UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO-BIOMASA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO EL CHACO UBICADO EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA"

Presentado Por:

Bach. MARVIN ANDERSSON ROJAS ROMERO

Asesor:

Ing. JULCA OROZCO TEOBALDO

LAMBAYEQUE – PERÚ

Marzo del 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA

"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO-BIOMASA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO EL CHACO UBICADO EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA"

Presentado Por:

Bach. MARVIN ANDERSSON ROJAS ROMERO

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: DR. ANIBAL JESUS SALAZAR MENDOZA

SECRETARIO: M.Sc. FREDY DAVILA HURTADO

MIEMBRO: Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

ASESOR: Ing. TEOBALDO JULCA OROZCO

Lambayeque – Perú

Marzo del 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

TITULO

“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO- BIOMASA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO EL CHACO UBICADO EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA”

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**.**

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**.**

AUTOR: Bach. MARVIN ANDERSSON ROJAS ROMERO

PRESIDENTE	SECRETARIO
MIEMBRO	ASESOR

Lambayeque – Perú

Marzo del 2019

DEDICATORIA

De manera especial a Dios ya que sin él nada es posible.

A Mis Padres Héctor y Silvia por el apoyo incondicional que me brindaron durante la investigación, por sus consejos y valores que me inculcaron desde niño y la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi esposa e hija por su amor incondicional, motivación y tolerancia, personas por el cual ha sido motivo de ímpetu durante estos últimos meses, pero más que nada, por su amor brindado en todo momento.

A mis hermanos Luis y Héctor, por estar siempre a mi lado mostrándome su apoyo en la vida y realización del presente trabajo.

Bach. MARVIN ANDERSSON ROJAS ROMERO

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien nos da la salud y las fuerzas para seguir adelante en nuestra formación académica y espiritual. Por las infinitas bendiciones que nos da a lo largo de mi vida.

A toda mi familia quienes supieron comprenderme y brindarme fuerzas en este logro, a su vez por el impulso y apoyo en todo momento para continuar y cumplir mis objetivos.

Mi sincero agradecimiento a todos nuestros docentes que participan en nuestra formación para poder lograr cumplir la meta trazada de obtener el título de ingeniero mecánico electricista.

A mi asesor el Ing. Julca Orozco Teobaldo por haberme brindado su ayuda compartiendo sus conocimientos necesarios para la ejecución de mí proyecto.

A la Universidad Pedro Ruiz Gallo por su gran interés sobre la investigación y por haberme formado con las capacidades y habilidades que permitan desarrollarme profesionalmente.

Bach. MARVIN ANDERSSON ROJAS ROMERO

RESUMEN

El objetivo principal de la presente tesis fue dimensionar un sistema eólico - biomasa para suministrar de energía eléctrica al Caserío el Chaco, el tipo de investigación fue aplicada pues se trata de aplicar los conocimientos ingenieriles para solucionar un problema de la vida real y mejorar la calidad de vida de los habitantes del caserío el Chaco. La energía promedio que se deberá suministrar a las unidades de vivienda y alumbrado público del caserío EL Chaco es de 52,380 kWh el cual será suministrado por un grupo electrógeno que trabaja con biogás y por un aerogenerador ENAIR de 3,0 kW. Se dimensiono el sistema eólico el cual utilizara un aerogenerador ENAIR de 3,0 kW, 16 baterías ROLLS de 503 Ah, 01 inversor MUST SOLAR de 10 kW y que suministrara energía eléctrica al Local comunal. Se dimensiono el sistema con biomasa, el biodigestor tiene un volumen de 44,48 m^3 produciendo una cantidad de 20, 05 m^3 de biogás el cual será el combustible del grupo electrógeno de 10 kW. Que suministrara energía eléctrica a las 25 unidades de vivienda y el alumbrado público. El Costo referencial para el sistema propuesto es de eólico - biomasa es de S/. 254 589,74

Palabras claves: Biogás, biodigestor, aerogenerador, viento

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to design a wind-biomass system to supply electricity to Caserío el Chaco, the type of research was applied because it involves applying engineering knowledge to solve a real-life problem and improve the quality of life of the inhabitants of the Chaco hamlet. The average energy that should be supplied to the housing and public lighting units of the EL Chaco farm is15,40 kWh, which will be supplied by a generator that works with biogas and by a ENAIR 3,0 Kw wind turbine. The wind system was dimensioned which would use a 1,5 kW ENAIR wind turbine, 16 ROLLS of 503 Ah, 01 MUST SOLAR inverter of 10 kW and that would supply electric energy to the Local community. The system was dimensioned with biomass, the biodigester has a volume of 44,48 m^3 producing an amount of 20,05 m^3 of biogas which is the fuel of the 10 kW generator set. that will supply electricity to the 25 housing units and public lighting. The reference cost for the proposed system is wind - biomass is S/. 254 589,74

Keywords: Biogas, biodigester, wind turbine, wind

ÍNDICE

DEDICATORIA IV
AGRADECIMIENTO V
RESUMEN VI
ABSTRACT VII
ÍNDICE VIII
ÍNDICE DE TABLAS X
ÍNDICE DE FIGURAS XI
INTRODUCCIÓN 1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 2
1.1. Realidad Problemática 2
1.2. Formulación del Problema 2
1.3. Delimitación de la Investigación 2
1.3.1. Delimitación espacial 2
1.3.2. Delimitación temporal 6
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS 6
1.5. Limitaciones de la TESIS 7
1.6. Objetivos de la TESIS 8
1.6.1. Objetivo General 8
1.6.2. Objetivo Específicos 8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 9
2.1. Antecedentes de Estudios 9
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado 17
2.2.1. Energías renovables 17
2.2.2. Sistema Híbrido Eólico – Biomasa 24
2.2.3. Grupo Electrógeno. 48
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada. 56
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO 61
3.1. Tipo y diseño de investigación 61
3.2. Población y muestra 61
3.3. Hipótesis 61
3.4. Operacionalización de variables 62

3.5. Métodos y Técnicas de investigación 63
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados 63
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN 64
4.1. Propuesta de la investigación 64
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 66
5.1. Demanda de energía eléctrica en el caserío el Chaco. 66
5.1.1. Consumo de energía necesaria diaria (Wh/día) 66
5.2. Dimensionamiento del sistema eólico 78
5.2.1. Evaluación del recurso eólico en el caserío el Chaco 70
5.2.2. Energía que puede entregar el aerogenerador 76
5.2.3. Dimensionamiento del banco de baterías 79
5.2.4. Dimensionamiento del inversor 81
5.3. Dimensionamiento del sistema con Biomasa 81
5.3.1. Calculo de la producción de biogás y generación de energía eléctrica 81
5.3.2. Volumen del biodigestor 85
5.3.3. Selección del grupo electrógeno 90
5.4. Dimensionamiento del sistema de distribución eléctrica 93
5.4.1. Cálculos eléctricos 94
5.4.2. Cálculo de caída de tensión 95
5.4.3. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes 97
5.5. Presupuesto: 103
5.5.1. Suministro de materiales para el sistema Híbrido Eólico – Biomasa 103
5.5.2. Metrado y presupuesto de la red de distribución secundaria 104
5.5.3. Presupuesto Total 105
CAPITULO VI: CONCLUSIONES 106
6.1. Conclusiones 106
BIBLIOGRAFÍA 107
ANEXOS 111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Operacionalización de Variables 62
Tabla N° 2: Instrumentos para cada técnica 63
Tabla N° 3: taza de crecimiento para el departamento de Cajamarca 66
Tabla N° 4: Energía promedio diario para las unidades de vivienda del caserío el Chaco 69
Tabla N° 5: Consumo de energía promedio diaria para el local comunal en el caserío el Chaco 69
Tabla N° 6: Frecuencia de la velocidad del viento..... 71
Tabla N° 7: Valores para graficar y elaborar el reajuste lineal 73
Tabla N° 8: Frecuencia en horas de velocidad del viento. 75
Tabla N° 9: Energía obtenida del aerogenerador para una altura de 12m 77
Tabla N° 10: Clasificación de ganado vacuno por edad..... 82
Tabla N° 11: Ganado vacuno en el caserío el Chaco..... 82
Tabla N° 12: masa de estiércol producido al día 82
Tabla N° 13: Producción de biogás unitaria 84
Tabla N° 14: Cantidad de biogás producido..... 84
Tabla N° 15: Cálculos para la mezcla 1:1 85
Tabla N° 17: Aportación de cada una de las energías a la carga..... 93
Tabla N° 18: Características eléctricas de los conductores eléctricos seleccionados..... 95
Tabla N° 19: Caída de tensión 96
Tabla N° 20: Distancias mínimas de seguridad al terreno..... 97
Tabla N° 21: Hipótesis de estado 97
Tabla N° 22: Características de los cables autoportantes..... 100
Tabla N° 23: flecha para el vano básico..... 101
Tabla N° 24: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema Eólico - Biomasa 103
Tabla N° 25: costo directo sistema eólico biomasa..... 104
Tabla N° 26: Presupuesto de Redes Secundarias 104
Tabla N° 27: Costo Total del Proyecto 105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación del caserío el Chaco En Huambos 3
Figura N° 2: Temperatura máxima y mínima promedio en Huambos..... 4
Figura N° 3: Velocidad promedio del viento mensual..... 6
Figura N° 4: Energía solar térmica 19
Figura N° 5: Energía Fotovoltaica 19
Figura N° 6: Sistema de generación de energía eólica 20
Figura N° 7: Energía de la Biomasa 21
Figura N° 8: Energía geotérmica 22
Figura N° 9: Energía Hidráulica..... 23
Figura N° 10: Energía Mareomotriz 23
Figura N° 11: Composición química del Biogás 27
Figura N° 12: Biodigestor Planta de Globo..... 30
Figura N° 13: Biodigestor Planta de Domo Fijo 31
Figura N° 14: Biodigestor Planta de Tambor Flotante 32
Figura N° 15: Tasa de producción de Biogás..... 36
Figura N° 16: Aerogeneradores de Eje Horizontal 40
Figura N° 17: Aerogenerador de eje vertical 41
Figura N° 18: Partes del Aerogenerador 43
Figura N° 19: Tipos de Baterías. 48
Figura N° 20: Partes del Grupo Electrógeno. 51
Figura N° 21: Sistema de Alimentación del combustible. 54
Figura N° 22: Sistema de conversión de motor Gasolina a Biogás. 55
Figura N° 23: Sistema de conversión de motor Diésel a Biogás 56
Figura N° 24: Relación entre la velocidad del viento y la Frecuencia relativa . 72
Figura N° 25: Reajuste lineal..... 74
Figura N° 26: Distribución de Weibull..... 75
Figura N° 27: Curva de potencia del aerogenerador ENAIR de 1,5 kW 77
Figura N° 28: Batería ROLLS de 503 A.h..... 80
Figura N° 29: Biodigestor 87
Figura N° 30: Grupo electrógeno..... 91
Figura N° 31: Sistema Biogas-Eólico 94

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada **“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO-BIOMASA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO EL CHACO UBICADO EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA”** El desarrollo de esta tesis consigna una serie de capítulos que se presentan a continuación:

El Capítulo I, explica el planteamiento del problema, formando parte de ello la descripción de la situación actual, la delimitación y los objetivos.

En el capítulo II, el marco teórico de la investigación, la teoría que sustenta la investigación; el cual está compuesto por los antecedentes, la temática desarrollada producto de la revisión de literatura de acuerdo a las variables e indicadores.

En el Capítulo III, se explica la metodología de la investigación tomando en consideración los siguientes puntos: El tipo de investigación, la población, técnicas de investigación, así como el análisis estadístico de los datos.

Capitulo IV, se presenta la propuesta que dará solución a la realidad problemática.

Capítulo V, se presenta el análisis e interpretación de los resultados de las evaluaciones técnicas y económicas, tomando en cuenta los resultados de los 3 cálculos realizados, análisis de agua, para la interpretación de los cuadros y gráficos. Finalmente se da a conocer las conclusiones a las que se llegaron, adjuntándose además los respectivos anexos.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

El caserío el Chaco ubicado en el distrito de Huambos cuenta con 25 viviendas, 01 local comunal, no cuenta con el servicio de energía eléctrica, en esta tesis se considera el uso de un sistema eólico - biomasa con la finalidad de suministrar de energía eléctrica de dicho caserío, contribuir a la disminución de la contaminación ambiental y contribuir a la mejora de la calidad de vida a los habitantes del caserío.

1.2. Formulación del Problema

¿Con el dimensionamiento de un sistema eólico - biomasa se logrará suministrará de energía eléctrica al caserío el Chaco ubicado en el distrito de Huambos perteneciente a la provincia de Chota en Cajamarca?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

La presente tesis se realizó en el caserío el Chaco ubicado en el distrito de Huambos perteneciente al departamento de Cajamarca.

<u>El distrito de Huambos</u>

El **Distrito de Huambos** es uno de los diecinueve distritos que conforman la Provincia de Chota, ubicada en el Departamento de Cajamarca, bajo la administración del Gobierno regional de Cajamarca, en el norte del Perú. Limita por el norte con el río Chotano, en el sitio Chongomarca; por el este,

desde Lanchiconga hasta la quebrada llamada Pisgapunchan, desde allí al Naranjo, Sacracocha y al cerro Cuchumalca y Quisquish para llegar al río Chotano; por el sur, con el límite de la hacienda Cutervillo hasta los límites de la hacienda Chancay en la cordillera de San Cristóbal; y por el oeste con la hacienda Huarimarca, hasta el río Sirato.

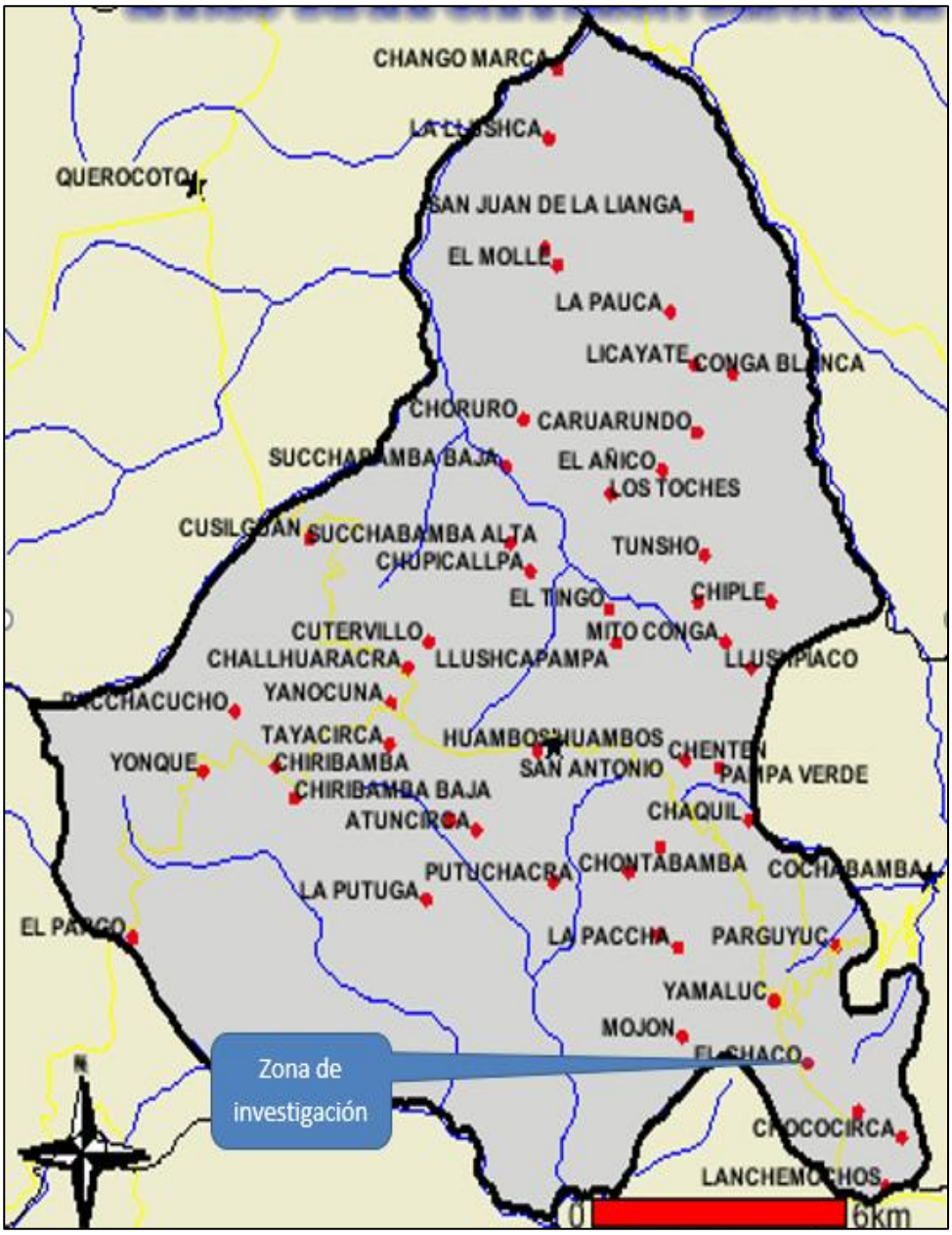

Figura N° 1: Ubicación del caserío el Chaco En Huambos[1]

[1] https://chota.webcindario.com/Datos_Chota/Distritos/huambos.htm

Temperatura[2]

La temporada templada dura 3,2 meses, del 3 de enero al 11 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 22 °C. El día más caluroso del año es el 24 de febrero, con una temperatura máxima promedio de 23 °C y una temperatura mínima promedio de 11 °C.

La temporada fresca dura 1,8 meses, del 4 de junio al 29 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 21 °C. El día más frío del año es el 21 de julio, con una temperatura mínima promedio de 7 °C y máxima promedio de 21 °C.

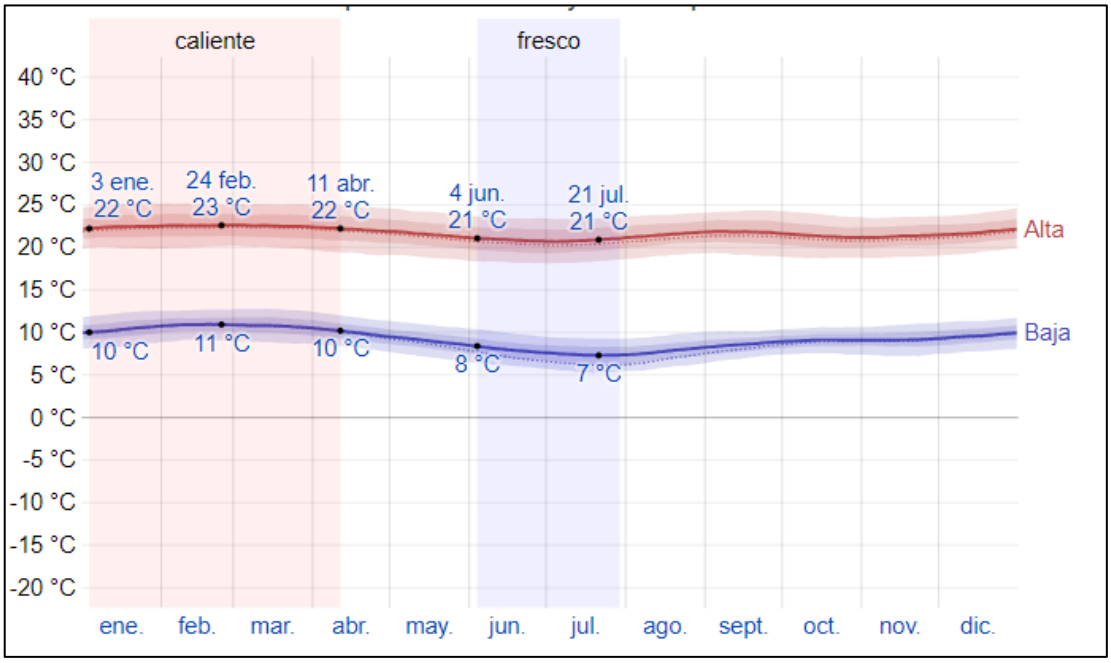

Figura N° 2: Temperatura máxima y mínima promedio en Huambos[3]

[2] https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o

[3] Fuente: https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o

Viento[4]

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Huambos tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 3,4 meses, del 9 de junio al 23 de septiembre, con velocidades promedio del viento de más de 8,1 kilómetros por hora. El día más ventoso del año en el 1 de agosto, con una velocidad promedio del viento de 9,9 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 8,6 meses, del 23 de septiembre al 9 de junio. El día más calmado del año es el 18 de abril, con una velocidad promedio del viento de 6,4 kilómetros por hora.

[4] https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o

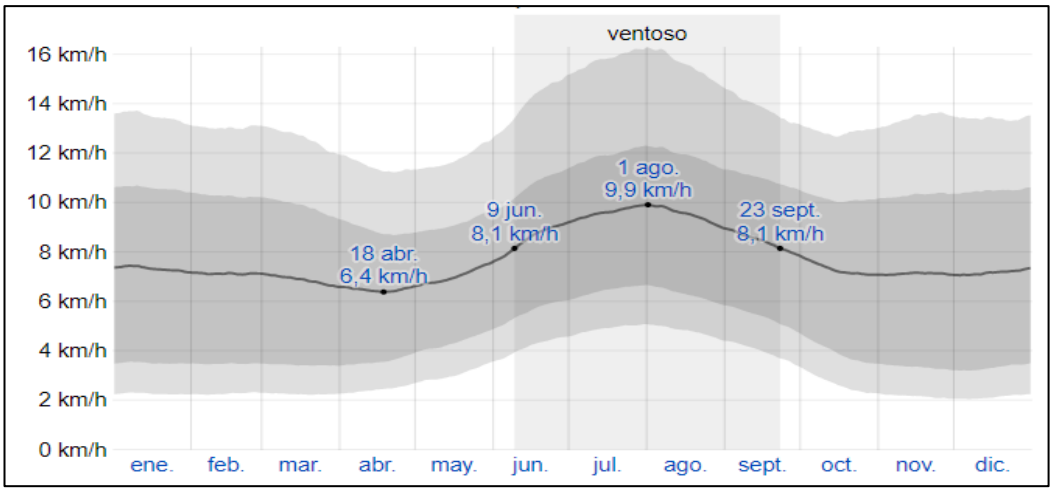

Figura N° 3: Velocidad promedio del viento mensual[5]

1.3.2. Delimitación temporal

El tiempo que duro la investigación fue de 05 meses.

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

El desarrollo e implementación de esta tesis resulta de mucha importancia pues la usencia de energía eléctrica evita que un caserío se desarrolle y la calidad de vida sea extrema.

Justificación Científica.

Se justifica porque haciendo uso de las teorías científicas en lo referente a sistemas eólicos y fotovoltaicos, se aplica los conocimientos. Este tipo de investigación nos permite fomentar el uso de estas energías renovables como nuevas fuentes de estudio científico.

[5] Fuente: https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o

Justificación Ambiental

La reducción de consumo de combustible tiene como consecuencia directa la disminución de las emisiones de $C0_2$, por lo cual justifica realizar el proyecto, pues no produce impacto ambiental negativo.

Justificación Social

Con el desarrollo y la posterior ejecución de esta tesis se logrará obtener elementos de producción de energía (calor, luz, electricidad), para mejorar la calidad de vida de los habitantes medio de la generación de energía y guano fertilizante. Solucionando el servicio de energía eléctrica en localidades rurales inaccesibles.

Justificación Técnica

La electrificación del caserío el Chaco, se justifica técnicamente debido a que existen mecanismos de tecnología de última generación en aerogeneradores y biodigestores, en el cuál con un correcto dimensionamiento, se logra el objetivo deseado.

La generación de energía eléctrica con biogás permitirá alcanzar grandes mejoras en el procedimiento y utilización de los desechos orgánicos en el caserío el Chaco.

1.5. Limitaciones de la TESIS

Se ha considerado datos de la estación meteorológica automática de CHOTA

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Dimensionar un sistema eólico - biomasa para suministrar de energía eléctrica al Caserío el Chaco.

1.6.2. Objetivo Específicos

a) Calcular la demanda de energía eléctrica promedio diario proyectada y la máxima demanda en el caserío el Chaco.

b) Dimensionar los equipos del sistema eólico.

c) Dimensionar el sistema con biomasa.

d) Dimensionar el sistema de distribución secundaria.

e) Presupuestar del sistema eólico - Biomasa.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Según **ASPRILLA MOSQUERA (2016)** en su tesis de Maestría titulada "ESTUDIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍA RENOVABLE (SOLAR – GASIFICACIÓN DE BIOMASA) COMO ALTERNATIVA PARA SATISFACER NECESIDADES ENERGÉTICAS EN ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ" nos dice que el uso de las energías renovables nace como alternativa para dar solución a los problemas de interconexión eléctrica que se presenta en el mundo, especialmente en las zonas apartadas debido a su difícil acceso; otra razón importante por la cual implementar este tipo de energías es la disminución de los combustibles fósiles (o fuentes no renovables) que se viene presentando, dentro de los cuales está el petróleo, el carbón y el gas natural; combustibles que por uso son grandes contribuyentes en el incremento progresivo de la temperatura del planeta. La implementación de energías renovables que son amigables con el medio ambiente garantiza un desarrollo sostenible y eficiente.

En Colombia, la cobertura del servicio de energía eléctrica para el año 2 011 cubría 11 722 128 usuarios. El 95,8% que equivale a 11 229 000 usuarios tenían acceso al servicio de energía eléctrica; mientras que el 4,2% de la población, equivalente a 493 128 usuarios, los cuales pertenecen a las Zonas

No Interconectadas, no tienen acceso al servicio de energía eléctrica (UPME PIEC 2 014).

En este trabajo se define un sistema híbrido, constituido por un arreglo de paneles y gasificador de biomasa como fuentes renovables de generación, un motor de combustión interna, un banco de baterías para el almacenamiento de energía e inversores DC/AC. A partir de la propuesta se determinó la disponibilidad del recurso solar y de los recursos de biomasa en el Departamento del Chocó.

Los resultados muestran que la implementación de sistemas híbridos (Solar – Biomasa) constituye un sistema de generación de energía autónomo y complementario, de manera que en ausencia de sol el sistema de gasificación suple la demanda requerida y viceversa, además la disminución en los costos que han venido presentando los equipos de energías renovables son motivantes para proceder con la implementación. (ASPRILLA MOSQUERA 2016).

Así mismo **VALIENTE PIEL (2 015)** en su tesis de maestría titulada "MODELACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR TÉRMICO - BIOMASA PARA CALEFACCIÓN DOMICILIARIA EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO" nos menciona que en este estudio, se simuló un sistema híbrido de calefacción basado en energía solar, eólica y combustión de biomasa, para mantener a 18 °C, una construcción de 32 m^2 con un volumen de aire de 76.8 m^3 de superficie, ubicada en la ciudad de Chillán, Chile (latitud 36,6° sur).

El periodo de calefacción considerado, fue durante los meses de abril a octubre. El sistema se dimensionó para cubrir en un 60 % la carga térmica mediante combustión de leña, para el mes de mayor carga térmica, que

resultó ser julio, con $1{,}46x10^6$ kJ/mes comparó la disminución de material particulado (MP) emitido a la atmósfera y el ahorro en salud pública, en relación a un sistema que sólo consideraría biomasa para calefacción. El sistema está conformado por un aerogenerador (AG) de 1 kW de potencia, una estufa a leña y un campo de 10 colectores solares térmicos de tubos de vacío de 2,47 m^2 se encuentra conectado a un banco de resistencias insertado en un estanque de 0.5 m^3 capacidad, que también es alimentado por el campo de colectores solares. Desde el estanque se distribuye agua caliente a un circuito con radiadores para calefaccionar la vivienda, regulado por un termostato.

El sistema fue modelado con el software TRNSYS. El volumen de leña ahorrado en el año fue de 0,73 m^3. Se cada uno. El AG, lo que significa dejar de emitir un 52% de MP a la atmósfera (16,7 kg de MP), implicando un ahorro en salud pública de 1 018 US$/año. Los costos de implementación del sistema alcanzan a 12 793 US$ aproximadamente. Para el mes de julio, el aporte de energía solar y eólica fue de $5{,}05x10^5$ kJ/mes y $2{,}21x10^5$ kJ/mes respectivamente, mientras que el calor aportado por los radiadores fue de $5{,}80x10^5$ kJ/mes y $8{,}82x10^5$ kJ/mes por combustión de biomasa. Lo que significó tener un porcentaje de energía aportado por las fuentes solar, eólica, radiadores y biomasa de 0,35; 0,15; 0,40 y 0,60% respectivamente, para el mes de julio. (VALIENTE PIEL 2015)

De tal forma **ESCARES MARTINEZ (2014)** en su tesis de grado titulada "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE BIOMASA FORESTAL COMO MEDIO DE CALEFACCIÓN Y ACS EN VIVIENDAS SOCIALES" nos explican que Las bioenergías o energías

renovables existentes de tiempos inmemorables en nuestro planeta, son una fuente inagotable y limpia de producir energía, su estudio, conocimiento y explotación nos están ayudando a mitigar los efectos de la contaminación en nuestro planeta, y a sustentar el equilibrio energético necesario, debido al aumento de población y consumo energético mundial.

Particularmente, la biomasa es una de las fuentes energéticas renovables con mayor potencial de crecimiento durante las próximas décadas. Según los señalado Cerdá (2012) en todo el mundo, la aportación actual de la biomasa se sitúa en torno al 10% del total de producción de energía.

El presente proyecto tiene por objetivo estudiar la factibilidad de implementar un sistema de calefacción y ACS para un grupo de viviendas sociales, mediante la utilización de Biomasa forestal, el sistema será evaluado y diseñado en base a los cálculos de demanda energética de dicha población.

Además en este proyecto de tesis se evaluarán las ventajas y desventajas de la utilización de biomasa, la disponibilidad de materia prima existente en Chile y específicamente en la zona urbana donde se emplaza el proyecto habitacional, se presenta también un detalle de algunas de las caldera existentes en el mercado Chileno y la evaluación de la mejor de las opciones que cumpla con todos los requisitos necesarios para la optimización de los recursos.

Finalmente se realizará una evaluación económica, en una primera instancia comparativa con respecto a los combustibles más utilizados en el mercado actual y finalmente una evaluación de los costos requeridos adicionales por concepto de instalación del sistema. (ESCARES MARTINEZ 2014)

Contexto Nacional

De igual manera **ORTIZ NUÑEZ (2 017)** en su tesis de grado titulada “DISEÑO DE UNA CENTRAL ELÉCTRICA DE BIOMASA CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA PUNO, EN EL CERRO DE CANCHARANI - DEPARTAMENTO DE PUNO” que en la presente tesis de grado, se analiza el aprovechamiento de la biomasa en el vertedero no controlado de Cancharani (RSU) en forma de biogás, la obtención de la misma, propiedades, ventajas medioambientales y la utilización para la generación de energía eléctrica. El Botadero de Cancharani, sitio de disposición final de los residuos sólidos urbanos producidos por la ciudad de Puno, escogida para realizar el estudio de producción de biogás, su recuperación, posible reubicación de dicho vertedero.

La cantidad de gas estimada a ser obtenida del Botadero de Cancharani, se calculó a partir de la, “Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las emisiones de Aire” - (HIOBE – Sociedad Pública de gestión Ambiental). Para el uso de esta guía debemos conocer el promedio anual de recepción de residuos sólidos urbanos, El número de años que el relleno sanitario lleva abierto o que lleva cerrado, sin recibir residuos sólidos urbanos, entre otros parámetros.

Una vez Calculada la producción de biogás del botadero de Cancharani, seleccionamos, la planta eléctrica econogas a biogás de 65 KW de potencia, que mediante un tablero de transferencia automática o manual, se conecta a la red eléctrica de media tensión de Puno. (ORTIZ NUÑEZ 2017)

Así mismo **CAVEZ SOTO Y MEDINA SANCHEZ (2 014)** en su tesis de grado "ESTUDIO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO SOLAR PARA EL ALUMBRADO DE LAS VÍAS Y EL CERCO PERIMÉTRICO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA" nos dice que el presente informe de tesis, tiene como finalidad difundir el uso de energías limpias renovables, lo cual da paso a dejar de depender de energías primarias de origen fósil, esto es posible planteando una alternativa al sistema de generación convencional, en este caso un sistema híbrido de generación netamente renovable.

Se planteó un sistema híbrido eólico solar que abasteciera de energía eléctrica principalmente a la iluminación de las vías y el cerco perimétrico del campus de la Universidad Nacional del Santa, el cual suplantará la energía que contrata la universidad para el consumo de las mismas.

Se utilizaron métodos estadísticos y matemáticos para poder cuantificar los potenciales eólico y solar del lugar, lo cual ayudará al dimensionado de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos, indispensables en este tipo de sistemas.

Se cuantificó el potencial eólico en el campus de la Universidad Nacional del Santa, de acuerdo a esto se pudo dimensionar un sistema de generación híbrida renovable, que consta de un sistema solar fotovoltaico y un sistema eólico de energía, de acuerdo a esto se afirmó que el 17% correspondiente a la energía requerida por la iluminación de las vías y el cerco perimétrico, serán suplidas por el sistema ya mencionado.

Mediante el uso del método de distribución de Weibull, se determinó la frecuencia de las velocidades de viento. Se revisaron catálogos de aerogeneradores, los cuales tienen características de dimensionamiento, de acuerdo al potencial se pudo saber la cantidad de energía generada al año. De la misma manera se verificó el Número de Horas Efectivas de sol, para poder dimensionar los paneles solares, una vez dimensionados se dimensionan los demás equipos que conforman el sistema.

Finalmente se determinó que instalar un sistema de generación híbrido eólico solar, es económicamente viable, y que al ser una fuente de energía renovable limpia, es una muy buena opción para la iluminación de las vías y el cerco perimétrico del campus de la Universidad Nacional del Santa. (CHAVEZ SOTO y MEDINA SANCHEZ 2014)

ARRIETA PALACIOS (2 016) En su tesis de grado titulada “DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO” La finalidad de la presente investigación es el diseño de una instalación de biogás a escala doméstica que permita aprovechar las excretas de ganado vacuno y/o porcino para satisfacer la demanda energética, para la iluminación y la cocción diaria de alimentos, de una familia de unos cinco o seis miembros. El diseño incluye el dimensionamiento del biodigestor, donde se produce la transformación de dichas excretas por medio de la digestión anaeróbica; de la zanja, donde se instala el biodigestor; del gasómetro, donde se almacena el biogás producido; y de las tuberías de transporte de gas desde el biodigestor hasta el gasómetro y desde éste hasta los puntos de consumo. Este dimensionamiento también

se puede generalizar para diferentes demandas energéticas mediante la aplicación de las fórmulas expuestas en esta investigación.

Los costos aproximados de la instalación se expresan en la parte final de la investigación, teniendo presente que, para determinar la factibilidad económica (VAN) y el periodo de recuperación de la inversión (playback), también se debe considerar el rendimiento sobre los cultivos del fertilizante orgánico obtenido (biol), y la cantidad de fertilizantes químicos comerciales que se dejan de comprar, lo que puede ser motivo de futuras investigaciones. (ARRIETA PALACIOS 2016)

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Energías renovables

2.2.1.1. Definición[6]

Para la Física, la energía es la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio. Es energía el esfuerzo que hace una persona cuando pedalea sobre una bicicleta. También lo es el movimiento continuo del agua de un río, o el calor que desprende el carbón cuando se quema.

Desde siempre, el hombre ha utilizado las fuentes de energía a su alcance para hacer un trabajo o para obtener calor. Primero su propia fuerza física o la de los animales domésticos. Luego la energía del viento y del agua. Más tarde llegaría la explotación de los combustibles fósiles –carbón, gas natural y petróleo– y de la energía nuclear. En el futuro es probable que puedan aparecer nuevas fuentes pero, sea como fuere, la disponibilidad de energía ha sido siempre esencial para la humanidad. Tan esencial como pueda serlo, por ejemplo, el agua potable.

De entre las distintas fuentes de energía, las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, aunque habría que decir que, para fuentes como la biomasa, esto es así siempre que se respeten los ciclos naturales. El sol está en el origen de todas las energías renovables porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la

[6] https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos.pdf

energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa.

Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

2.2.1.2. Tipos de energía renovables

Los tipos de Energías Renovables se definen a continuación

a) Energía Solar térmica o termo solar[7]

La energía solar térmica o energía termo solar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

[7] https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_t%C3%A9rmica

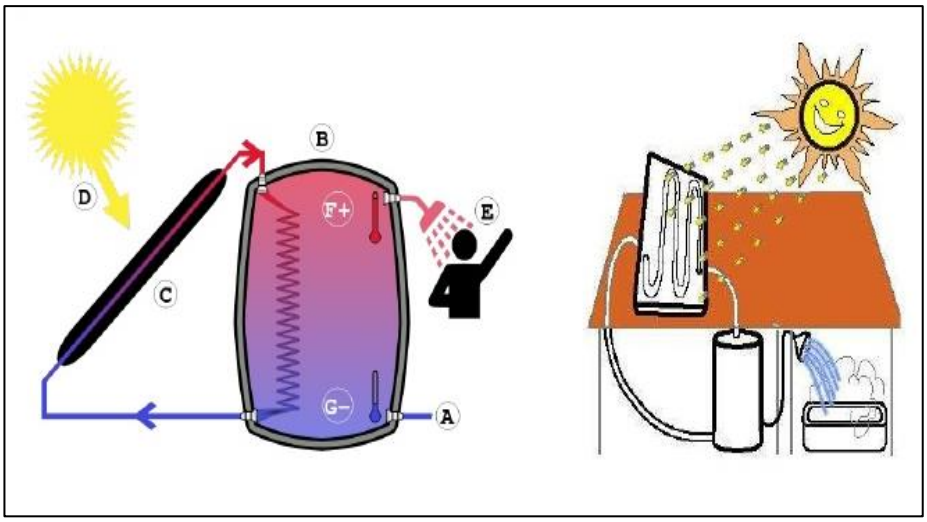

Figura N° 4: Energía solar térmica[8]

b) Energía Solar fotovoltaica

Consiste en la conversión directa de la radiación del sol en electricidad. Esta conversión se realiza a través de la célula solar, unidad básica en la que se produce el efecto fotovoltaico[9]

Figura N° 5: Energía Fotovoltaica[10]

[8] https://es.slideshare.net/paovalenciam1/energa-solar-trmica
[9] http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
[10] http://www.areatecnologia.com/energia-solar-fotovoltaica.htm

c) Energía Eólica[11]

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las turbinas de aire, y que es convertida en electricidad u otras formas útiles de energía para las actividades humanas.

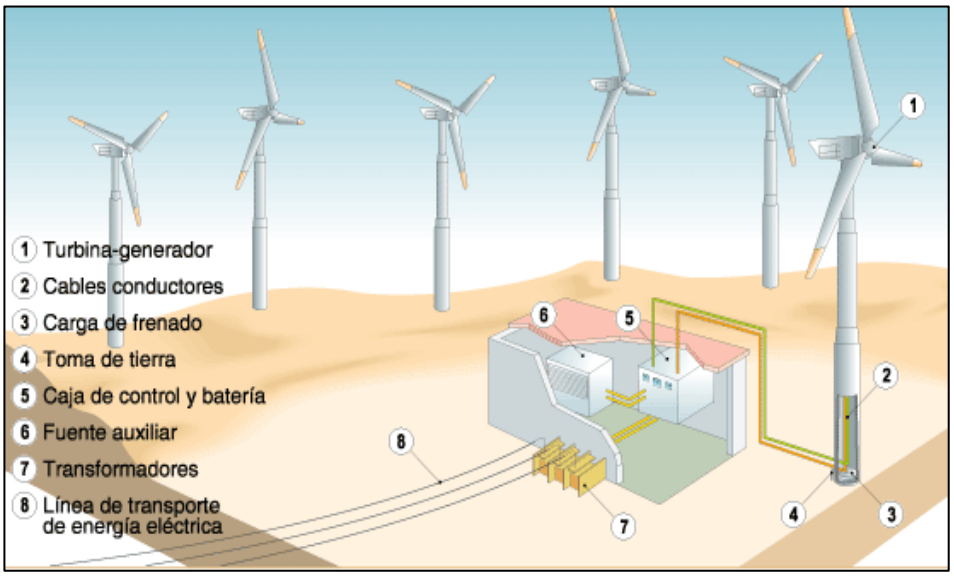

Figura N° 6: Sistema de generación de energía eólica[12]

d) Energía Biomasa[13]

La Energía de la biomasa es la que se obtiene de los compuestos orgánicos mediante procesos naturales. Con el término biomasa se alude a la energía solar, convertida en materia orgánica por la vegetación, que se puede recuperar por combustión directa o transformando esa materia en otros combustibles, como alcohol,

[11] https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica
[12] https://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/2011/02/11/generacion-de-electricidad-en-una-central-eolica/
[13] http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/biomasa.htm

metanol o aceite. También se puede obtener biogás, de composición parecida al gas natural, a partir de desechos orgánicos.

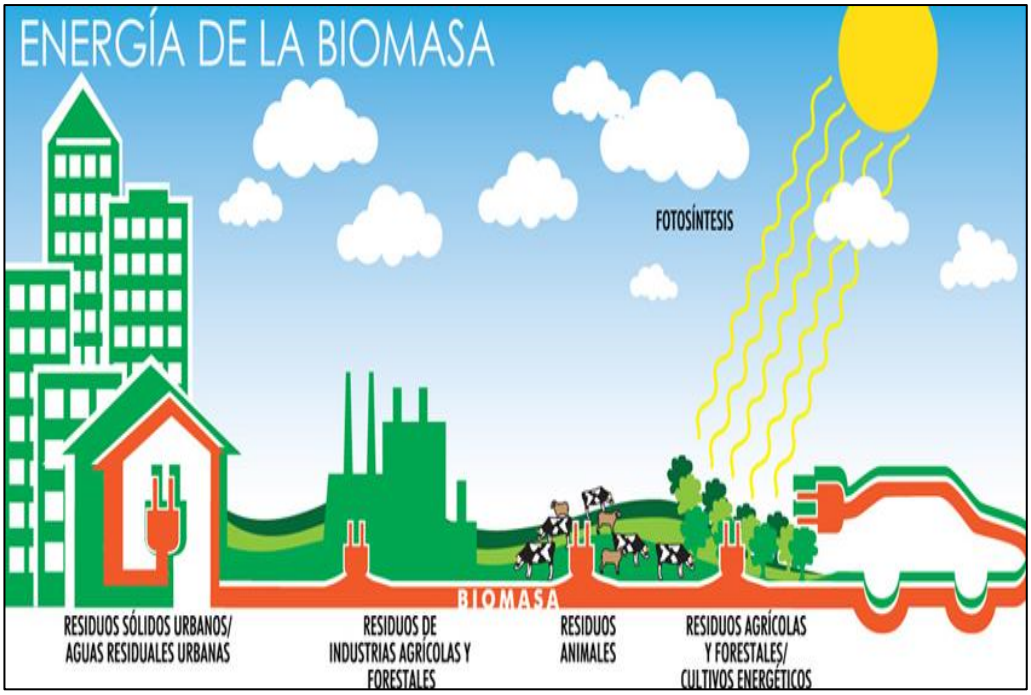

Figura N° 7: Energía de la Biomasa[14]

e) Energía Geotérmica[15]

Se entiende por energía geotérmica a aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, se transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales o agrícolas.

[14] https://www.biomasamarket.es/informacion/
[15] https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_geotermica.pdf

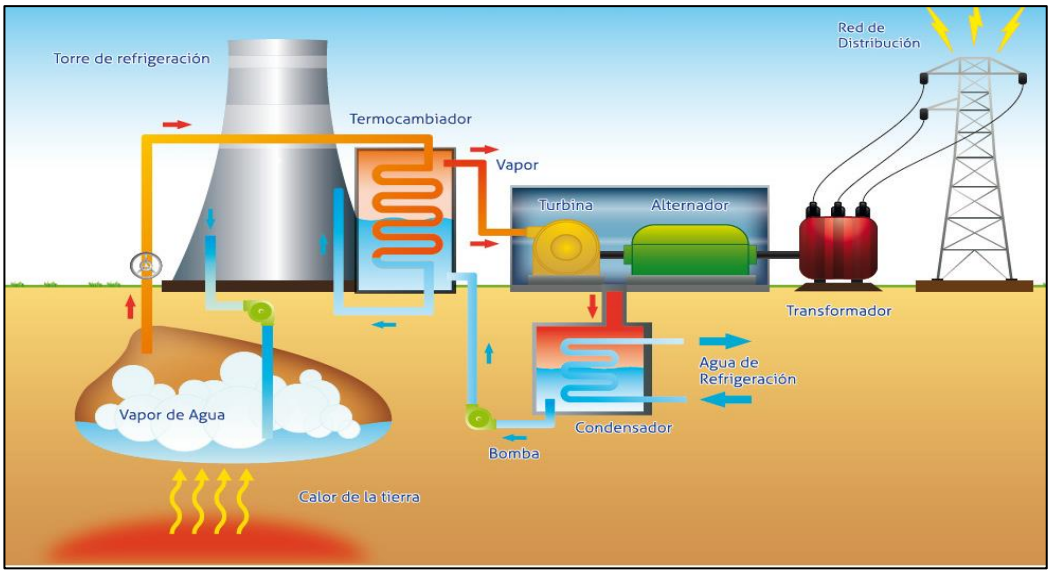

Figura N° 8: Energía geotérmica[16]

f) Energía Hidráulica[17]

La energía hidráulica, es la energía que tiene el agua cuando se mueve a través de un cauce (energía cinética) o cuando se encuentra embalsada a cierta altura (es decir, en forma de energía potencial). En este momento toda la energía hidráulica del agua estará en forma de energía potencial. Cuando se deje caer, se transformará en energía cinética, que puede ser aprovechada para diversos fines. Se trata de una energía renovable.

[16] https://lampadia.com/analisis/recursos-naturales/la-energia-geotermica-un-potencial-por-desarrollar/
[17] https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2012/11/energc3ada-hidrc3a1ulica.pdf

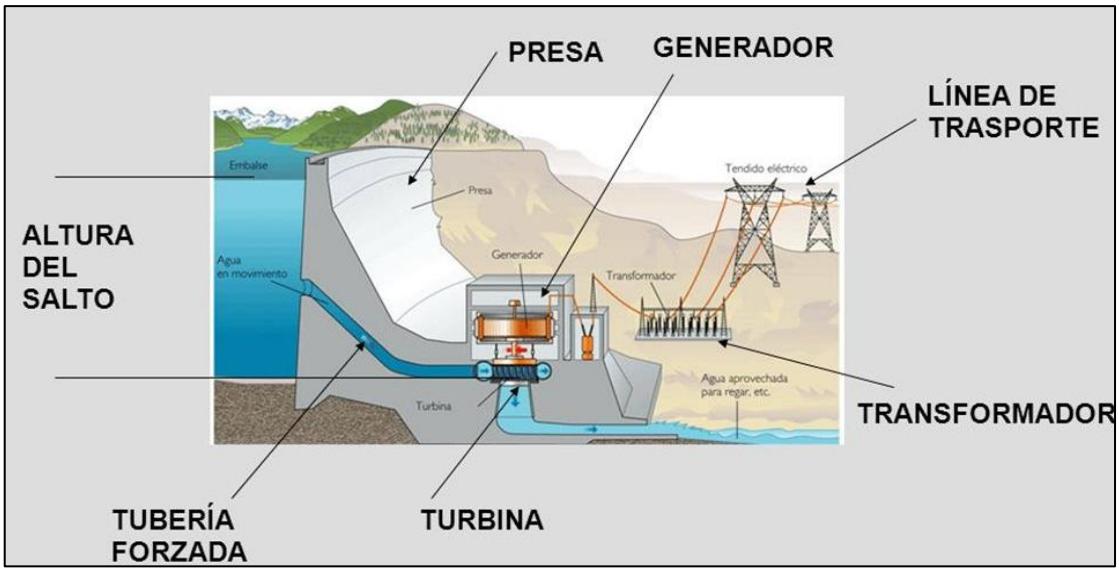

Figura N° 9: Energía Hidráulica[18]

g) Energía mareomotriz

La energía mareomotriz es la que se obtiene aprovechando las mareas: mediante el uso de un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía renovable, una forma energética más segura y aprovechable.

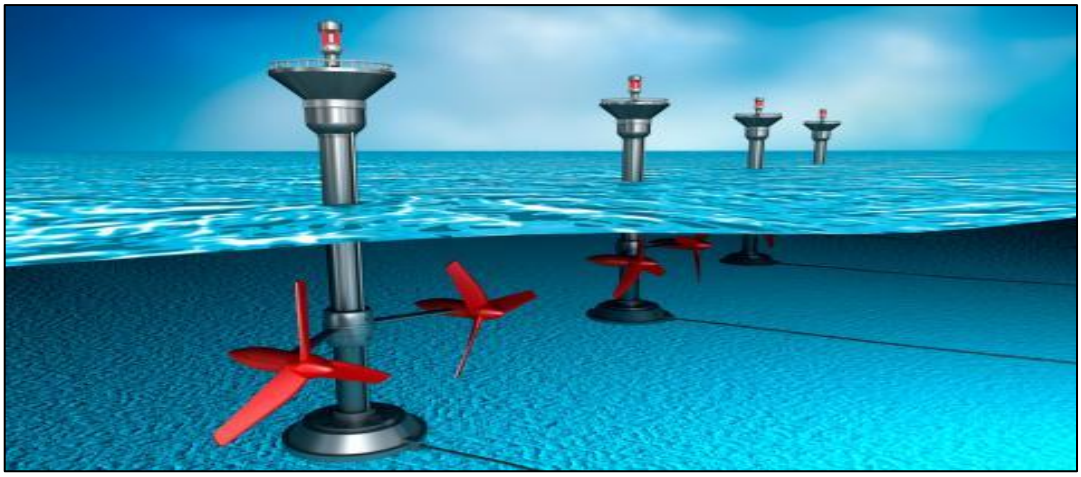

Figura N° 10: Energía Mareomotriz

[18] https://slideplayer.es/slide/10753137/

2.2.2. Sistema Híbrido Eólico – Biomasa

2.2.2.1. Sistema Híbrido

Cuando dos o más sistemas de generación de energía se combinan en una sola instalación para la generación de energía eléctrica, surge lo que se denomina un sistema híbrido[19].

2.2.2.2. Biomasa

(a) Definición[20]

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamiza), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para

[19] http://scielo.sld.cu/pdf/im/v14n1/im03111.pdf
[20] http://www.bio-nica.info/biblioteca/BUNCA2002Biomasa.pdf

suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bio-químico.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastrojos) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos.

En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente.

(b) Tipos de Biomasa[21]

La biomasa natural:

Es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, la caída natural de ramas de los árboles (poda natural) en los bosques.

La biomasa residual:

Es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc.) y en la industria de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.), así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.

Los cultivos energéticos:

Son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria (cereales y remolacha para producción de bioetanol y oleaginosas para producción de biodiesel), existen otros cultivos como los lignocelulósicos forestales y herbáceos y cosechas.

[21] https://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa

(c) Biogás[22]

El biogás es un gas combustible que se genera en dispositivos específicos o en medios naturales a partir de las diferentes reacciones de biodegradación que sufre la materia orgánica (biomasa agrícola, pecuaria y residuos sólidos), mediante la acción de microorganismos así como de otros factores en ausencia de aire. Está formado por dióxido de carbono (CO2), monóxido de carbono (CO), metano (CH), ácido sulfhídrico (H2S) y otros gases aunque en cantidades menores.

Componente	Concentración
Metano (CH4)	50-75 %(vol)
Dióxido de carbono (CO2)	25-45 %(vol)
Vapor de agua (H2O)	2-7 %(vol)
ácido sulfhídrico (H2S)	20-20.000 ppm
Nitrógeno (N2)	< 2 %(vol)
Oxígeno (O2)	< 2 %(vol)
Hidrógeno (H2)	< 1 %(vol)

Gases presentes en el biogás

Figura N° 11: Composición química del Biogás[23]

El biogás puede ser utilizado igualmente para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, así como en estufas, secadores, hornos, calderas u otros sistemas de

[22] (SARIA 2012)
[23] http://www.emison.com/biogas.htm

combustión a gas. Además puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural. Sin embargo, la tecnología para obtener biogás es algo costosa, pero tiene la gran ventaja de que la materia prima es inagotable, y puede conseguirse fácilmente en cantidades industriales. Prácticamente cualquier desecho orgánico sirve para este fin.

El contenido de energía de $1m^3$ de biogás (60% de CH4 y 40% de CO) es aproximadamente 6 kWh. Esta energía puede ser almacenada en diferentes formas: gas a baja presión, media o alta, agua caliente o energía eléctrica.

(d) Beneficios de la producción de biogás[24]

En el uso de biogás como fuente de energía, el proceso supone una serie de beneficios medioambientales y agrícolas como:

Se reduce la emisión de metano a la atmósfera, que es también un gas de efecto invernadero

Establece centros descentralizados de producción de energía.

Provee de fertilizantes de alta calidad.

Reduce la producción de malos olores de la materia orgánica en descomposición.

Se crea un valor añadido sobre los residuos.

[24] http://www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/biogas/

Se minimiza la dependencia de recursos energéticos exteriores.

Ahorros a los ganaderos y agricultores.

Reciclado de residuos más barato y sostenible.

(e) Producción de biogás utilizando biodigestor[25].

Biodigestor

Es un tanque cerrado de cualquier forma, tamaño y material; en el cual se almacena basura orgánica mezclada con agua que al descomponerse en ausencia de aire generan biogás.

Tipos de Biodigestores

Plantas de globo.

Este tipo de plantas tiene en la parte superior un digestor de bolsa en el cual se almacena el gas, la entrada y la salida se encuentran en la misma superficie de la bolsa. Sus ventajas son bajo costo, fácil transportación, poca sofisticación de construcción, altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado.

Sus desventajas son su corto tiempo de vida, alta susceptibilidad a ser dañado, baja generación de empleo y por lo tanto limitado potencial de autoayuda.

[25] (CORONA ZUÑIGA 2007)

Figura N° 12: Biodigestor Planta de Globo[26]

Plantas de Domo Fijo.

Las plantas de domo fijo consisten en un recipiente fijo e inmóvil para gas, que se coloca en la parte superior del digestor. Cuando comienza la producción de gas, la mezcla se desplaza hacia el tanque de compensación. La presión del gas aumenta, el aumento de volumen del gas almacenado y con la diferencia de altura entre el nivel de la mezcla en el digestor y el nivel de la mezcla en el tanque de compensación.

Las Ventajas son costos de construcción relativamente bajos, larga vida útil. La construcción subterránea ahorra espacio y protege al digestor de cambios de temperatura; además su construcción implica la creación de fuentes de empleo.

[26] https://www.taringa.net/+ecologia/obtencion-de-biogas-propio_12uub6

Las principales desventajas son los frecuentes problemas con la permeabilidad para gases del recipiente de ladrillos para el gas (una pequeña fractura en el recipiente superior puede causar altas pérdidas de biogás). Por lo tanto, las plantas de domo fijo, sólo son recomendables cuando la construcción puede ser supervisada por técnicos experimentados de biogás. La presión del gas fluctúa dependiendo sustancialmente del volumen del gas almacenado.

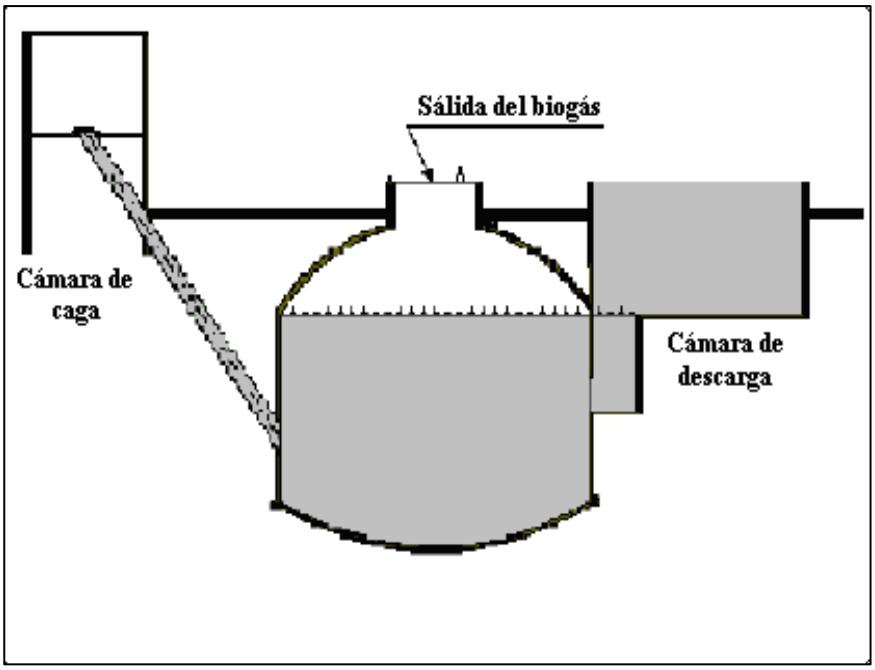

Figura N° 13: Biodigestor Planta de Domo Fijo[27]

[27] http://biodegestores.blogspot.com/2011/09/biodigestor-chino.html

Plantas de tambor flotante (Tipo Hindú).

Las plantas de tambor flotante consisten en un digestor subterráneo y un recipiente móvil para gas. El recipiente para gas flota, ya sea directamente sobre la mezcla de fermentación o en una chaqueta de agua. El gas se recolecta en el tambor de gas, que se levanta o baja, de acuerdo con la cantidad de gas almacenado.

Sus ventajas son su operación simple y fácil de entender: el volumen almacenado de gas es visible directamente. La presión del gas es constante, determinada por el peso del recipiente de gas. La construcción es relativamente fácil; los errores en la construcción no llevan a problemas mayores en la operación y la producción de gas.

Sus desventajas son los altos costos de los materiales para el tambor de acero, la susceptibilidad a la corrosión de las partes de acero, por lo que la vida útil de la planta es más corta; además se tienen costos fijos de mantenimiento para pintar el tambor.

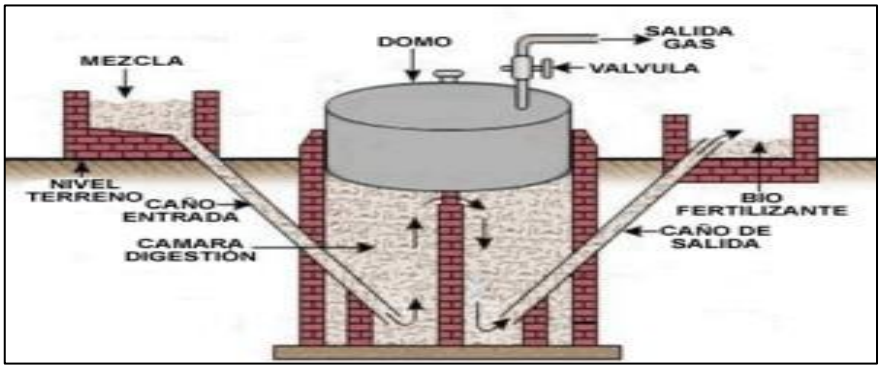

Figura N° 14: Biodigestor Planta de Tambor Flotante[28]

[28] http://biodegestores.blogspot.com/2011/09/biodigestor-chino.html

(f) Parámetro para evaluar el funcionamiento de un biodigestor[29]

Para el buen funcionamiento de un digestor en general es muy importante el monitoreo en forma periódica de ciertos parámetros que están estrechamente vinculados con la generación del biogás, dichos parámetros son:

pH (Potencial Hidrógeno): El pH es un parámetro de operación obligatorio, el cual nos dice si el reactor está operando en un medio ácido o básico. En general, un reactor debe estar operando en un medio neutro para asegurar que las condiciones sean las adecuadas para mantener las bacterias metanogénicas en un ambiente idóneo para su supervivencia y reproducción. Para asegurar un exitoso proceso de fermentación anaeróbico dentro del biodigestor, el valor de pH debe oscilar entre 6.5 y 7.5, o sea, cerca del valor neutro de la escala la cual varía de 0 a 14.

DQO La demanda química de oxígeno: DQO, expresada en unidades de oxígeno, mide la porción de materia orgánica que es biodegradable o no, en una muestra que es susceptible a oxidación por un fuerte oxidante químico. Esta prueba se realiza para establecer una comparación entre el influente y el efluente y así determinar la carga orgánica que queda dentro del biodigestor y la cual 4 posiblemente se esté convirtiendo en biogás.

[29] (HIDALGO BONILLA, MARAVILLA CARRANZA y RAMÍREZ CASTRO 2010)

Ácidos grasos: El análisis de ácidos grasos volátiles es una medida de la concentración de la generación de ácidos grasos, específicamente el ácido propiónico entre otros. Dependiendo de la naturaleza de las aguas residuales, éste se genera a partir de la descomposición anaerobia de la materia orgánica. La descomposición de la materia orgánica está formada por tres etapas: Hidrólisis, acidificación y metano génesis. Es en la Hidrólisis donde se generan los ácidos grasos. La acido génesis es el paso del hidrólisis al metano génesis y es donde los ácidos son utilizados por las bacterias para generar biogás.

Contenido de metano y dióxido de carbono en una muestra de biogás: El contenido de metano (CH4) del biogás producido en un biodigestor dado, se determina mediante la extracción del volumen contenido dentro del recipiente que contiene la muestra del biogás, mediante una jeringa especial.

Temperatura: La temperatura dentro de un biodigestor es un parámetro de los más importantes para la óptima producción de biogás en cualquier digestor. Existen diferentes rangos de temperatura de funcionamiento, entre los que tenemos mesofílico y termofílico que son los más comunes utilizados en digestores. Se ha establecido por lo general que, a mayor temperatura, se logra mayor productividad, aunque se necesita que se reúnan otras condiciones o parámetros especiales de funcionamiento. La forma más sencilla para lograr que la temperatura dentro de un biodigestor se mantenga constante día y noche, es construirlo

enterrado, aprovechando así la propiedad natural aislante de la tierra.

(g) Usos del Biogás

Estufas de biogás: Las estufas que emplean biogás deben ser de fácil y simple operación, flexibles en cuanto a tamaño, fáciles de limpiar y reparar, de bajos costos y alta eficiencia en el uso del combustible.

Alumbrado: En pueblos no conectados a una red eléctrica, la iluminación es una necesidad básica y un símbolo de “status". Bajo esta situación el uso de lámparas de biogás se hace adecuado para este tipo de comunidades.

La luz brillante reflejada por las lámparas de biogás se debe al intenso calor que induce la luminosidad de metales especiales como son el Torio, Cerio y Lantano a temperaturas de 1000-2000 °C. Alrededor de 400 - 500 lumen los flujos de luz alcanzados son equiparables con los obtenidos con lámparas de bulbo de 25-75 W.

Refrigeradores: Las máquinas de refrigeración tipo absorción, operados con amoniaco y agua, el termosifón de circulación automática son equipos típicos que pueden funcionar con biogás.

Motores Que Usan biogás Como Combustible: Los motores con ignición por chispa pueden funcionar solamente con biogás mientras que los motores diésel requieren algunas modificaciones

para permitirles que funcionen principalmente con biogás suplementado con combustible Diésel.

(h) Balance materia energía[30].

La tasa de producción de biogás depende del material de biomasa y el tipo de planta usados. La tabla 14 da una indicación aproximada de la tasa de producción para varios tipos de desechos animales. En términos generales, se puede estimar la tasa de producción de gas entre 10 y 30% del volumen del digestor por día, dependiendo del material de alimento, tipo de digestor, temperatura ambiente, y otras condiciones de operación.

Tipo De Desecho o estiércol	Cantidad Disponible (Kg / Día)	Tasa De Producción De biogás (M^3 / Día)
Bufalo	10-15	0.50-0.75
Vaca Cebú	8-10	0.25-0.40
Ternero		0.15-0.25
Cerdo	25	.05-0.1
Gallinas		0.02-0.04
Oveja o cabra		0.02-0.04
Usuario de Letrina	1	0.02-0.03

Figura N° 15: Tasa de producción de Biogás[31]

[30] (Silva Vinasco s.f.)
[31] (Silva Vinasco s.f.)

2.2.2.3. Energía eólica

(a) Definición de Energía Eólica

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. Esta energía la podemos convertir en electricidad a través de un generador eléctrico. Es una energía renovable, limpia, que no contamina y que ayuda a reemplazar la energía producida a través de los combustibles fósiles[32].

Sus Ventajas son:

Es una fuente de Energía Inagotable.

Es una energía renovable.

No contamina.

Reduce el uso de combustibles fósiles

Sus desventajas son:

El viento no está garantizado.

Impacto en el paisaje.

Afectan a las aves.

[32] https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/

(b) El viento[33]

Según el diccionario, la palabra viento viene del latín ventus y significa "aire atmosférico que se mueve en una dirección determinada". Dice también que es "aire agitado de cualquier modo", es decir, que cualquiera puede provocar viento simplemente agitando el aire.

En meteorología se denomina como tal la componente del movimiento del aire paralela a la superficie terrestre. Los movimientos de las masas de aire en otras direcciones se denominan corrientes de aire. Por medio del viento se transporta la humedad y el calor de unas zonas a otras, parámetros fundamentales que configuran el tiempo en un lugar. Al ser una magnitud vectorial se define por su dirección, sentido y por su velocidad. El viento es una de las fuerzas destructoras de la naturaleza. Se puede manifestar en forma de huracán, tornado o vientos fuertes, que se presentan en ocasiones con mucha intensidad causando grandes pérdidas materiales y en algunos casos humanas. Muchas veces va acompañad o de tormentas o inundaciones las cuales generan algunos daños como caída de techos, cornisas, ramas de árboles, cultivos etc.

El viento se produce cuando una masa de aire se vuelve menos densa, al aumentar su temperatura asciende y entonces otra

[33] http://www.gestiondelriesgomanizales.com/DocumentosSE/La%20Amenzas%20-%20UDEPADE/SUSURRO%20EN%20LOS%20CIELOS.pdf

masa de aire más densa y fría se mueve para ocupar el espacio que la primera ha dejado.

(c) Aerogenerador

Un aerogenerador es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice y en energía eléctrica gracias a un alternador (generador de corriente eléctrica alterna)

Los aerogeneradores pueden trabajar de manera aislada o agrupados en parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas[34], los tipos de aerogeneradores son:

Aerogeneradores de eje horizontal[35].

En este caso, el eje de rotación es perpendicular a la dirección del viento, funcionando bajo el principio de desplazamiento transversal. Una de las consecuencias inmediatas de esta característica es que es necesario el uso de un dispositivo para orientar la posición del rotor. En generadores pequeños, de baja potencia, dichos dispositivos resultan sencillos, pero a medida que aumenta el tamaño aumenta la complejidad. Una alternativa es la utilización de rotores a sotavento, en los que el viento incide en sentido contrario a los de barlovento. De esta manera, el rotor

[34] https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador
[35] http://diana.fadu.uba.ar/105/1/TESIS_.pdf

se encarga de la orientación. La desventaja es que la torre hace sombra a las aspas, pudiendo dañar el rotor. Esta tipología permite barrer mayores superficies que las de eje vertical, por lo que alcanzan potencias mayores y en cuanto a su altura se puede decir que se aprovecha beneficiosamente el aumento de la velocidad del viento con respecto a la distancia con el suelo.

Figura N° 16: Aerogeneradores de Eje Horizontal[36]

Aerogeneradores de eje vertical[37].

Como su nombre lo indica, en este tipo de turbina eólica el eje de rotación del rotor se ubica perpendicularmente a la dirección del viento, por lo tanto funcionan por el principio de arrastre. Posee la ventaja de no necesitar orientarse respecto a la dirección donde sopla el viento, aprovechando eficientemente la fuerza directa del viento sin desperdiciar parte de esta. Otra de las ventajas que posee es que los equipos de generación y control se encuentran en el pie de la estructura, a nivel del suelo,

[36] https://ecovive.com/los-aerogeneradores-segun-la-orientacion-del-rotor/
[37] http://diana.fadu.uba.ar/105/1/TESIS_.pdf

lo cual simplifica y abarata considerablemente las operaciones de mantenimiento. Este beneficio también trae consigo una desventaja, ya que al encontrarse a menor altura tiene una menor actuación aerodinámica. Otra de las desventajas de esta tipología de aerogenerador es que la eficiencia de conversión energética es menor que los aerogeneradores de eje horizontal.

Figura N° 17: Aerogenerador de eje vertical[38]

Partes del Aerogenerador:

Palas: Es la parte del aerogenerador, donde se produce el movimiento rotatorio que son accionadas por el viento y transforman la energía cinética producida en energía mecánica.

Buje: Componente que conecta al eje principal con las palas del aerogenerador, transmitiéndole la potencia generada por el viento,

[38] https://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/07/aerogenerador-de-eje-horizontal-o-vertical.html

Góndola: Es considerada como la sala de máquinas del aerogenerador. Gira en torno a la torre para poner a la turbina de cara al viento.

Torre: Elemento que soporta el peso del aerogenerador, y eleva a las palas del aerogenerador.

Generador: Elementos más importantes del sistema encargada de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

Torre: Elemento que soporta el peso del aerogenerador, y eleva a las palas del aerogenerador.

Rotor. Es el conjunto formado por las palas y el eje al que van unidas, a través de una pieza llamada buje.

Sistema de control: se hace cargo del funcionamiento seguro y eficiente del equipo, controla la orientación de la góndola, la posición de las palas y la potencia total entregada por el equipo.

Multiplicador: Generalmente se trata de engranajes helicoidales o planetarios. Su misión es transmitir la potencia desde el eje de baja velocidad al de alta velocidad (de menor grosor, ya que debe soportar pares menores).

Unidad de refrigeración: Encargada de mantener al generador a una temperatura prudente.

Anemómetro y la Veleta: Cuya función están dedicadas a calcular la velocidad del viento y la dirección de este respectivamente.

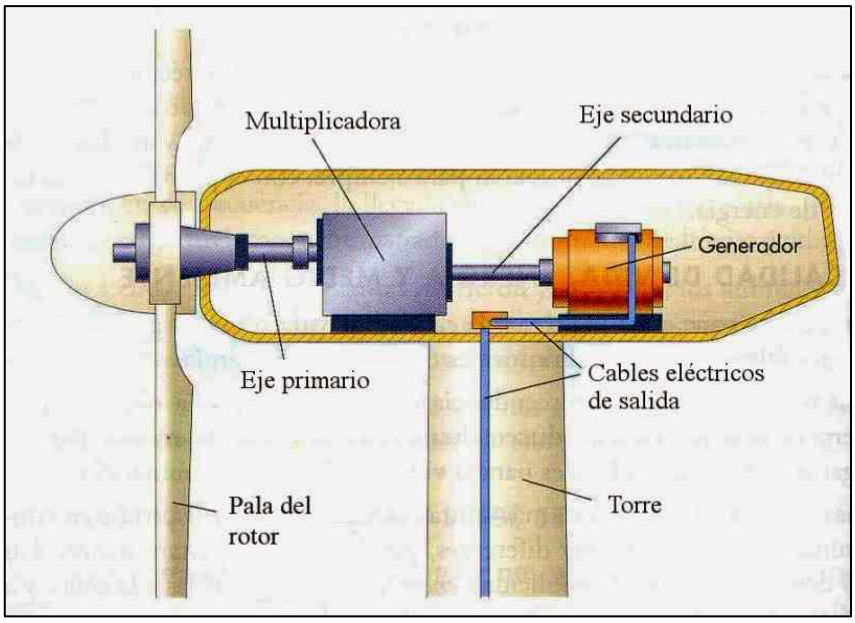

Figura N° 18: Partes del Aerogenerador[39]

2.2.2.4. Baterías o Acumuladores

Una batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente pila, batería o acumulador, es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en corriente eléctrica. Cada celda consta de un electrodo positivo, o ánodo, un electrodo negativo, o cátodo, y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, permitiendo que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función, alimentar un circuito eléctrico[40].

[39] https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/Eje-de-baja-velocidad.jpg
[40] https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica

(a) Tipos de Baterías o Acumuladores

Baterías Primarias. Aquellas que, una vez producida la reacción, no pueden volver a su estado original, agotando así su capacidad de almacenar corriente eléctrica.

Baterías Secundarias. Son las llamadas Baterías recargables, pueden recibir una inyección de energía eléctrica para restaurar su composición química original, pudiendo así ser empleadas numerosas veces antes de agotarse del todo.

(b) Composición de las baterías o Acumuladores[41]

Baterías de plomo-ácido, que están formadas por electrodos de plomo bañados en un electrolito de ácido sulfúrico Las hay de muchos tipos que veremos a continuación. En general son económicas y fáciles de fabricar. No admiten sobrecargas ni descargas profundas y tienen un peso y volumen elevados para la energía que almacenan.

Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd), que están formadas por electrodos de cadmio bañados en un electrolito de hidróxido de potasio. Funcionan bien en un amplio rango de temperaturas y se pueden sobrecargar sin sufrir daños. Admiten descargas profundas y proporcionan un buen número de ciclos, pero acusan mucho el efecto memoria. Su peso y volumen, aunque mejores que los de las baterías de

[41] https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html

plomo-ácido, siguen siendo elevados para la energía que almacenan.

Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH), que están formadas por un ánodo de cadmio y un cátodo de aleación de hidruro metálico. Están sustituyendo a las baterías de niquel-cadmio por su menor efecto memoria y mayor capacidad. Sin embargo, el número de ciclos que proporcionan es menor y no trabajan bien con frío extremo, que reduce drásticamente su capacidad.

Baterías de iones de litio (Li-ion), que emplean un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina u óxido de manganeso. En comparación con los tipos anteriores, son de desarrollo más reciente y han facilitado la existencia de tecnologías portátiles que de otro modo no hubieran sido posibles. Su capacidad es elevada en relación a su peso y volumen, teniendo además un factor de auto descarga muy reducida. Casi no se ven afectadas por el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de haber sido descargadas previamente. Como contrapartida no soportan bien los cambios de temperatura y no admiten descargas completas, sufriendo mucho cuando éstas ocurren.

Baterías de polímero de litio (Li-Po), son una variación de las baterías de iones de litio que mejoran sus características de peso y volumen, así como su tasa de descarga. Al igual que sus primas de iones de litio acusan mucho las descargas

profundas, quedando prácticamente inutilizadas si se descargan en exceso.

(c) Parámetros de una batería o Acumulador[42].

La tensión o diferencia de potencial (en voltios)

Es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador conviene al uso al cual se le destina. Viene fijado por el potencial de reducción del par redox utilizado; suele estar entre 1 V y 4 V por elemento.

Intensidad de corriente:

Es la carga eléctrica neta (medida en culombios) transferida a través de una sección transversal de un conductor por unidad de tiempo. Su definición formal es

Capacidad de carga:

La capacidad de carga o capacidad del acumulador es la carga que puede almacenar el elemento. Se mide en amperios-hora (Ah) y es el segundo parámetro a considerar. En las baterías de baja capacidad de carga, suele expresarse en miliamperios-hora (mAh).

Una capacidad de carga de 1 amperio-hora significa que la batería puede suministrar una intensidad de corriente de 1 A durante 1 hora antes de agotarse.

[42] https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica#Bater%C3%ADas_de_plomo-%C3%A1cido

Carga eléctrica:

La carga eléctrica se mide en la práctica por referencia a los tiempos de carga y de descarga en amperios (A). La unidad SI es el culombio (C).

Energía:

La cantidad de energía que puede suministrar una batería depende de su capacidad y de su voltaje, y se mide habitualmente en Wh (vatios-hora); la unidad SI es el julio.

Resistencia:

La resistencia de las baterías es muy inferior a la de las pilas, lo que les permite suministrar intensidades de corriente mucho más intensas que las de estas, sobre todo de forma transitoria. Por ejemplo, la resistencia interna típica de una batería de plomo-ácido es del orden de 6 mΩ (miliohmios) y la de otra de Ni-Cd, de 9 mΩ.

Rendimiento:

El rendimiento es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga. La batería de plomo-ácido tiene un rendimiento de más del 90%. Las baterías Ni-Cd un 83%.

Constante de carga/descarga:

Es una constante creada por los fabricantes que depende de los miliamperios-hora especificados en la batería y que se usa para poder señalar más fácilmente la intensidad a la que debe cargarse o descargarse una batería sin que ésta sufra daños. Se calcula como sigue:

Figura N° 19: Tipos de Baterías[43].

2.2.3. Grupo Electrógeno.

Un grupo electrógeno es una máquina compuesta de un motor de combustión interna (usualmente un motor de diésel) y un generador eléctrico (usualmente un alternador). El objetivo del grupo electrógeno es poder generar una corriente eléctrica que abastezca la demanda de una instalación o un edificio.[44]

[43] http://batercol.co/baterias-ups/
[44] https://www.luzplantas.com/que-es-un-grupo-electrogeno/

2.2.3.1. Partes del Grupo Electrógeno[45]

El motor: es la fuente de energía mecánica que permite que el alternador genere electricidad. Existe el motor de gasolina y el de diésel o gasoil. Este último es el más utilizado, debido a su presentación mecánica, ecológica y económica. Han surgido algunas adaptaciones que permiten el uso de gas.

El regulador del motor: es un dispositivo diseñado para mantener la velocidad constante del motor, según los requisitos de carga. La velocidad del motor está relacionada directamente con la frecuencia de salida del alternador, por lo que toda variación de velocidad del motor incidirá en la frecuencia de potencia de salida.

El sistema eléctrico del motor: puede ser de 12 V o 24 V, negativo a masa. Incluye un motor de arranque eléctrico, batería o baterías, y sensores / dispositivos de alarma. Generalmente un motor cuenta con un mano contacto de presión de aceite, un termo contacto de temperatura y un contacto en el alternador de carga del motor, lo que permite detectar alguna falla de carga en la batería.

El sistema de refrigeración del motor: puede ser a base de agua, aceite o aire. La refrigeración por agua o aceite, consiste en un radiador y un ventilador interior para enfriar sus propios elementos. La refrigeración por aire, consiste en un gran

[45] https://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/generadores-o-grupos-electrogenos

ventilador que hace circular aire frío por todo el motor, para enfriarlo.

El alternador: es el componente a través del cual se genera la salida de la energía eléctrica. Generalmente cuenta con protección contra salpicaduras, está autorregulado, sin escobillas y se encuentra acoplado con precisión al motor. También existen alternadores con escobillas, para los generadores cuyo funcionamiento será limitado o forzado a trabajos mayores.

La bancada y el depósito de combustible: La bancada usualmente es de acero, de gran resistencia y es sobre lo que se encuentran acoplados el motor y el alternador. Esta bancada también incluye el depósito de combustible, el cual debe poseer una capacidad estándar de 8 horas de funcionamiento como mínimo, a plena carga para usos de emergencia. En caso de uso continuo se debe contar con depósitos de reserva.

El aislamiento de vibración: consta de tacos anti vibrantes diseñados para minimizar las vibraciones generadas por el motor y el alternador. Se encuentran generalmente ubicados entre la base del motor, del alternador, del cuadro de mando y de la bancada.

El silenciador: está instalado en el motor para minimizar la emisión de ruido.

El sistema de control: permite hacerle seguimiento y control al funcionamiento del generador, para evitar posibles fallas.

El interruptor automático de salida: permite proteger al generador con control manual. También se protege al alternador con contactores.

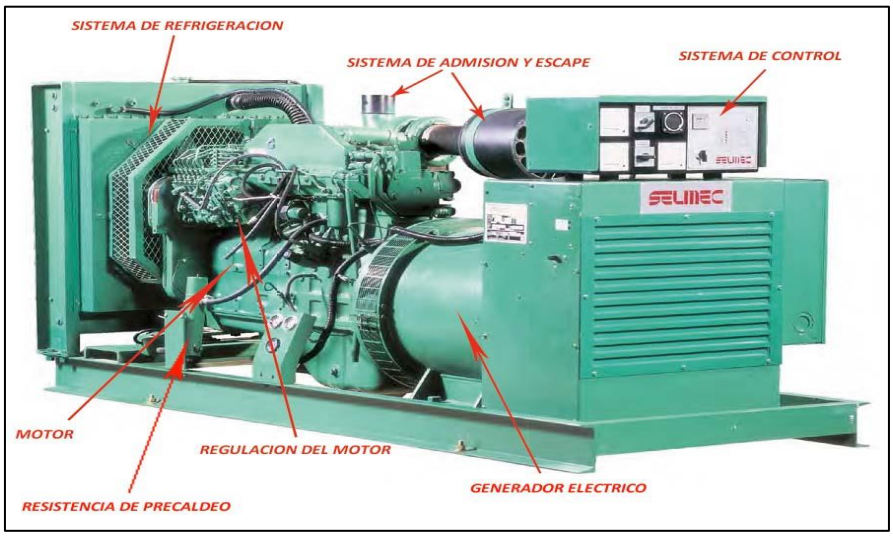

Figura N° 20: Partes del Grupo Electrógeno[46].

2.2.3.2. Efectos del ácido sulfhídrico[47].

Dado que el biogás será el combustible que se empleará para la generación de electricidad, es de suma importancia garantizar que el mismo no contenga compuestos que vayan a dañar física y/o químicamente el equipo en el que se piensa aprovechar. En ese sentido habrá que tener muy en cuenta al contenido de sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico en el biogás. La diferencia entre ambos, es simplemente el estado físico en que se encuentran. El sulfuro de hidrógeno es un gas, mientras que el ácido sulfhídrico es el mismo sulfuro de hidrógeno que ha reaccionado con agua

[46] https://www.demaquinasyherramientas.com/wp-content/uploads/2015/12/Partes-de-un-Grupo-Electro%CC%81geno.jpg
[47] Tesis de ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EMPLEANDO BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE EN EL MATADERO MUNICIPAL DE COCHABAMBA (BOLIVIA)

para formar un ácido. El sulfuro de hidrógeno y el metano se producen en el biodigestor, en el mismo proceso, por lo tanto, la presencia de este compuesto en el biogás entra dentro de lo normal. El sulfuro de hidrógeno es el compuesto que le da al biogás su mal olor característico. No tiene color, es inflamable y extremadamente peligroso.

Es importante llevar a cabo una remoción del ácido sulfhídrico (H2S) por las siguientes razones:

a) Es extremadamente nocivo para la salud debido a su alta toxicidad.
b) Puede causar daños internos por corrosión en equipos como generadores eléctricos, micro turbinas, etc.
c) Su combustión genera dióxido de azufre (SO2), compuesto que además de toxico es dañino para el medio ambiente.

2.2.3.3. Alimentación de biogás al Grupo Electrógeno[48]

Los grupos electrógenos a gas utilizan combustibles gaseosos para su funcionamiento, ya sea gas natural, gas licuado de petróleo o, como en el caso de estudio, biogás. Sin importar el combustible usado, existen unos requisitos mínimos necesarios en la instalación que deben satisfacerse para asegurar la operación del sistema:

[48] Tesis de ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EMPLEANDO BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE EN EL MATADERO MUNICIPAL DE COCHABAMBA (BOLIVIA)

a) El gas suministrado al conjunto generador debe ser de calidad aceptable, es decir, que la cantidad de energía por unidad de volumen de combustible sea alta.
b) El suministro de gas debe tener suficiente presión, aportándose la apropiada para la operación en todo momento.
c) El gas debe suministrarse al generador en suficiente volumen para que este pueda operar. Para ello habrá que elegir una tubería de transporte que permita el caudal adecuado de biogás. Lógicamente, cuanto mayor sea la calidad del combustible menor será el caudal requerido.

Estos requisitos se logran gracias a un sistema de alimentación de combustible cuyos elementos van a ser descritos con detalle en este apartado. Dichos elementos son:

a) Filtro de remoción de H2S (2): Su función es eliminar el ácido sulfhídrico (H2S) presente en la composición del biogás. El biogás producido en el biodigestor es transportado por medio de una bomba de vacío (1) a través de este filtro.
b) Tanque de combustible (3): Su función es almacenar el biogás destinado a alimentar el grupo electrógeno. El biogás llega al tanque a través del filtro de remoción de H2S.
c) Tren de calibración (4-8): Su función es hacer llegar el biogás desde el tanque hasta el grupo electrógeno en las condiciones adecuadas de presión, volumen y temperatura.

El elemento principal del tren de calibración es el compresor (6), y su funcionamiento se complementa con válvulas, sensores y un filtro de gas.

1) Bomba de Vacío.
2) Filtro de remoción de H_2S.
3) Tanque de combustible diario.
4) Válvula de cierre.
5) Filtro de gas.
6) Compresor.
7) Válvula de recirculación.
8) Regulador de presión.

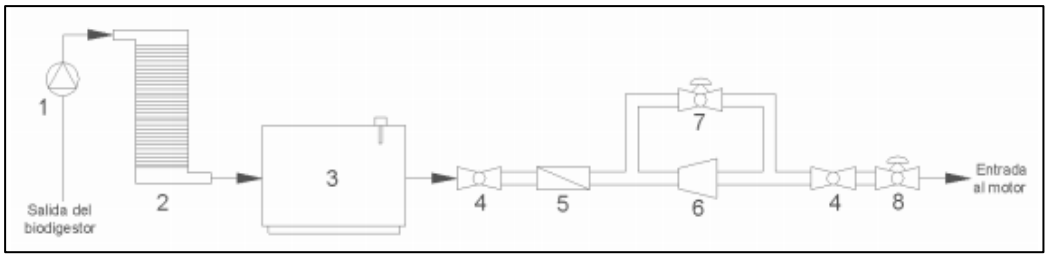

Figura N° 21: Sistema de Alimentación del combustible[49].

2.2.3.4. Adaptación del Generador Eléctrico[50]

Motor de gasolina:

La metodología para la adaptación del motor de gasolina consiste en la elaboración de una pieza que permitiera la introducción de una mezcla de biogás -aire al cilindro del motor, para lo cual se

[49] Tesis de ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EMPLEANDO BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE EN EL MATADERO MUNICIPAL DE COCHABAMBA (BOLIVIA)
[50] https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/utilizacion-biogas-operar-motores-t26821.htm

utilizan materiales de PVC en su mayoría, ya que estos son de fácil obtención y de bajo costo.

1). Tubo de entrada de biogás

2). Válvula de admisión de aire

3). Tubo de entrada de aire

4). Válvula de admisión de biogás

5). Entrada al motor de la mezcla aire – biogás

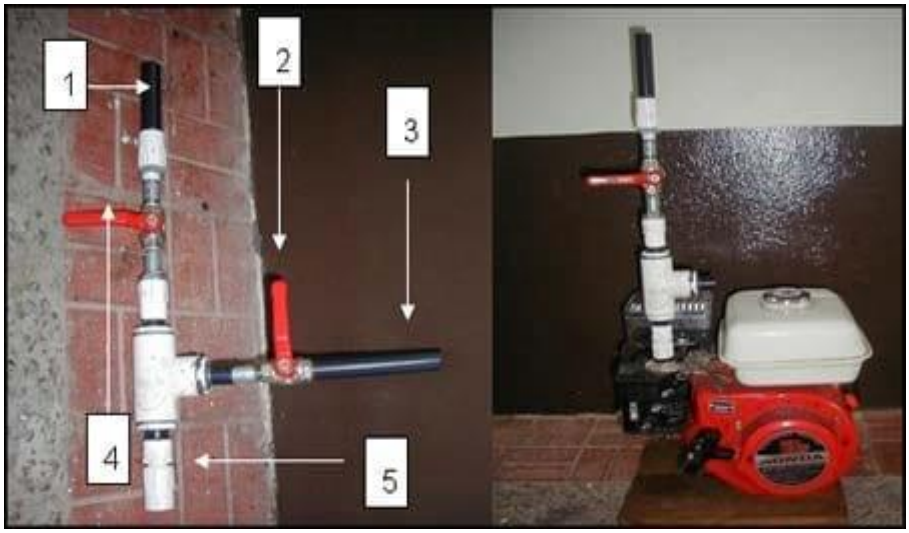

Figura N° 22: Sistema de conversión de motor Gasolina a Biogás[51].

Motor de Diésel:

La metodología para la adaptación del motor diésel de cuatro tiempos al uso de combustible mixto (diésel-biogás-aire) es similar a la utilizada en el motor de gasolina de cuatro tiempos.

[51] https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/utilizacion-biogas-operar-motores-t26821.htm

1). Entrada de biogás

2). Entrada de aire

3). Entrada al motor de la mezcla aire – biogás

4). Válvula reguladora de entrada de biogás

Figura N° 23: Sistema de conversión de motor Diésel a Biogás[52]

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Biocombustible: Todo combustible –sólido, líquido o gaseoso– producido a partir de la biomasa.

Biomasa: Materia orgánica que se encuentra tanto encima como debajo del suelo, y tanto viva como muerta; por ejemplo, árboles, cultivos, hierbas, hojarasca y raíces.

Biodigestor: Toman su término de digestivo o digestión, son máquinas simples que convierten las materias primas en subproductos aprovechables, en este caso gas metano y abono, comúnmente se los denomina **Biodigestores**

[52] https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/utilizacion-biogas-operar-motores-t26821.htm

Combustible fósil:

Fuente de energía no renovable producida por los restos de organismos vivientes que se constituyen bajo el suelo o en el curso de períodos geológicos, pudiendo adoptar una forma líquida (aceite), sólida (carbón, turba) o gaseosa (gas natural).

Gases de efecto invernadero: Compuestos químicos presentes en la atmósfera que bloquean la radiación solar y el calor.

Aerogenerador: Máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica.

Anemómetro: instrumento que se utiliza para medir la velocidad del viento. Sus señales son empleadas por el controlador electrónico para conectar el aerogenerador cuando el viento alcance la velocidad de arranque. Si la velocidad es superior a la de corte, el ordenador parará el aerogenerador para evitar desperfectos en el mismo.

Bridas: Las secciones de la torre de un aerogenerador son atornilladas utilizando bridas de acero laminado en caliente, soldada a los extremos de cada sección de la torre.

Conexión directa a red: En la conexión directa a red el generador está directamente conectado a la red de corriente alterna, generalmente trifásica.

Contaminación: Cualquier alteración física, química o bilógica del aire. El agua o la tierra que produce daños a los organismos vivos.

Curva de potencia: Es un gráfico que indica cual será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades de viento.

Densidad de potencia: La densidad de potencia calcula la distribución de energía eólica a diferentes velocidades del viento. Se obtiene multiplicando

la potencia de cada velocidad del viento por la probabilidad del viento de la gráfica de Weibull.

Buje: Centro del rotor donde se acoplan las palas.

Coeficiente de potencia: El coeficiente de potencia mide la eficiencia con la que el aerogenerador convierte la energía eólica en electricidad. Se obtiene dividiendo la potencia eléctrica disponible entre la potencia eólica de entrada.

Combustible fósil: Se considera combustible fósil al carbón, petróleo y el gas natural o sus derivados de ellos

Densidad del aire: La energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen, esto es, cuanto "más pesado" sea el aire más energía recibirá la turbina.

Disponibilidad: Relación entre el número de horas en las que un aerogenerador produce energía y el número de horas en que han existido velocidades de viento dentro del rango de funcionamiento del aerogenerador.

Energía Cinética: La energía cinética de un cuerpo es una energía que surge en el fenómeno del movimiento. Está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde su posición de equilibrio hasta una velocidad dada.

Góndola: Es donde se encuentran el multiplicador y el generador eléctrico, dos de los componentes claves del aerogenerador. Para acceder al interior de la góndola ha de hacerse desde la torre de la turbina. El rotor del aerogenerador, formado por las palas y el buje, está situado a la izquierda de la góndola.

Mapa eólico: Mapa en donde se consignan diversos datos de tipo eólico, tales como velocidades medias de viento, direcciones predominantes, regularidad.

Mecanismo de orientación: es utilizado en el aerogenerador para girar el rotor de la turbina en contra del viento, de forma que pase a través del roto la mayor proporción de viento.

Multiplicador: es el sistema mecánico que mediante un conjunto de engranes comunica al eje de salida una velocidad de giro mayor que al eje de entrada.

Pala: Elemento del aerogenerador que por aprovechamiento aerodinámico transforma la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje del generador.

Parque eólico: Instalación eólica que comprende varios aerogeneradores y su infraestructura eléctrica, de medición y control correspondiente.

Potencia: Cantidad de energía consumida por unidad de tiempo. Unidad de potencia W (watt), un Kilowatt (KW) son 1 000 Watts, un Mega watt (MW) son 1 000 000 watts

Red eléctrica: Conjunto de líneas de transmisión, subestaciones eléctricas y obras conectadas entre sí para la conducción de energía eléctrica

Torre: Soporta la góndola y el rotor. Es mejor cuanto más alta ya que a mayor altura mayores velocidades de viento. Las torres pueden ser tubulares, de celosía o concreto.

Veleta: Es un accesorio utilizada para medir la dirección del viento, envía sus señales al controlador electrónico de forma que éste pueda girar el aerogenerador en contra del viento utilizando el mecanismo de orientación.

Velocidad de arranque: Velocidad mínima de viento por encima de la cual el rotor comienza a girar.

Velocidad de corte: Velocidad máxima de viento por encima de la cual rotor deja de suministrar potencia al eje motor.

Velocidad de diseño nominal: Velocidad del viento incidente para la cual se obtiene la potencia máxima.

Velocidad máxima crítica: Velocidad del viento a la que se pone en funcionamiento los sistemas de parada de emergencia en previsión sobre cargas mecánicas peligrosas.

Velocidad media anual del viento: Valor medio del módulo de la velocidad del viento en un emplazamiento y altura dados a lo largo de un año.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es Aplicada: Para Murillo (2 008), la investigación aplicada recibe el nombre de "investigación práctica o empírica", que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad[53]. Aaplicaremos los conocimientos sistemas eólicos y biomasa para suministrar energía eléctrica en el caserío el Chaco ubicado en el distrito de Huambos perteneciente al departamento de Cajamarca.

3.2. Población y muestra

La Población está conformada por las 25 unidades de vivienda y 01 carga especial del caserío el Chaco en Huambos.

La Muestra está conformada por las 25 unidades de vivienda y 01 carga especial del caserío el Chaco en Huambos.

3.3. Hipótesis

Si se dimensiona un sistema eólico – biomasa entonces se logrará suministrar energía eléctrica al caserío el Chaco ubicado en la provincia de Chota en Cajamarca.

[53] https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf

3.4. Operacionalización de variables

Tabla N° 1: Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Variable independiente Energía eólica y biomasa	La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente[54] La energía eólica es la energía obtenida del viento. Esta energía renovable aprovecha la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas[55]	Dimensionamiento del sistema eólico y el de biomasa.	Data de velocidad y dirección del viento. Selección del aerogenerador. Determinar la cantidad de biogás que se puede extraer del ganado vacuno. Dimensionamiento del biodigestor
Variable dependiente Energía eléctrica	La **energía eléctrica** es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones) que se produce en el interior de materiales conductores[56] (por ejemplo, cables metálicos como el cobre).	Determinar la energía promedio diaria, la tensión de salida	Energía promedio diaria. (W.h) Tensión de suministro (V) Potencia (W)

Fuente: Elaborado por el propio a partir de las referencias citadas

[54] http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html
[55] https://solar-energia.net/energias-renovables/eolica
[56] https://twenergy.com/energia/energia-electrica

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Utilizamos el método deductivo por que se han considerado características generales del uso de energías renovables, para llegar a conocer hechos particulares como es la energía eólica y la energía de Biomasa en la generación de energía eléctrica, que han permitido cumplir con los objetivos de la investigación.

Las técnicas empleadas son las siguientes:

a) Observación:

Que consistió en observar y registrar al detalle las características eléctricas de las cargas existentes; estos datos fueron registrados por el investigador.

b) El análisis documental

Esta técnica se utilizó con la finalidad de indagar información sobre sistemas eólicos y de biomasa que nos sirven como fundamento teoría y guía en el desarrollo de esta tesis.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación; son distintos para cada una de las variables como las etapas del trabajo efectuado.

Tabla N° 2: Instrumentos para cada técnica[57]

Técnicas	Instrumento de Registro
Observación	Papel, lápiz, cámara fotográfica
Análisis documental	Libros, revistas, páginas de internet, software

[57] Elaboración propia del autor

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

En vista de la problemática en el caserío El Chaco ubicado en el distrito de Huambos, provincia de Chota, departamento de Cajamarca. Se propone el dimensionamiento de un sistema eólico - Biomasa.

El sistema eólico biomasa que estará compuesto por un sistema de generación eólica y un sistema que usa el biogás producido por el estiércol del ganado vacuno presente en el caserío el Chaco. Ambos suministraran energía eléctrica al caserío el Chaco.

Para lo cual se propone o siguiente:

a) Aerogenerador. En este se considerará un aerogenerador de acuerdo a la velocidad del viento en el lugar cual esta implementado con su controlador de carga.

b) Banco de batería: Se considerará baterías de marca reconocida por ejemplo RITAR, Up Power, ROLLS, etc. La capacidad se seleccionará en función de la energía de la carga y los días de autonomía.

c) El inversor: Con la finalidad de transformar la corriente eléctrica en CD a AC y poder suministrarle a la carga los 220 V y a una frecuencia de 60 Hz.

d) Biodigestor: Un biodigestor con las características y dimensiones adecuadas para generar el biogás.

e) Grupo electrógeno: Con la capacidad suficiente para que alimentado con el biogás procedente del biodigestor logre suministrar la energía eléctrica para satisfacer la demanda de las unidades de vivienda y alumbrado público**.**

f) Red de distribución en baja tensión:

Con la finalidad de poder llevar la energía eléctrica desde el grupo electrógeno hasta las 25 unidades de vivienda y 01 local comunal será necesario dimensionar una red de distribución de baja tensión y así lograr su aprovechamiento por parte de los habitantes.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Demanda de energía eléctrica en el caserío el Chaco.

El caserío Chaco está constituido por 25 viviendas y 01 local comunal con un total de 26 lotes.

5.1.1. Consumo de energía necesaria diaria (Wh/día)

Para determinar la energía total promedio diaria necesitamos proyectar la población para 20 años.

La tasa de crecimiento del departamento de Cajamarca.

Tabla N° 3: taza de crecimiento para el departamento de Cajamarca[58]

Departamento	1940-1961	1961-1972	1972-1981	1981-1993	1993-2007	2007-2017
Total	**2,2**	**2,9**	**2,5**	**2,2**	**1,5**	**0,7**
Amazonas	2,9	4,6	3,0	2,4	0,8	0,1
Áncash	1,5	2,0	1,4	1,2	0,8	0,2
Apurímac	0,5	0,6	0,5	1,4	0,4	0,0
Arequipa	1,9	2,9	3,2	2,2	1,6	1,8
Ayacucho	0,6	1,0	1,1	-0,2	1,5	0,1
Cajamarca	2,0	1,9	1,2	1,7	0,7	-0,3
Prov. Const. del Callao	4,6	3,8	3,6	3,1	2,2	1,2

El valor promedio de las tazas de crecimiento para el departamento de Cajamarca es de: 1,20 %; aplicando la siguiente ecuación

$$\boldsymbol{P_{20} = P_0(1+i)^n \ldots (1)}$$

Utilizando la ecuación (1)

Donde:

Po: Población actual (95 habitantes);

[58] https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0015/cap-52.htm

P_{20}: Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional (1,20%)

Reemplazando los datos obtenemos:

$$\boldsymbol{P_{20} = 95(1 + 0,012)^{20} = 120,60 \approx 121\, personas}$$

Usaremos la siguiente relación para calcular el número de viviendas proyectadas

Para determinar el número de viviendas se usará la siguiente ecuación:

La cual supone que la relación entre el número de personas por unidad de viviendas es constante.

$$\boldsymbol{\frac{Poblacion_0}{Viviendas_0} = \frac{Poblacion_{20}}{Vivienda_{20}} \ldots (2)}$$

$$\boldsymbol{Vivivenda_{20} = Vivienda_0 x \left(\frac{Poblacion_{20}}{Poblacion_0}\right) \ldots (3)}$$

Reemplazando los resultados anteriores:

$$\boldsymbol{Vivivenda_{20} = 25x\left(\frac{121}{95}\right) = 31,84 \approx 32\, vivendas}$$

<u>Alumbraba de vías Públicas</u>

Para determinar los de iluminación (PI), utilizaremos la norma DGE Alumbrado de vías públicas en áreas rurales[59], el mismo que se presenta a continuación.

a. **Determinación del consumo de energía mensual por alumbrado público (CMAP):**

[59] (RD017-2003-EM 2003)

$$\boldsymbol{CMAP = KALPxUN} \ldots (\mathbf{4})$$

Donde:

CMAP = Consumo mensual de alumbrado público en kW-h.

KALP = Factor de AP en kW-h / usuario – mes. Dicho factor es el correspondiente al sector típico 4: KALP=3,3

UN = Número de usuarios de la localidad (25)

$$\boldsymbol{CMAP = 82,50\ kW.h}$$

b. Cálculo del número de punto de iluminación (PI):

$$\boldsymbol{PI = \frac{CMAPX1000}{NHMAPxPPL}} \ldots\ldots (\mathbf{5})$$

Donde:

PI = Puntos de iluminación.

CMAP = Consumo mensual de alumbrado público en kW-h.

NHMAP = Número de horas mensuales del servicio alumbrado público (horas/mes).

PPL = Potencia nominal promedio de la lámpara de alumbrado público en watts (60 W).

La cantidad de Puntos de iluminación (PI) en caso de ser decimal se debe redondear al número inferior.

El número de horas diarias de alumbrado público considerado debe estar comprendido entre 8 y 12 horas; mayormente 12 horas. (CHMAP = 12 x 30 = 360)

Reemplazando los datos en la siguiente formula obtenemos:

$$\boldsymbol{PI = \frac{CMAPx1000}{NHMAPxPPL} = \frac{82{,}50x1000}{360x60} = 3,82}$$

Entonces el número de puntos de iluminación y por lo tanto de lámparas es de 3 unidades.

Tabla N° 4: Energía promedio diario para las unidades de vivienda[60] del caserío el Chaco

Energía eléctrica promedio diaria y potencia instalada en el caserío el Chaco					
Carga	Potencia (W)	Cantidad	Uso diario (h)	Consumo diario promedio (Wh)	potencia (W)
1. Unidad de vivienda: 32					
Lámparas	8	3	3	72	24
Radio	10	1	5	50	10
Carga de celular	10	3	1	30	30
computadora	300	1	4	1200	300
Televisor	80	1	3	240	80
Sub total				**1 592,00**	444
2. Alumbrado publico					
Lámparas	60	3	4	720	180
Sub total				**720,00**	180
Total				**51 664,00**	**14388**

Tabla N° 5: Consumo de energía promedio diaria[61] para el local comunal en el caserío el Chaco

Energía eléctrica promedio diaria y potencia instalada en el caserío el Chaco					
Carga	Potencia (W)	Cantidad	Uso diario (h)	Consumo diario promedio (Wh)	potencia (W)
Local Comunal					
Lámparas	8	4	3	96	32
Equipo de sonido	300	1	2	600	300
Carga de celular	10	2	1	20	20
Sub total				**716,00**	**352**

[60] Fuente: elaboración propia del autor
[61] Fuente: elaboración propia del autor

De la Tabla N° 4, la energía promedio diaria para las unidades de vivienda y alumbrado público es de 51 664,00 Wh y de la Tabla N° 5 la energía promedio diaria para el local comunal es de: 716 Wh con un total de 52 380 Wh/día

5.1.2. Evaluación del recurso eólico en el caserío el Chaco

Se ha obtenido datos de la estación meteorológica automática de Huambos para el mes de enero que es uno de los meses con menor velocidad de viento, donde en el **ANEXO 01** se muestra la data obtenida en un archivo de Excel.

Ahora los datos de la estación meteorológica han sido tomados a una altura de 2 m, El aerogenerador que proponemos es ENAIR de 3,0 kW cuyas características se encuentran en el ANEXO **03** y donde se recomienda que la altura de la torre debe ser de 12m, por lo tanto es necesario hacer uso de la ley exponencial de Hellman, luego elaboramos la tabla N° 6 de frecuencias. Como se muestra a continuación

Ley exponencial de Hellman

$$\boldsymbol{V(h) = V_{ref}\left(\frac{h}{h_{ref}}\right)^{\alpha}} \textbf{...(6)}$$

Dónde:

V (h) = Velocidad promedio del viento no conocida a una altura (m/s)

Vref. = Velocidad promedio del viento conocida a una altura (m/s)

H = Altura a la que se desea conocer V (h) (m)

Href. = Altura a la que se midió Vref. (m)

α = Coeficiente de rugosidad.

Tabla N° 6: Frecuencia de la velocidad del viento

Velocidad del viento (m/s)	Frecuencia de la velocidad	Frecuencia acumulada	Frecuencia acumulada relativa
1	10	10	0,01346
2	28	38	0,05114
3	32	70	0,09421
4	37	107	0,14401
5	40	147	0,19785
6	46	193	0,25976
7	42	235	0,31629
8	42	277	0,37281
9	64	341	0,45895
10	56	397	0,53432
11	59	456	0,61373
12	55	511	0,68775
13	44	555	0,74697
14	49	604	0,81292
15	42	646	0,86945
16	25	671	0,90310
17	23	694	0,93405
18	23	717	0,96501
19	12	729	0,98116
20	8	737	0,99192
21	3	740	0,99596
22	3	743	1,00000

Fuente: Elaborado a partir de los datos de la estación meteorológica

En la Tabla N° 6, se ha obtenido los valores de frecuencia de la velocidad a partir de esta tabla nos interesa graficar la curva entre la velocidad (m/s) y la frecuencia relativa.

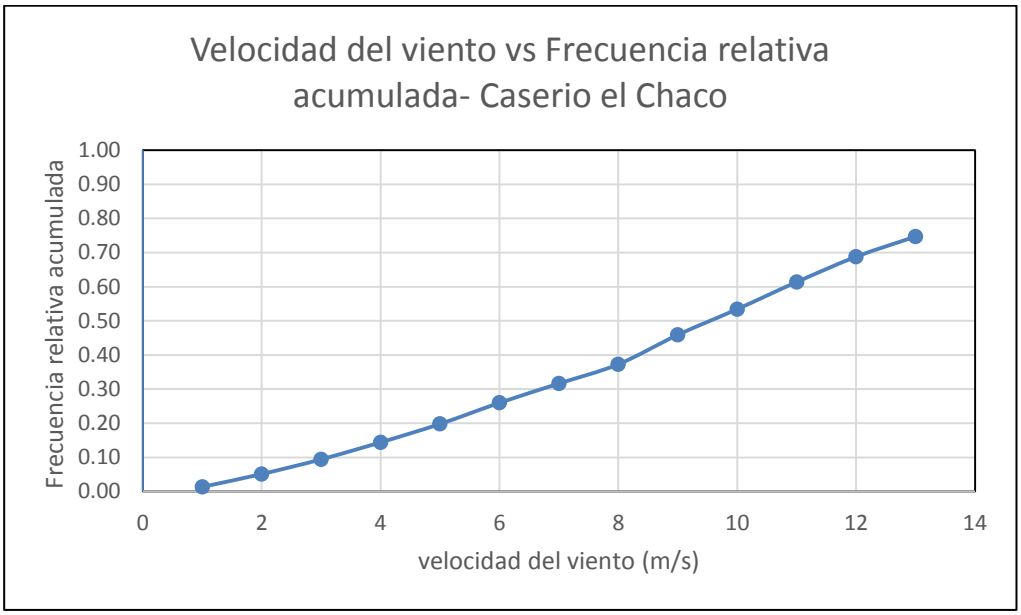

Figura N° 24: Relación entre la velocidad del viento y la Frecuencia relativa

Fuente: Elaborado por el propio Autor.

Aplicando las ecuaciones siguientes podemos obtener los parámetros de WEIBULL:

$$f(v) = \frac{k}{C} \cdot \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} . e^{\left[-\left(\frac{v}{C}\right)^{k}\right]} .. (7)$$

$$ln\left(ln\left(\frac{1}{1 - F(v)}\right)\right) = k.ln(v) - k.ln(C) \ldots . de\ (8)$$

Hacemos que:

$$y = ln\left(ln\left(\frac{1}{1 - F(v)}\right)\right) .. de\ (9)$$

$$x = ln(v) \ldots de\ (10)$$

$$b = -k.ln(C) \ldots de\ (11)$$

Haciendo una regresión lineal con los datos obtenidos los parámetros de la ecuación de Weibull. De las ecuaciones anteriores observamos que necesitamos los valores de:

$$ln(v) \text{ Y de } ln\left(ln\left(\frac{1}{1-F(v)}\right)\right)$$

Los resultados se encuentran tabulados en la siguiente Tabla N°7

Tabla N° 7: Valores para graficar y elaborar el reajuste lineal

VELOCIDAD(M/S)	LN(V)	LN(LN(1/(1-F(V)))
1	0,0000	-4,3013
2	0,6931	-2,9470
3	1,0986	-2,3131
4	1,3863	-1,8611
5	1,6094	-1,5121
6	1,7918	-1,2014
7	1,9459	-0,9670
8	2,0794	-0,7625
9	2,1972	-0,4874
10	2,3026	-0,2689
11	2,3979	-0,0500
12	2,4849	0,1518
13	2,5649	0,3179
14	2,6391	0,5165
15	2,7081	0,7110
16	2,7726	0,8476
17	2,8332	1,0002
18	2,8904	1,2097
19	2,9444	1,3792

20	2,9957	1,5726
21	3,0445	1,7069
22	3,0910	#¡DIV/0!

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Cuya grafica se muestra a continuación.

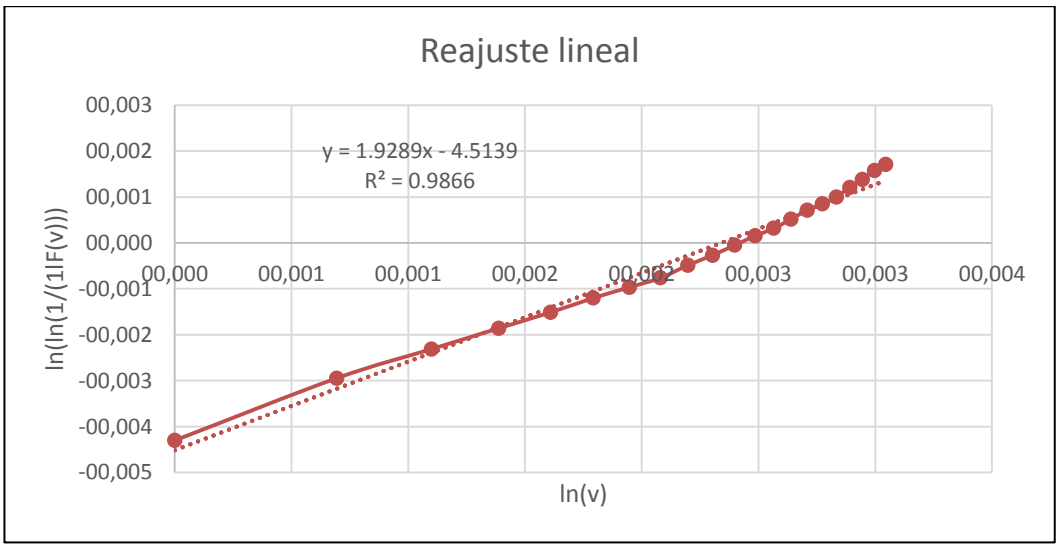

Figura N° 25: Reajuste lineal

Fuente: Elaborado por el propio Autor

$$y = 1,9289x - 4,5139 \ldots (12)$$

Comparando (8) con (9) obtenemos que:

K= 1,9289

b= -4,5139 de donde obtenemos que C= 10,3827

Sustituyendo los parámetros en la ecuación de WEIBULL tenemos:

La siguiente función de probabilidad:

$$f(v) = \left(\frac{1,9289}{10,3827}\right)\left(\frac{v}{10,3827}\right)^{1,9289-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^{1,9289}} \ldots (13)$$

De la ecuación 13 graficando los resultados de tabular los valores de las velocidades de viento tenemos o siguiente.

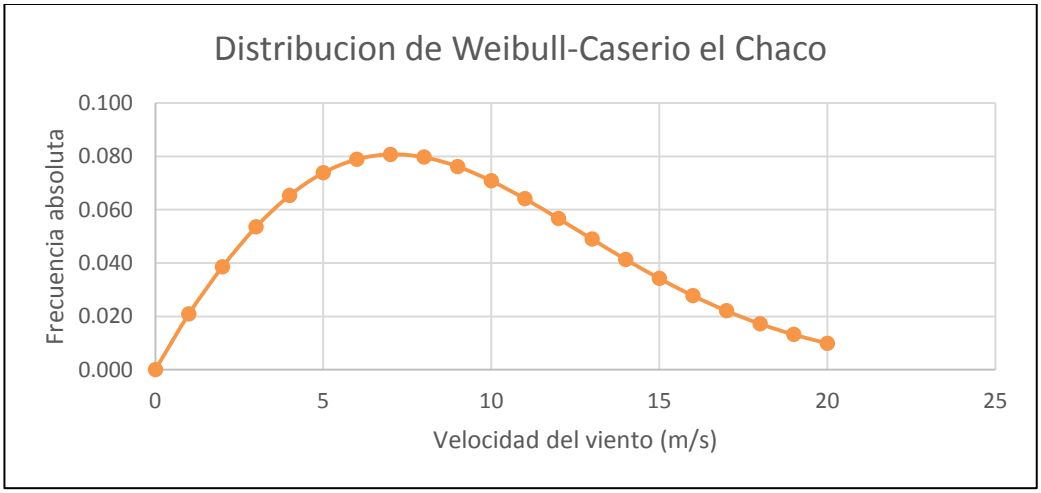

Figura N° 26: Distribución de Weibull

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 8: Frecuencia en horas de velocidad del viento.

VELOCIDAD (M/S)	F(V)	HORAS
0	0,000000	0,00
1	0,020902	15,53
2	0,038589	28,67
3	0,053523	39,77
4	0,065346	48,55
5	0,073813	54,84
6	0,078881	58,61
7	0,080713	59,97
8	0,079647	59,18
9	0,076153	56,58
10	0,070779	52,59
11	0,064095	47,62
12	0,056651	42,09
13	0,048937	36,36
14	0,041359	30,73
15	0,034227	25,43
16	0,027755	20,62
17	0,022066	16,40
18	0,017209	12,79

19	0,013170	9,79
20	0,009894	7,35
21	0,007300	5,42
22	0,005290	3,93

Fuente: Elaborado por el propio Autor

contabilizamos el número de horas que es de 743 h, en este periodo de tiempo podemos contabilizar el número de días de la siguiente relación:

$$\boldsymbol{Periodo\ de\ tiempo\ (dias) = (743\ h)\left(\frac{1\ dia}{24\ h}\right) = 30,96\ dias}$$

5.1.3. Energía que puede entregar el aerogenerador

Proponemos el uso de un aerogenerador de ENAIR de 3,0 kW, para determinar la cantidad de energía que se puede obtener de este

aerogenerador es necesario la curva de potencia tal como se muestra en el **ANEXO 04** (ver figura N° 27)

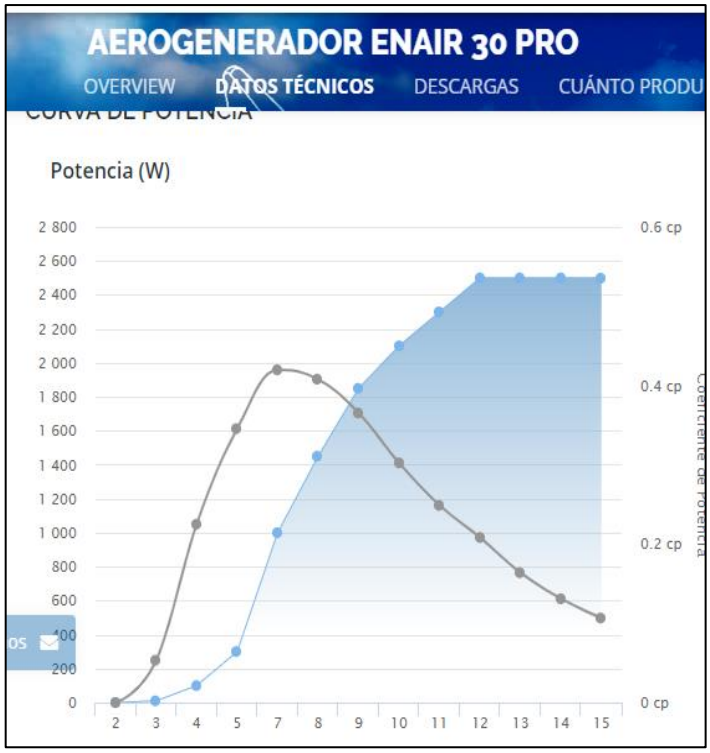

Figura N° 27: Curva de potencia del aerogenerador[62] ENAIR de 1,5 kW

Tabla N° 9: Energía obtenida del aerogenerador para una altura de 12m

VELOCIDAD (M/S)	POTENCIA (W)	HORAS/DÍA	ENERGÍA (WH)
0	0	0,00	0,00
1	0	15,53	0,00
2	5	28,67	143,36
3	10	39,77	397,68
4	100	48,55	4 855,21
5	300	54,84	16 452,93
6	700	58,61	41 026,12
7	1000	59,97	59 969,63
8	1450	59,18	85 807,59
9	1850	56,58	104 676,30
10	2100	52,59	110 436,02
11	2500	47,62	119 056,65

[62] https://www.proviento.com.pe/PWCZH1_5.jpg

12	2500	42,09	105 229,80
13	2500	36,36	90 900,81
14	2500	30,73	76 824,26
15	2500	25,43	63 576,80
16	2500	20,62	51 554,88
17	2500	16,40	40 988,49
18	2500	12,79	31 965,82
19	2500	9,79	24 463,64
20	2500	7,35	18 379,02
21	2500	5,42	13 558,89
22	2500	3,93	9 825,26
TOTAL			1070 089,19
Energía promedia diaria (Wh/día)			34 565,46

Fuente: Elaborado por el propio Autor

De donde obtenemos que la energía que produce el aerogenerador en un día es de 34 565,46 Wh

5.2. Dimensionamiento del sistema eólico

Entonces la energía que debería entregar el aerogenerador a la carga teniendo en cuenta las pérdidas de energía por Joule, y en los equipos entonces tenemos lo siguiente:

Energía que debería entregar el aerogenerador

Para calcular la energía que debe suministrar el sistema eólico a la carga debemos tener en cuenta un factor de pérdidas el cual es función de los factores

de pérdida de los equipos que componen el sistema. Se muestra a continuación en la fórmula número 6.

$$\boldsymbol{E_{sistema} = E_{Carga}/F} \ldots (\mathbf{14})$$

Con una eficiencia de 0,86 reemplazando en (14) obtenemos que la energía que suministra el sistema a la carga es de:

$$\boldsymbol{E_{entregada\ a\ al\ carga} = E_{aerogenerador} x 0,86 = 34\ 565,46 x 0,86}$$

$$\boldsymbol{= 29\ 726,30\ W.h}$$

$$\boldsymbol{E_{entregada\ a\ la\ carag\ por\ el\ \ aerogenerador} = 29\ 726,30\ W.h}$$

5.2.1. Dimensionamiento del banco de baterías

Para el dimensionado de la batería son necesarios la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía.

$$\boldsymbol{C_{Baterias}} \ = \ (\boldsymbol{N_D\ x\ E_{elec}})/\ (\boldsymbol{P_{D\ max}} \times \boldsymbol{V_T}) \ldots . (\mathbf{15})$$

Donde:

$\boldsymbol{C_{Baterias}}$ **=** Capacidad mínima del banco de baterías, expresada en Ah.

$\boldsymbol{N_D}$ **=** Número de días de autonomía =2.

$\boldsymbol{E_{elec}}$ **=** Energía eléctrica total media diaria (Wh/día).

$\boldsymbol{P_{D\,max}}$ **=** Profundidad máxima de descarga: 0,7

$\boldsymbol{V_T}$ **=** Tensión de trabajo del sistema eólico (48 V).

El número de baterías a conectarse en serie se obtiene de la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{C_{Baterias}} = (2\ x\ 29\ 726{,}30)/\ (0{,}7\ \text{x}\ 48)$$

$$C_T = 1769{,}42\ \text{Ah}$$

Proponemos el uso de baterías ROLLS de 503 Ah **(ANEXO 05)**, por ser de maraca reconocida y además de capacidad ampliamente comerciable

Figura N° 28: Batería ROLLS [63] de 503 A.h

El número de baterías que deben conectarse en serie:

$$\boldsymbol{N_{\,baterias-serie}} = \frac{48}{12} = 4\ \ baterías$$

El número de baterías que deben conectarse en paralelo+

[63] https://webosolar.com/store/es/baterias-ciclo-porfundo/996-bateria-surrette-rolls-12-cs-11p-ciclo-profundo-12v-503ah.html

$$\boldsymbol{N_{ramas\ bateria-paralelo.}} = \boldsymbol{C_{Baterias}} \ / \ \boldsymbol{C_{bat.}} \ldots (\mathbf{16})$$

$\boldsymbol{C_{bat.}}$ **=** Capacidad individual de una batería (Ah).

$$N_{P\ bat.} = 1\,769{,}42 / \ 503$$

$$N_{P\ bat.} = 3{,}52 \approx 4$$

$$\boldsymbol{Se\ usaran\ 16\ baterias\ ROLLS\ de\ 503\ Ah}$$

5.2.2. Dimensionamiento del inversor

Para realizar el cálculo del inversor es necesario conocer la tensión de alimentación del inversor, la máxima demanda y el tipo de carga.

Se propone utilizar el inversor, se trabajará con un inversor de la marca MUST SOLAR de 10 kW **(ANEXO 06)**

5.3. Dimensionamiento del sistema con Biomasa

5.3.1. Cálculo de la producción de biogás y generación de energía eléctrica

Para determinar la cantidad de biogás obtenido de la excreta del ganado vacuno en primer lugar necesitamos conocer la cantidad de excreta diaria producida por el ganado vacuno estos resultados se muestran a continuación.

Tabla N° 10: Clasificación de ganado vacuno por edad[64]

Vacuno	Menores de 1 año	Ternero
	De 1 a 2 años	Pequeño
	De 2 a 3 años	Mediano
	Mayores de 3 años	Grande

A partir de la clasificación del ganado vacuno la Tabla N° 10, se procedió a realizar el conteo en el caserío el Chaco, obteniendo los resultados que se resumen en la Tabla N° 11

Tabla N° 11: Ganado vacuno en el caserío el Chaco[65]

Tamaño	***N° Animales***
Grande (vacas)	27
Mediano (toros)	13
Pequeño(vaquillonas)	14
Ternero	12
Total	**66**

Ahora teniendo en cuenta la cantidad de estiércol

Tabla N° 12: masa de estiércol producido al día

Tamaño	**Cantidad de estiércol (kg/día)**	**N° Animales**	**Masa de estiércol (kg)/día**
Grande (vacas)	12	27	324
Mediano (toros)	9	13	117
Pequeño(vaquillonas)	6	14	84
Ternero	4	12	48
Total	**SUBTOTALES**	**66**	**573**

Fuente: elaboración propia del autor

Entonces de la tabla N° 12 tenemos una producción de 573 kg de estiércol diario.

[64] http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v15n3/v15n3a9.pdf
[65] Fuente: elaboración propia

Cálculo de la producción de biogás

a) Para determinar la cantidad de biogás que se producirá al día consideraremos[66]

Considerando que la cantidad de Sólidos Totales (ST) del estiércol fresco de vacuno es del 16%, que la relación entre los sólidos volátiles y los sólidos totales (SV/ST) para este tipo de estiércol es del 81% y que el potencial de biogás por cada kg de SV es de 0,27 m^3, Entonces obtenemos que:

$$\left(\frac{1\ kg\ de\ \ estiercol}{0{,}16\ kg\ ST}\right) x \left(\frac{1\ kg\ de\ ST}{0{,}81\ kg\ SV}\right) x \left(\frac{1\ kg\ de\ SV}{0{,}27\ m^3 de\ biogas}\right)$$

$$= \left(\frac{1\ kg\ de\ \ estiercol}{0{,}035\ m^3 de\ biogas}\right) \ldots (17)$$

1 kg de estiércol produce 0,035 m^3 de biogás, entonces 573 kg de estiércol producirán

$$Volumen\ \ de\ biogas\left(\frac{m^3}{dia}\right) = (573\ kg\ \ de\ estiercol) x \left(\frac{0{,}035\ m^3 de\ biogas}{1\ kg\ \ de\ \ estiercol}\right)$$

$$Volumen\ \ de\ biogas\left(\frac{m^3}{dia}\right) = 20{,}05$$

b) Otra forma de calcular el volumen de biogás generador diario se muestra a continuación

[66] https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14508/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tabla N° 13: Producción de biogás unitaria[67]

Bovinos	Producción m^3/animal día
Grande	0.6
Mediano	0.4
Pequeño	0.32
Ternero	0.16
Cerdos	**Producción m^3/animal día**
Grande	0.14
Mediano	0.1
Pequeño	0.07

Tabla N° 14: Cantidad de biogás producido

Tamaño	**N° Animales**	**Producción[68] m^3/animal/día**	**Cantidad de biogás producido (m^3)**
Grande (vacas)	27	0,6	16,2
Mediano (toros)	13	0,4	5,2
Pequeño(vaquillonas)	14	0,32	4,48
Ternero	12	0,16	1,92
Total	**66**		27,8

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a este procedimiento la cantidad de biogás producido es de:

27, 8 m^3

De ambos procedimientos trabajaremos con **20,05 m^3**

<u>Energía eléctrica producida por el biogás</u>

[67] Fuente: http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v15n3/v15n3a9.pdf
[68] http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo04.htm

Se considera un aprovechamiento de biogás en un orden del[69] 80 %, debido a que en la captación de este existen perdidas a igual que en la alimentación del motor de combustión.

Considerando la producción del generador 1kWh de energía eléctrica es producido por 0,65 m^3 de biogás

Entonces la cantidad de energía eléctrica diaria que se puede producir es de:

$$Energia\ electrica\ generada = \ (0{,}8)x\left(20{,}05\,\frac{m^3}{dia}\right)x\left(\frac{1\ kWh}{0{,}65\ m^3}\right) = 24{,}68\ kWh$$

5.3.2. Volumen del biodigestor[70]

Sabiendo que para un digestor de cúpula fija la mezcla de entrada debe contener una cantidad máxima de ST del 20-30%, se calcula este valor para diferentes relaciones estiércol – agua para determinar la relación óptima.

La tabla 15, resume los cálculos efectuados para una relación 1:1 en masa, es decir, 1 kg de estiércol por 1 kg de agua. Esta relación se ha considerado óptima para el dimensionado ya que no sobrepasa el valor límite de ST de la mezcla de entrada y será más productivo ya que a mayor concentración de ST, más materia orgánica en el digestor y por lo tanto más producción de gas.

Tabla N° 15: Cálculos para la mezcla 1:1

	ST (%)	SV/ST (%)	kg/día mezcla	ST (kg)	Total ST (%)	Densidad (kg/m^3)
Estiércol	16	81	573	91,68	8,0%	630
Agua			573			

Fuente: elaboración propia

Entonces la cantidad de masa de agua se determinará de la siguiente relación:

[69] http://journals.continental.edu.pe/index.php/ingenium/issue/viewIssue/45/31

[70] https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14508/ANEXO%20C.pdf?sequence=4&isAllowed=y

$$\frac{\boldsymbol{kg.agua}}{\boldsymbol{kg.estiercol}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1}} \ldots\ldots (\mathbf{18})$$

$$\boldsymbol{kg\ \ de\ agua = kg.estiercolx1}$$

$$\boldsymbol{kg\ \ de\ agua = 573x1 = 573\ kg}$$

Entonces la carga diaria para alimentar el biodigestor es de:

$$Carga\ diaria\ (kg) = masa\ de\ estiercol(kg) + masa\ de\ agua(kg)$$

$$Carga\ diaria\ (kg) = 573\ kg + 573\ kg = 1\ 146\ kg/dia$$

Para determinar el volumen de carga diario seguiremos la siguiente ecuación:

$$Volumen\ de\ la\ Carga\ diaria\ \left(\boldsymbol{m^3}/_{\boldsymbol{dia}}\right) = \frac{m_{estiercol}}{\rho_{estiercol}} + \frac{m_{agua}}{\rho_{agua}}$$

$$Volumen\ de\ la\ Carga\ diaria\ \left(\boldsymbol{m^3}/_{\boldsymbol{dia}}\right) = \frac{573\ kg}{630\ kg/m3} + \frac{573\ kg}{1000\ kg/m3} = 1{,}483\ m3/dia$$

Para el cálculo del volumen del biodigestor se considerará la siguiente ecuación donde se multiplica el tiempo necesario para la degradación del material orgánico por la carga diaria de estiércol, este tiempo de retención[71](30 días)

$$\boldsymbol{V_{Biodigestor=}TRxC} \ldots (\mathbf{19})$$

$$\boldsymbol{V_{Biodigestor=}30x1,483 = 44,48\ m^3}$$

<u>Dimensiones del biodigestor</u>

71 http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf

Seguiremos el procedimiento del documento: Estudio de alternativas y dimensionamiento de biodigestores para aplicaciones domésticas en la zona rural de Nwadjahane en Mozambique Chonlon Velicoso[72], además de (Chonlon Velicoso 2016), en la cual se propone un biodigestor de la siguiente forma:

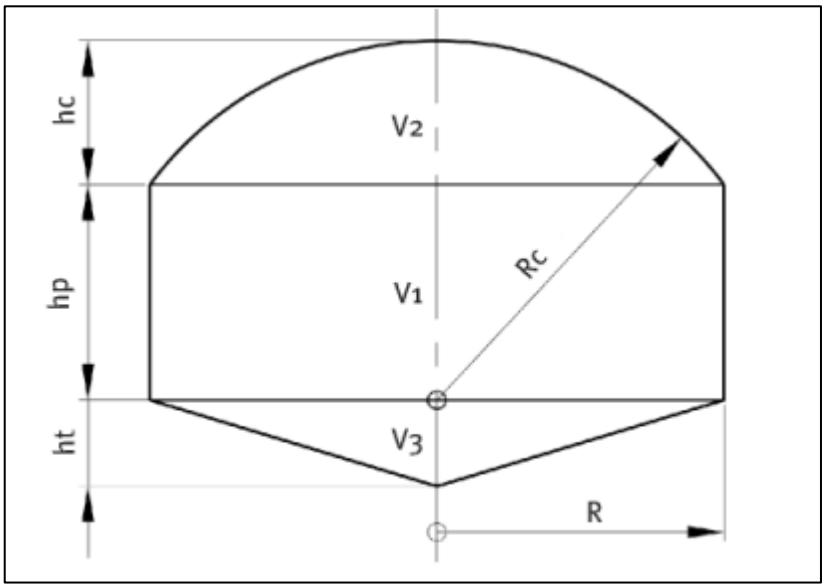

Figura N° 29: Biodigestor[73]

En donde:

VB= Volumen total del biodigestor

V1=Volumen del cilindro

V2=Volumen del segmento cilíndrico

V3=Volumen cono base

U= Unidad

Hc= Altura de la cúpula

Hp= Altura de la pared

R=Radio básico

Rc=Radio de la cúpula

D=Diámetro del Cilindro

[72] https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/14508

[73] (Chonlon Velicoso 2016)

Ht=Altura del cono base

El Volumen Total del biodigestor será igual a:

$$\boldsymbol{V_B = R^3.\pi.1,121 \ldots.(20)}$$

Como el volumen total del biodigestor ya lo tenemos que es de: 44,48 m^3 entonces reemplazando en la ecuación tenemos que:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_B}{1{,}121.\boldsymbol{\pi}}} = 2{,}33\ m$$

Asumiremos un valor de 2,80 m con la finalidad de tener en cuenta los errores de medición en campo.

Radio de la cúpula:

$$R_C = 5x\left(\frac{R}{4}\right) = 5x\left(\frac{2{,}33}{4}\right) = 2{,}91\ m$$

Diámetro del cilindro

$$D = 8x\left(\frac{R}{4}\right) = 8x\left(\frac{2{,}33}{4}\right) = 4{,}66\ m$$

Altura de la cúpula

$$h_c = 2x\left(\frac{R}{4}\right) = 2x\left(\frac{2{,}33}{4}\right) = 1{,}16\ m$$

Altura de la pared

$$h_p = 3x\left(\frac{R}{4}\right) = 3x\left(\frac{2{,}33}{4}\right) = 1{,}75\ m$$

Atura del cono base

$$h_t = 0{,}15xD = 0{,}15x4{,}66 = 0{,}70\ m$$

Calculo de los volúmenes parciales.

$$V1 = Cilindro\ (m3) = \pi * R^2 * h_P = 29{,}7564\ m^3$$

$$V2 = segmento\ esferico\ (m3) = \frac{\pi * h_c}{6}(3 * R^2 + h_c^2) = 16{,}3246\ m^3$$

$$V2 = segmento\ esferico\ (m3) = \frac{\pi * h_c}{6}(3 * R^2 + h_c^2) = 16{,}3246\ m^3$$

$$V3 = Cono\ base\ (m3) = \pi * R^2 * h_t/3 = 1{,}9733\ m^3$$

De donde:

$$VB = V1 + V2 + V3 = 48{,}0541\ m^3$$

Que el ligeramente mayor al volumen requerido de: 44,48 m^3

Calculo del volumen del tanque de compensación (V_{tc})

El volumen del tanque de compensación se calculará considerándolo como un tercio del volumen del biodigestor

$$V_{tc} = \left(\frac{1}{3}\right) x\boldsymbol{V_{Biodigestor=}} V_{tc} = \left(\frac{1}{3}\right) x(48{,}05)\ \approx 16{,}02\ m^3$$

El radio del tanque de compensación será de forma cilíndrica y lo consideramos igual al radio del cilindro, entonces la altura del tanque de compensación es de:

$$h_{tc}=\frac{V_{tc}}{\pi R^2} = 0{,}94\ m$$

Se considera un margen de 20 cm en la parte superior del tanque entonces la altura del tanque de compensación es de 1,14 m

<u>Cálculo del volumen del tanque de mezcla</u>

Se calcula el volumen del tanque de mezcla como el volumen de entrada diario del digestor, la suma del agua y el estiércol, sobredimensionando un 15%.

$$V_{tm} = 1{,}15x(\boldsymbol{V_{estiercol}}+\boldsymbol{V_{agua}}) \ldots (\mathbf{21})$$

$$V_{tm} = 1{,}15x1{,}483\ m^3 = 2{,}64\ m^3$$

Para determinar la altura del tanque de mezcla, asumiremos igual a la altura del tanque de compensación, entonces:

$$R_{tm}=\sqrt{\frac{V_{tm}}{\pi.h_{tc}}} = 0{,}76\ m$$

5.3.3. Selección del grupo electrógeno

Entonces de acuerdo con la máxima demanda el grupo electrógeno que se usara para adaptarlo a biogas es de 10 kW de la marca INSONORO

Figura N° 30: Grupo electrógeno[74]

5.3.3.1. Descripción[75]

Diesel generador 10 kW monofásica - DG12000XSEM

motor 3000 rpm 4 tiempos directo inyección refrigerado por agua

- APR (regulación automática de voltaje +-1,5%)

motor Hyundai

- marco que envuelve para óptima protección

-panel de control muy completo y: 1 mono, 1 Tetra de Jack, 1 controlador digital COMAP INTELI NANO, 1 GFCI 30 mi) 1 selector de llave, parada de Emergencia

-4 ruedas y manija tipo carro

[74] https://www.manomano.es/grupos-electrogenos/generador-10-kw-monofasico-insonoro-1070376
[75] https://www.manomano.es/grupos-electrogenos/generador-10-kw-monofasico-insonoro-1070376

Características técnicas -
tipo: monocilíndrico 4 tiempos - inyección directa -
desplazamiento: 800 cc - EV80 - Bi - Cyl - comienzo de de agua de enfriamiento: eléctrico
-carrera x diámetro: 86 x 70 mm -
velocidad del motor (RPM): 3000
-máxima potencia del motor: 14 cv -
de frecuencia (Hz): 50
-voltaje (V): 230 potencia
-continua: 9 kW - potencia máxima de
: 10 kw de potencia nominal de
: factor de potencia de: cos Ø = 1
-Amperaje: 42A
-tomas: EU 1x16A 1 - 1x63A 1 p
-p el tanque (L): 30 L
-consumo al 100%: 7 L/H
-tanque de aceite: 2,27 L
-nivel sonoro db a 7 m: 72 db
-dimensiones (mm): 1450 x 970 x 970
-arvejas neto (Kg): 315
-bruto peso (kg): 330

El tiempo de funcionamiento-continuó uso

Garantía:
-3 años o 500 horas en el día 1 de los 2 términos caducado

Marca ITC POWER

Referencia ManoManoME1070376

5.4. Balance de energía

Con la finalidad de saber si el sistema es capaz de suministrar la energía que demanda la carga elaboramos la siguiente tabla

Tabla N° 16: Aportación de cada una de las energías a la carga[76]

Energía	Aporte en kW	%
Del biogas	22,65	43,20 %
Del sistema eólico	29,73	56,80 %
Total	52,38	100,0 %

[76] Fuente: elaboracion propia

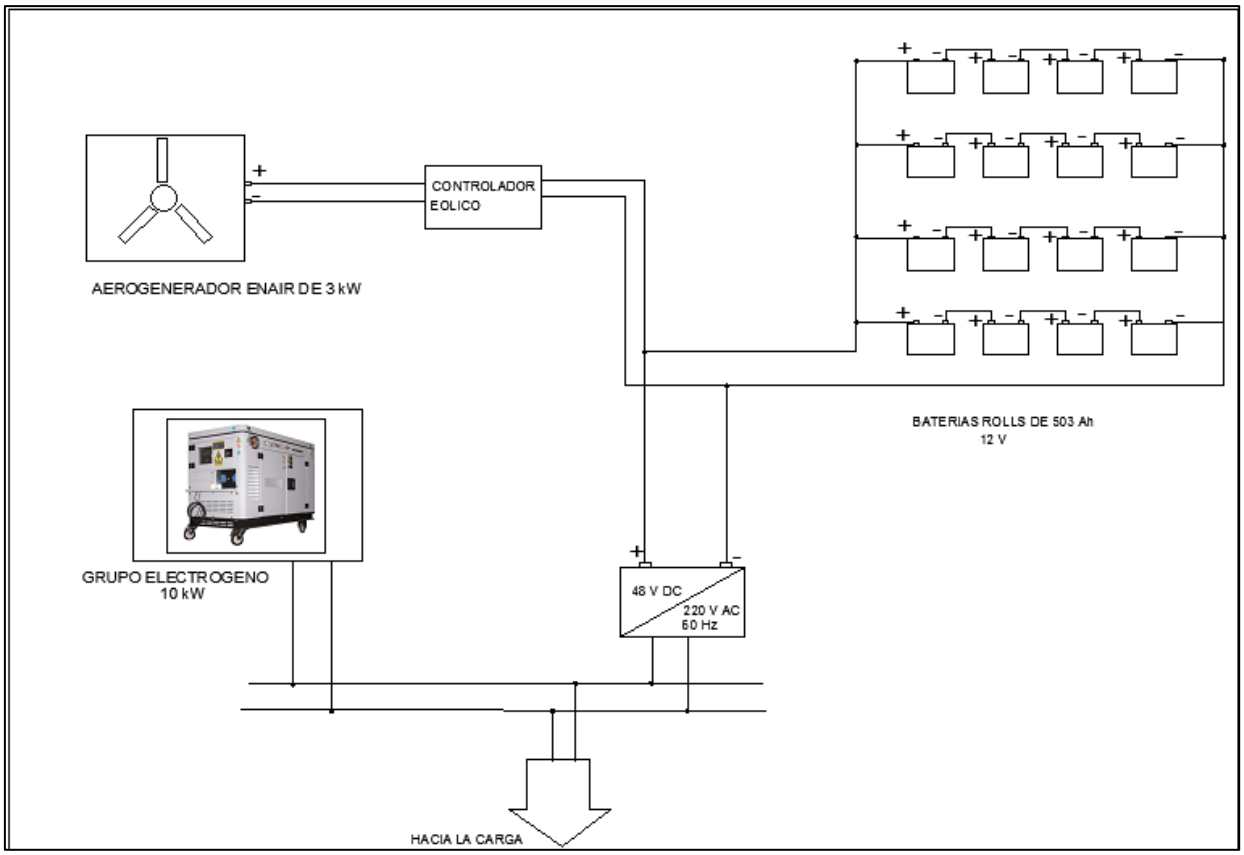

Figura N° 31: Sistema Biogás-Eólico[77]

5.5. Dimensionamiento del sistema de distribución eléctrica

La red de distribución de baja tensión tiene las siguientes características: serán íntegramente aéreas y de configuración topológica radial, para la definición del material de los soportes se usará la Norma suministro DGE (RD 025-2003-EM: Especificaciones Técnicas para el Suministro de Materiales y Equipos de Redes Secundarias para Electrificación Rural). Se considerará postes de concreto armado y conductores de aleación de aluminio tipo autoportante CAAI.

5.5.1. Cálculos eléctricos

[77] Fuente: elaboracion propia

5.5.2. Cálculo de caída de tensión

Para el cálculo se tendrá en cuenta la norma RD 031-2003-EM: Bases para el Diseño de Líneas y redes Secundarias con Conductor Autoportante para Electrificación Rural. La caída máxima de tensión entre la subestación de distribución y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal.

Tabla N° 17: Características eléctricas de los conductores eléctricos seleccionados[78]

Cable	K(factor de caída de tensión)	Capacidad de corriente(A)
2X25/25	2,577	64
2X25+1X16/25	2,577	64

Caída de tensión

A continuación, se muestra los resultados del cálculo de caída de tensión obtenidos con el software RedCad.

[78] (RD 031-2003-EM 2003)

Tabla N° 18: Caída de tensión

Nodo	Long. (m)	N° de Lotes		Potencia (kW)			Formación del Conductor	K (Ohm/km)	Resist. (Ohm/km)	Corr. (A)	Caída de Tensión			
		SP	CE	SP	CE	Acum.					Fase-Fase(V)	Fase-Neutro(V)	Tensión Fase-Neutro(V)	%ΔV
Bornes BT	0.0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	220.00	0.00
Tablero	2.0	26	0	5.20	0.00	5.20	2x25/25	2.577	1.200	11.80	0.06	0.03	219.97	0.00
Circuito C-1														
Salida	0.0	0	0	0.00	0.00	2.20	2x25/25	2.577	1.200	5.00	0.00	0.00	219.97	0.00
1	35.0	1	0	0.20	0.00	2.20	2x25/25	2.577	1.200	5.00	0.45	0.23	219.74	0.10
2	32.9	2	0	0.40	0.00	2.00	2x25/25	2.577	1.200	4.60	0.39	0.20	219.54	0.20
3	12.6	2	0	0.40	0.00	0.80	2x25/25	2.577	1.200	1.80	0.06	0.03	219.51	0.20
4	39.0	0	0	0.00	0.00	0.40	2x25/25	2.577	1.200	0.90	0.09	0.05	219.46	0.20
5	39.9	2	0	0.40	0.00	0.40	2x25/25	2.577	1.200	0.90	0.09	0.05	219.41	0.30
6	39.9	0	0	0.00	0.00	0.80	2x25/25	2.577	1.200	1.80	0.19	0.10	219.44	0.30
7	40.9	0	0	0.00	0.00	0.80	2x25/25	2.577	1.200	1.80	0.19	0.10	219.34	0.30
8	34.5	2	0	0.40	0.00	0.40	2x25/25	2.577	1.200	0.90	0.08	0.04	219.30	0.30
9	48.2	2	0	0.40	0.00	0.40	2x25/25	2.577	1.200	0.90	0.11	0.06	219.28	0.30
Circuito C-2														
Salida	0.0	0	0	0.00	0.00	3.00	2x25+1x16/25	2.577	1.200	6.80	0.00	0.00	219.97	0.00
10	22.1	0	0	0.00	0.00	3.00	2x25+1x16/25	2.577	1.200	6.80	0.39	0.20	219.77	0.10
11	19.9	0	0	0.00	0.00	2.60	2x25+1x16/25	2.577	1.200	5.90	0.30	0.15	219.62	0.20
12	26.7	2	0	0.40	0.00	2.60	2x25+1x16/25	2.577	1.200	5.90	0.41	0.21	219.41	0.30
13	20.9	2	0	0.40	0.00	2.20	2x25+1x16/25	2.577	1.200	5.00	0.27	0.14	219.27	0.30
14	35.0	2	0	0.40	0.00	0.80	2x25/25	2.577	1.200	1.80	0.16	0.08	219.19	0.40
15	35.0	2	0	0.40	0.00	0.40	2x25/25	2.577	1.200	0.90	0.08	0.04	219.15	0.40
16	39.1	1	0	0.20	0.00	1.00	2x25/25	2.577	1.200	2.30	0.23	0.12	219.15	0.40
17	20.4	2	0	0.40	0.00	0.40	2x25/25	2.577	1.200	0.90	0.05	0.03	219.12	0.40
18	44.9	2	0	0.40	0.00	0.40	2x25/25	2.577	1.200	0.90	0.10	0.05	219.10	0.40
19	35.0	1	0	0.20	0.00	0.40	2x25/25	2.577	1.200	0.90	0.08	0.04	219.73	0.10
20	35.0	1	0	0.20	0.00	0.20	2x25/25	2.577	1.200	0.50	0.05	0.03	219.70	0.10

Fuente: RedCad

De la Tabla N° 19 observamos que la caída de tensión está por debajo del 7% establecido por la norma, por lo que el conductor eléctrico cumple con los requerimientos eléctricos

5.5.2.1. Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno

Tabla N° 19: Distancias mínimas de seguridad al terreno

Disposición	Carreteras y avenidas	Calles y Caminos	Áreas no transitables por vehículos	Calles y caminos en zonas rurales
Al cruce	6,5 m	5,5 m	4,0 m	5,5 m
A lo largo	5,5 m	5,0 m	4,0 m	4,5 m

Fuente: C.N.E

5.5.3. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes

Los cálculos mecánicos tienen la finalidad de determinar las tensiones y flechas en las diversas condiciones de operación. Las características mecánicas de los cables autoportantes se detallan en la Tabla N° 22

5.5.3.1. Hipótesis de estado

Para realizar los cálculos mecánicos del conductor se define sobre la base de los factores meteorológicos necesitamos la siguiente información:

a) Velocidad del Viento
b) Temperatura

Tabla N° 20: Hipótesis de estado[79]

HIPÓTESIS N° 1: Condición de máximo esfuerzo	Temperatura: 5°C. Velocidad de viento: 70 Km/h.

[79] C.N.E.

HIPÓTESIS N° 2: Condición de mayor duración (EDS)	Temperatura: Media anual (entre 15 y 25°C, salvo excepciones) 15° C. Velocidad de viento: Nula.
HIPÓTESIS N°3: Condición de flecha máxima	Temperatura: 50°C. Velocidad de viento: Nula.

5.5.3.2. Esfuerzos mecánicos en el conductor portante

a) El esfuerzo del conductor portante de aleación de aluminio será en todos los casos, de 52,3 N/mm², aproximadamente 18 % del esfuerzo de rotura del conductor.

b) El esfuerzo máximo del conductor no superará 176 N/mm².

c) Cuando, debido a la presencia de hielo, los esfuerzos en el conductor portante sobrepasarán lo máximo establecido, consultor podrá adoptar un esfuerzo EDS menor a 52,3 N/mm².

5.5.3.3. Cálculo de cambio de estado

Los cálculos de cambio de estado se han efectuado mediante la ecuación de TRUXA ayudándonos de una hoja de cálculo en Excel, teniendo en cuenta las características mecánicas de los conductores

$$\sigma_F^2\left[\sigma_F + E\alpha\left(t_f - t_i\right) + \frac{W_{ri}^2 * L^2 * E}{24 * A^2 * \sigma_i^2} - \sigma_i\right] = \frac{W_{rF}^2 * L^2 * E}{24 * A^2} \quad \ldots(22)$$

Donde:

σ_i : Esfuerzo admisible en la hipótesis inicial (Kg/mm^2)

σ_F : Esfuerzo admisible en la hipótesis final (Kg/mm^2)

W_{ri} : Peso resultante en la hipótesis inicial (Kg/m)

W_{rF} : Peso resultante en la hipótesis final (Kg/m)

t_i : Temperatura en la hipótesis inicial (°C)

t_F : Temperatura en la hipótesis final (°C)

σ : Coeficiente de dilatación lineal (°C^{-1})

E : Módulo de elasticidad (Kg/mm2)

A : Sección (mm^2)

L : Vano (m)

Tabla N° 21: Características de los cables autoportantes

FORMACION	SECCION DEL CONDUCTOR PORTANTE (mm²)	DIAM.EXTERIOR TOTAL (mm)	MASA TOTAL (kg/m)	MODULO DE ELAST.DEL PORTANTE (kN/mm²)	COEFICIEN. DE DILAT. TERMICA (1/°C)
3x35+16/25	25	20,0	0,481	60,82	21x10-6
3x25+16/25	25	18,5	0,397	60,82	21x10-6
3x16+16/25	25	16,5	0,310	60,82	21x10-6
3x35/25	25	20,0	0,419	60,82	21x10-6
3x25/25	25	18,5	0,336	60,82	21x10-6
3x16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x35+16/25	25	20,0	0,362	60,82	21x10-6
2x25+16/25	25	18,5	0,307	60,82	21x10-6
2x16+16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x16/25	25	16,5	0,187	60,82	21x10-6
1x16/25	25	16,5	0,125	60,82	21x10-6

Fuente: norma D.G.E. rd031-2003-EM

Vano Básico: El tensado de conductores; comprendidos entre dos estructuras de anclaje debe tener el mismo esfuerzo a lo largo de todo el tendido de la línea.

$$\boldsymbol{Vano\ Basico} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} L_i^3}{\sum_{i=1}^{n} L_i}} \ldots (\mathbf{23})$$

Observamos en el plano (anexo 10) que los vanos no sobrepasan los 50 m, por lo tanto, se ha considerado trabajar con 50 m como vano básico.

Tabla N° 22: flecha para el vano básico[80]

Vano (m)		30	40	50	60	70
HIP. I	σ (Kg/mm²)	8,12	8,50	**8,84**	9,15	9,42
	f (m)	0,29	0,50	**0,74**	1,03	1,37
HIP. II	σ (Kg/mm²)	5,44	5,44	**5,44**	5,44	5,44
	f (m)	0,21	0,37	**0,57**	0,82	1,12
HIP. III	σ (Kg/mm²)	2,86	3,27	**3,60**	3,87	4,09
	f (m)	0,39	0,61	**0,86**	1,16	1,49

De la Tabla N° 23, observamos que para el vano básico de 50m el valor del esfuerzo máximo es de 8,84 kg/mm^2, (de la hipótesis I) que está muy por debajo del esfuerzo según el ítem 17,60 kg/mm^2

Por lo tanto, el conductor eléctrico cumple con los requerimientos mecánicos

Altura del poste:

Para determinar la altura del poste de la red secundaria postes con respecto al suelo se considera una distancia mínima de 5,50 m. La distancia del vértice del poste al inicio del gancho de suspensión será de 0,30 m

La flecha según los vanos y tipo de conductores.

La longitud de empotramiento será:

[80] Elaboración propia del autor

$$\boldsymbol{Atura\ de\ empotramiento = \frac{H}{10} + 0,2..(24)}$$

La altura necesaria del poste será:

$H = \frac{H}{10} + 0,2 + D_{min} + F_{max} + H_c$

Donde:

H : Altura del poste en metros.

$D_{mín}$: distancia mínima al terreno en metros.

$F_{máx}$: Flecha máxima en metros.

Hc : Distancia del punta del poste al conductor más bajo en metros.

Para: $D_{mín}$ = 5,5 m. y Fmáx = 0,86 m. reemplazando en la ecuación anterior tenemos que la altura H es de H =7,62 m.

Por lo tanto, la utilización de postes de concreto de 8,00 m. de longitud se justifica.

En cuanto a los soportes para el conductor aéreo, se utilizarán los soportes normalizados que se detallan en la norma D.G.E. rd023-2003-EM. (Especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes secundarias en electrificación rural).

5.6. Presupuesto:

5.6.1. Suministro de materiales para el sistema Híbrido Eólico – Biomasa

Tabla N° 23: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema Eólico - Biomasa[81]

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 aerogenerador de ENAIR de 3,0 kW	24 588,66	24 588,66
01 Torre de 12 m + controlador eólico	5 588,22	5 588,22
16 baterías de 503 Ah	3 119,80	49 916,80
01 inversor MUST SOLAR de 10 kW	9 852,00	9 852,00
Gasómetro-biorreactor	5 000,00	5 000,00
Filtros y válvulas, bomba de gas	4 500,00	4 500,00
Grupo electrógeno de 10 kW	18 695,79	18 695,79
Tuberías y accesorios	3 000,00	3000,00
Total, del Suministro		121 141,66

En cuanto a los gastos en capacitación, Se consideran S/. 5 000,00 para gastos de capacitación del personal.

[81] Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 24: costo directo sistema eólico biomasa

Descripción	Costo (S/.)
Suministro de materiales	121 141,66
Montaje electromecánico	8 356,53
Transporte de materiales	2674,09
Costo directo	132 172,28

Fuente: Elaborado por el propio Autor

5.6.2. Metrado y presupuesto de la red de distribución secundaria

Tabla N° 25: Presupuesto de Redes Secundarias

PRESUPUESTO

REDES SECUNDARIAS

PROYECTO : **"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO- BIOMASA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO EL CHACO UBICADO EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA"**

DEPARTAMENTO : CAJAMARCA

PROVINCIA : CHOTA

DISTRITO : CHOTA

SECCIÓN : **RESUMEN GENERAL REDES SECUNDARIAS** nov-18

ITEM	DESCRIPCION	TOTAL S/.
A	SUMINISTRO DE MATERIALES	29,279.02
B	MONTAJE ELECTROMECANICO	19,548.39
C	TRANSPORTE DE MATERIALES	2,927.90
D	**TOTAL COSTO DIRECTO**	**51,755.31**
E	GASTOS GENERALES 10%	5,175.53
F	UTILIDAD (5%)	2,587.77
F	**COSTO TOTAL DE OBRA R.S. S/.**	**59,518.61**
H	**COSTO TOTAL DEL PROYECTO R.S. S/.**	**59,518.61**

Fuente: Elaboración propia del autor

5.6.3. Presupuesto Total

Tabla N° 26: Costo Total del Proyecto

RESUMEN GENERAL SISTEMA HIBRIDO EÓLICO-BIOMASA EN EL CASERÍO EL CHACO		
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**TOTAL (S/.)**
A	**SISTEMA HIBRIDO EÓLICO-BIOMASA**	132 172,28
B	**RED SECUNDARIA**	51 755,31
C	**SUB TOTAL**	**182 927,59**
D	**GASTOS GENERALES (10%)**	18 392,76
E	**UTILIDADES (5%)**	8 315,12
F	**GASTO TOTAL**	211 516,73
G	**IGV (18%)**	38 073,01
H	**CAPACITACIÓN DE POBLADORES**	5 000,00
I	**COSTO TOTAL DEL PROYECTO INCLUYE IGV**	**254 589,74**

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

a) La energía promedio que se deberá suministrar a las 25 unidades de vivienda y alumbrado público del caserío EL Chaco es de 52 380 Wh el cual será suministrado por un grupo electrógeno y un aerogenerador fotovoltaico. Para el mes de menor velocidad de viento que es enero, se obtuvo que la contribución del sistema eólico es de 56,80 % y el sistema con biogás aporta el 43,20 %

b) Se dimensionó el sistema eólico el cual utilizará un aerogenerador ENAIR de 3 kW, 16 baterías ROLLS de 503 Ah, 01 inversor MUST SOLAR de 10 000 kW y que suministrará energía eléctrica al Local comunal.

c) Se dimensiónó el sistema con biomasa, el biodigestor tiene un volumen de 44,48 m^3 produciendo una cantidad de 20, 05 m^3 de biogás el cual es el combustible del grupo electrógeno de 10 kW que junto con el aerogenerador suministrarán la energía eléctrica a las 25 unidades de vivienda el alumbrado público y local comunal.

d) El Costo referencial para el sistema propuesto es de eólico - biomasa es de S/. 254 589,74

BIBLIOGRAFÍA

1) ARRIETA PALACIOS, WINSTON. «“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO”.» PIURA, 2016.

2) ASPRILLA MOSQUERA, DEYBI BRAYAN. «“ESTUDIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍA RENOVABLE (SOLAR – GASIFICACIÓN DE BIOMASA) COMO ALTERNATIVA PARA SATISFACER NECESIDADES ENERGÉTICAS EN ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ”.» MEDELLIN, 2016.

3) BERNAVE CHAGUA, ISIDRO, Y CESAR ALVARO CASTILLO QUIROZ. «ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME–PUNO, 2015.» PUNO, 2017.

4) CHAVEZ SOTO, JUAN CARLOS, Y JUAN PABLO MEDINA SANCHEZ. «"ESTUDIO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO SOLAR PARA EL ALUMBRADO DE LAS VÍAS Y EL CERCO PERIMÉTRICO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA".» CHIMBOTE, 2014.

5) CHONLON VELICOSO, RONALD EDINSON. «“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE PRODUCIR BIOGÁS CON RESIDUOS ORGÁNICOS GANADEROS PARA SATISFACER LA DEMANDA ENERGÉTICA, CASERÍO EL TAMBO, MOTUPE 2016”.» MOTUPE, 2016.

6) CORONA ZUÑIGA, IVAN. «BIODIGESTOR.» HIDALGO, 2007.

7) A JOSE . «“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE BIOMASA FORESTAL COMO MEDIO DE CALEFACCIÓN Y ACS EN VIVIENDAS SOCIALES”.» VALDIVIA, 2014.

8) FERNANDEZ ZAYAS, JOSE LIUS. «DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL.» MEXICO, 2010.

9) GUERRA BAEZA, LUIS DAVID. «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO/ECONÓMICA DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA ESCUELAS DE QUINCHAO.» SANTIGO DE CHILE, 2013.

10) HUALPA MAMANI, MAIMER TOMAS. «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE SISTEMAS HIBRIDOS EOLICO SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA.» LIMA, 2006.

11) IEA. «WORLD ENERGY OUTLLOK.» 2016.

12) INDECO. «CATALOGO DE CABLES NYY -DUPLEX.» S.F.

13) JORDAN ARIAS, JOAQUIN. «ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN UN ASENTAMIENTO HUMANO DE SAN JUAN DE MARCONA.» LIMA, 2009.

14) LLAUCE CHOZO, ANTHONY JOEL. «“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL RESTAURANT EL CRUCEÑITO, UBICADO EN EL KM 901, CARRETERA LAMBAYEQUE – PIURA”.» LAMBAYEQUE, 2016.

15) MINEM. «ATLAS EOLICO DEL PERU.» LIMA, 2016.

16) MINEM, DGE. «CODIGO NACIONAL DE EELECTRICIDAD SUMINISTRO.» 2001.

17) MONSÁLVEZ LÓPEZ , MARCO A. . «“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GESTION ENERGETICA EN PLANTAS DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA CON BIOMASA COMO COMBUSTIBLE".» SANTIAGO, 2017.

18) MUÑOZ ANTICONA, DELFOR FLAVIO. «APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR PARA ELECTRIFICACION RURAL EN ZONAS MARGINALES DEL PAIS.» LIMA, 2005.

19) NUÑEZ REHBEIN, FABIAN ALONSO. «UTILIZACIÓN DE SISTEMA DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES HÍBRIDO SOLAR-EÓLICO, APLICADO AL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL BORDE COSTERO DE LA CIUDAD DE PUERTO MONTT.» CHILE, 2012.

20) ORTIZ NUÑEZ, JORGE PAUL ORTIZ. «“DISEÑO DE UNA CENTRAL ELÉCTRICA DE BIOMASA CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA PUNO, EN EL CERRO DE CANCHARANI - DEPARTAMENTO DE PUNO”.» PUNO, 2017.

21) PEREIRA RIVEIRO, FRANCISCO DE ASSIS. «PROJECTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINACION PUBLICA.» 2002.

22) RD017-2003-EM. «“ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS EN ÁREAS RURALES”.» LIMA, 2003.

23) RD024-2003-EM. «ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SOPORTES NORMALIZADOS PARA LÍNEAS Y REDES PRIMARIAS PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL .» LIMA, 2003.

24) RD031-2003-EM. «BASES PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS Y REDES SECUNDARIAS CON CONDUCTOR AUTOPORTANTE PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL.» LIOMA, 2003.

25) SANCHEZ QUIROGA, DAVID. «SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA.» 2012.

26) SARIA, CARLOS ANDRÉS. «SIMULACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICO / BIOGÁS / PROPANO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA EMPLEANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL HOMER.» SANTIAGO DE CALI, 2012.

27) SENAMHI. «ATLAS DE ENERGIA SOLAR DEL PERU.» 2003.

28) SERVAN SOCOLA, JORGE. «ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE BAJA POTENCIA EÓLICO SOLAR CONECTADO A LA RED.» PIURA, 2014.

29) STEVE GOMEZ, NATALIA. «ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS A PARTIR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES SOLAR Y EÓLICA.» BOGOTA, 2011.

30) TECSUP. *GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.PDF - TECSUP.* S.F.

31) TOALA MOREIRA, EDWIN EYNER. «“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE POLIETILENO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DEL ESTIERCOL DE GANADO EN EL RANCHO VERONICA.» RIOBAMBA, 2013.

32) TOAPANTA AGULAR, RODRIGO SEBASTIAN, Y JORGE LIUS HIDALGO GUERRERO. «ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO CENTRAL HÍBRIDA SOLAR EÓLICA PARA GENERAR 500W EN LA HACIENDA “LA MERCED” UBICADA EN EL BARRIO SANTA ANA DEL PEDREGAL,

PARQUE NACIONAL COTOPAXI EN EL PERIODO 2014.» ECUADOR, 2016.

33) VALDIVIEZO SALAS, PAULO DANIEL. «DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA A 15 COMPUTADORAS PORTATILES EN LA PUCP.» LIMA, 2014.

34) VALIENTE PIEL, RAFAEL ENRIQUE. «“MODELACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR TÉRMICO - BIOMASA PARA CALEFACCIÓN DOMICILIARIA EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO”.» CHILLAN, 2015.

35) VARGAS INOÑAN, JEAN CARLOS. «IMPLEMENTACION DE MODULOS EOLICOS SOLAR PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN LA LOCALIDAD DE VALLE NUEVO-DISTRITO DE MOCHUMI.» LAMBAYEQUE, 2015.

36) VELAZQUEZ CESPEDES, ROBERTO ANDRES. «PROYECTO DE INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA UNIERSIDAD SANTIAGO DE CHILE.» TESIS, UNIERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE, SANTIAGO-CHILE, 2012.

ANEXOS

ANEXO N°01 - DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE LA ESTACIÓN HUAMBOS-CHOTA.

ANEXO N°02 - VELOCIDAD DEL VIENTO A 12 m DE ALTURA.

ANEXO N°03 - MANUAL DEL AEROGENERADOR ENAIR 3,0 kW.

ANEXO N°04 - CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR ENAIR 3,0 kW.

ANEXO N°05 - FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA ROLLS 503 Ah.

ANEXO N°06 - FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR VICTRON ENERGY.

ANEXO N°07 - PRESUPUESTO DE LA RED SECUNDARIA.

ANEXO N°08 - CALCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN.

ANEXO N°09 - DIAGRAMA DE CARGA DEL CASERÍO EL CHACO.

ANEXO N° 10 - PLANO DE RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.

ANEXO N° 11 – PLANO DEL SISTEMA HÍBRIDO.

ANEXO N° 12 - ANÁLISIS DE DATOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.