montados y probados de fábrica.



Anexo 19. Sistema de transferencia automática



Cédula Jurídica: 3-101-008736
Tel: (506) 2296-9010 Fax: (506) 2220-1854

www.corporacionfont.com

Página 1 de 2

Cotización No. 329319

29 de Junio del 2020

Señor(a) (es)

CERDOS EL PORÓ (99)

Presente

Atención: Señor(a) DIEGO MORALES

Tel: 22220000 / Fax:

Id Mercadeo:

Asunto/Referencia:
TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA

Estimado (a) (s) Señor (a) (es):

Tenemos el agrado de presentar para su evaluación nuestra cotización por el siguiente concepto:

Código	Descripción	Cant.	Precio/Unit.	Total
10612	TRANSFERENCIA 200A ID 3 POLOSTRIFASICA 208V	1.00	2,200.00	2,200.00

Interruptor de transferencia, completamente nueva, equipada de acuerdo a las hojas de especificación adjuntas y las siguientes características.

(*) Artículo exonerado del IVA

SUBTOTAL.....	2,200.00
(+) Impuesto (IVA).....	286.00
PRECIO TOTAL (DOLARES)	2,486.00

Anexo 20. Vida útil de motores

Info Compañia Vega <info@companiavega.com>
para mí

8:53 (hace 10 minutos) ☆ ↶ ⋮

Buenos días.

El equipo Tedom Original para Biogás tiene 65 000 horas de vida útil, las otras máquinas de gas natural adaptado tienen 12 000 horas de vida útil.

El consumo de biogás depende de las características del mismo, cantidad de metano presente, no todos los sustratos tienen el mismo metano, se requiere de un estudio del gas para dar esta respuesta, en aproximado medio metro cubico por cada kw hora.

En ninguno de nuestros motores se necesita Blower, a la presión mínima funciona nuestro equipo.

Cualquier duda o consulta con mucho gusto.


Saludos Cordiales

Nicolas Vega Alfaro.

Director Comercial.

Compañía Vega AN S.A.

Anexo 21. Tarifa de cobro según ARESEP

 **ARESEP** AUTORIDAD REGULADORA DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS

Twitter YouTube Facebook WhatsApp CHAT

Inicio **Quiénes somos** **Transparencia** **Servicios Regulados** **Participación ciudadana** **Operadores** **SIR**

Exportar a Excel Exportar a CSV Exportar a JSON Exportar a PDF

Mes	Año	Empresa	Tipo Tarifa	Descripción Tarifa	Bloque	Tarifa
Dic	...	L...	...			
Diciembre	2019	ICE	T-IN	Industrial	a. Consumo de Energía menor o igual a 3000 kWh	124,98
Diciembre	2019	ICE	T-IN	Industrial	b. Consumo de Energía cada kWh	74,79
Diciembre	2019	ICE	T-IN	Industrial	c. Consumo de Potencia cada kW	12 360,98

Fuente: (ARESEP).

