



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA**

## **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**Para Optar el Título Profesional de**

## **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO, DE LA UTILIZACIÓN DE  
ENERGIA**

**EOLICA Y SOLAR, PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA EN EL  
CASERIO LA LIMA DISTRITO SANTO TOMAS – CUTERVO –  
CAJAMARCA”**

**Presentado Por:**

**Br. José Raúl Vílchez Navarro**

**LAMBAYEQUE – PERÚ 2017**



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

## TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

## INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

“ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO, DE LA UTILIZACIÓN DE  
ENERGIA EOLICA Y SOLAR, PARA GENERAR ENERGIA

“ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO, DE LA UTILIZACIÓN DE  
ENERGIA

EOLICA Y SOLAR, PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA EN EL  
CASERIO LA LIMA DISTRITO SANTO TOMAS – CUTERVO –  
CAJAMARCA”

**Br. José Raúl Vílchez Navarro**

Aprobado por el Jurado Examinador

**PRESIDENTE:** Doc. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL

**SECRETARIO:** Doc. NOMBERRA TEMOCHE JORGE LUIS

**MIEMBRO:** Ing. JULCA OROZCO TEOBALDO

**ASESOR:** Ing. NIÑO VASQUEZ PERCY EDWAR

Lambayeque – Perú 2017



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA**



**V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**TITULO**

**“ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO, DE LA UTILIZACIÓN DE ENERGIA EOLICA Y SOLAR, PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA EN EL CASERIO LA LIMA DISTRITO SANTO TOMAS – CUTERVO – CAJAMARCA”**

**CONTENIDOS CAPITULO I:** PROBLEMA DE LA

INVESTIGACION. **CAPITULO II:** MARCO TEORICO.

**CAPITULO III:** MARCO METODOLOGICO.

**CAPITULO IV:** PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN.

**CAPITULO V:** ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

**CAPÍTULO VI:** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

**CAPITULO VII:** REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

**AUTOR: Br. José Raúl Vílchez Navarro**

---

PRESIDENTE

---

SECRETARIO

---

VOCAL

---

ASESOR

Lambayeque - 2017

## **Dedicatoria**

Este EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFECIONAL está dedicado a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos más difíciles que me han enseñado a valorar cada día más, a mis padres por ser las personas que me han acompañado durante toda mi Trayectoria estudiantil y de vida, gracias a sus consejos han sabido guiarme para Poder culminar mi carrera profesional A mis hermanos por el apoyo y confianza Depositada en mí. A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo así Como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación Profesional.

## **Agradecimiento**

Doy gracias a la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo por haberme permitido ser parte de ella, donde he podido desarrollarme como estudiante durante cinco años, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco a mi asesor Ing. Percy Edwar Niño Vásquez por haberme apoyado con su capacidad y conocimientos científicos, y poder desarrollar mi tesis. Mi agradecimiento también va dirigido a mi hermano Lenes Vílchez por sus aportes que han contribuido en el desarrollo de este proyecto.

Y para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clases durante todos los niveles de la universidad ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en gran porcentaje a las ganas de seguir adelante en mi carrera profesional

## RESUMEN

La investigación y desarrollo en tecnología de Aero generación de baja potencia (2 kW), y la implementación de Sistemas Fotovoltaicos es limitada en el país y en el mercado internacional, no obstante que se presenta como una solución energética estratégica para zonas rurales que disponen del recurso eólico y solar en lugares en donde no se tiene el acceso al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y en donde no existe redes de Transmisión y Distribución Eléctrica de dicho sistema, entonces en dicha zona la única alternativa es la generación aislada, por ello la energía renovable es una buena opción y se plantea el uso de aerogeneradores de pequeña potencia para satisfacer la demanda de energía eléctrica doméstica y comunitarias en zonas rurales.

El presente trabajo es una investigación aplicada cuya metodología parte de la evaluación de tecnologías independientes como son el uso de aerogeneradores y los paneles fotovoltaicos y la combinación adecuada de éstas dos tecnologías, para lo cual se ejecutaron labores de gabinete y de campo, que dan como resultado el diseño de un Aerogenerador de 2 kW con imanes permanentes de neodimio, el uso de 28 paneles Fotovoltaicos de 240Wp, acumuladores o baterías, Reguladores de carga e Inversor que conforman un Sistemas Híbrido Eólico-fotovoltaicos para suministrar energía eléctrica para los pobladores del caserío LA LIMA distrito Santo Tomás de Cuervo, cuya demanda energética es de 49,25 kWh/día, lo que permitirá mejorar la calidad de vida y mitigar los impactos ambientales por las emisiones contaminantes por el uso de carbón, velas, mecheros y grupos electrógenos. Esta alternativa propuesta tiende a ser la mejor alternativa que utiliza fuentes renovables de gran potencial en el lugar dado que ésta se encuentra en el caserío "La Lima" en una ubicación favorable don hay soy y viento en buena parte de todo el año, lo que se puede corroborar en el mapa eólico y solar donde contamos con una velocidad de viento de 7.5 m/s (a 10 m de altura) y una irradiación de 5.75 KW/m<sup>2</sup>.

Existe otra alternativa para el suministro de energía eléctrica la cual es la ampliación de redes de transmisión y/o distribución de energía eléctrica desde el norte del distrito de santo tomas hasta el caserío la Lima que se encuentra a una distancia de 17 km, haciendo inviable esta alternativa de solución por alto costo del proyecto, que supera los US\$ 840 000 (solo la red primaria de MT).

Para la realización de este estudio se ha calculado la demanda energética a partir de la demanda máxima de los consumidores, teniendo en cuenta la potencia instalada, así como los factores de demanda de simultaneidad y de utilización. Además, se distingue las cargas de uso residencial, que considera el consumo doméstico, y el de uso comunitario, en el que se incluye una Posta Médica, Local Comunal, Local de ronda campesina, una pequeña escuela y el alumbrado público. Es decir la energía utilizada en viviendas no solamente es

usada para la iluminación y artefactos eléctricos; si no también para cargas especiales para los locales de uso comunitario

En los criterios de optimización del sistema se ha considerado la mayor confiabilidad del sistema de tal forma de no afectar las cargas críticas de uso comunitario para esta localidad; no obstante el sistema tiene capacidad de suministrar energía para todas las viviendas de dicho caserío.

Este material se brinda como herramienta de consulta, esperando contribuir con la implementación de futuros proyectos similares en zonas de similar características

## **PALABRAS CLAVES**

Energía eólica, aerogeneradores, sistema fotovoltaico, sistemas híbrido eólicos.

### **Abstracta**

The research and development in technology of Wind System of low power (2 kW), and the implementation of Photovoltaic Systems is limited in the country and in the international market, however, that is presented as a strategic energy solution for rural areas that have the wind resource and solar in places where there is no access to the national power grid (SEIN) and where there is no networking of electrical transmission and distribution of such a system, then in that area the only alternative is the isolated generation, by this renewable energy is a good option and is raised by the use of small wind turbines for power to meet the demand for electric power in domestic and community areas Rural.

This master's thesis is an applied research methodology which part of the evaluation of separate technologies such as the use of wind turbines and photovoltaic panels and the proper combination of these two technologies, which are executed work of cabinet and field, which had resulted in the design of a 2kW wind turbine with neodymium permanent magnets, the use of 28 photovoltaic panels 240Wp, accumulators or batteries, charge Regulators and Inverter systems that make up a hybrid wind-pv to supply electricity to the residents of La Lima of the Province of Cutervo, whose energy demand is 49.25 kWh/day, which will make it possible to improve the quality of life and mitigate The environmental impacts of polluting emissions by the use of coal, candles, lighters and generators. This alternative proposal tends to be the best alternative that uses renewable sources of great potential in the place given that this is located on the beach "The Lima" on the sea shore with favorable wind and the sun during the whole year, what can be corroborated in the solar wind map and where we have a wind speed of 7.5 m/s (10 m in height) and an irradiance of 5.75 KWh/m<sup>2</sup>.

### **KEY WORDS**

Wind power, wind turbines, photovoltaic system, wind hybrid systems.

## Índice general

INTRODUCCION.....	18
-------------------	----

### **CAPITULO I:**

<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
1.1 Realidad Problemática.....	20
1.1.1 Situación actual de la energía eólica.....	20
1.1.2 Situación actual de la energía solar.....	26
1.2 Formulación del problema.....	28
1.2.1 Problema general.....	28
1.2.2 Problemas específicos.....	29
1.3 Delimitación de la Investigación.....	29
1.3.1 Delimitación espacial.....	29
1.3.2 Delimitación temporal.....	29
1.4 Justificación de la investigación.....	29
1.4.1 Justificación teórica.....	29
1.4.2 Justificación económica.....	30
1.4.3 Justificación tecnológica.....	30
1.4.4 Justificación legal.....	30
1.5 Objetivos de la investigación.....	31
1.5.1 Objetivo general.....	31
1.5.2 Objetivos específicos .....	31

## CAPITULO II:

<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>32</b>
2.1 Desarrollo Temático.....	32
2.1.1 Recurso eólico.....	32
2.1.1.1 Aprovechamiento del viento.....	32
2.1.1.2 Velocidad del viento.....	32
2.1.1.3 Energía eólica.....	33
2.1.1.4 Aplicaciones y desarrollo.....	33
2.1.1.5 Pequeños aerogeneradores.....	34
2.1.1.6 Generadores eólicos horizontales.....	34
2.1.1.7 Maquinas con rotor a barlovento.....	35
2.1.1.8 Maquinas con rotor a sotavento.....	36
2.1.1.9 Aerogenerador tripala.....	37
2.1.1.10 Flujo de la energía eólica.....	38
2.1.1.11 Energía y potencia del viento.....	38
2.1.1.12 Rugosidad.....	39
2.1.2 Recurso solar.....	40
2.1.2.1 Aprovechamiento del sol.....	40
2.1.2.2 Irradiancia solar.....	40
2.1.2.3 Energía solar.....	40
2.1.2.4 Radiación solar.....	41
2.1.3 Sistema hibrido eólico-fotovoltaico (SHEFV).....	44
2.1.4 Concepto de sistema.....	45
2.1.4.1 Potencial energético de un SHEFV.....	46
2.1.4.2 Método de dimensionamiento del (SHEFV).....	46

2.2	Definición conceptual de terminología empleada.....	50
-----	---	----

### **CAPITULO III**

<b>MARCO METODOLOGICO.....</b>	<b>70</b>	
3.1	Tipo y diseño de la investigación.....	71
3.2	Población y muestra.....	73
3.3	Hipótesis.....	74
3.3.1	Hipótesis general.....	74
3.3.2	Hipótesis específicas.....	74
3.4	Variables.....	75
3.4.1	Recurso eólico.....	75
3.4.2	Recurso solar.....	75
3.4.2	Calidad de vida del poblador.....	75
3.5	Métodos y técnicas de investigación.....	75
3.5.1	Indicadores.....	75
3.5.1.1	Indicador de velocidad del viento.....	75
3.5.1.2	Indicador de irradiancia solar.....	76

### **CAPITULO IV**

<b>PROPUESTA DE LA INVESTIGACION.....</b>	<b>77</b>	
4.1	Alternativas de solución.....	77
4.2	Desarrollo de la propuesta de solución.....	78
4.3	Ubicación del proyecto.....	79
4.4	Determinación de la demanda.....	82
4.5	Determinación de los recursos energéticos.....	86
4.6	Dimensionado del Sistema eólico-fotovoltaico.....	86

4.7	Dimensionado del sistema eólico.....	92
4.8	Dimensionado del sistema fotovoltaico.....	92
4.9	Dimensionado de la red mt 17 km para suministro de energía....	93
4.10	Selección de componentes del equipo.....	93
4.10.1	Selección del regulador de carga.....	93
4.10.2	Selección de la batería.....	94
4.10.3	Selección de un inversor aislado dc/ac.....	96
4.10.4	Estrategia de control.....	96
4.10.5	Análisis comparativo de costos de alternativas del proyecto.....	97
4.11	Detalle de costos del proyecto de mejor alternativa.....	99
4.12	Estimación de los ingresos por venta de energía.....	100
4.13	Plan de implementación.....	102

## **CAPITULO V**

<b>ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>104</b>	
5.1	Resultados operativos.....	104
5.1.1	Energía solar fotovoltaica.....	104
5.1.2	Energía eólica.....	104
5.1.3	Baterías y regulador de carga.....	105
5.1.4	Inversor dc/ac.....	105
5.1.5	Suma de energías.....	105
5.1.6	Costo de sistema.....	105
5.2	Resultados computacionales.....	106
5.3	Resultados económicos financieros.....	106

## **CAPITULO VI:**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
6.1 Conclusiones.....	107
6.2 Recomendaciones.....	108

## **CAPITULO VII**

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>110</b>
--	------------

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>110</b>
--------------------------	------------

## **CAPITULO VIII**

<b>ANEXOS.....</b>	<b>111</b>
ANEXO I: Resultados computacionales.....	111
ANEXO II: Gestión de residuos sólidos peligrosos.....	117
ANEXO III: Resultados financieros.....	125
ANEXO IV Estimación de la carga total actual.....	128
ANEXO V Pliego tarifario máximo del servicio de electricidad.....	130

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Potencial energético del viento en el Perú.....	25
Tabla 2.1	Coeficiente de rugosidad.....	43
Tabla 2.2	Clase de rugosidad por paisaje.....	43
Tabla 2.3	Eficiencia fotovoltaica en distintos materiales.....	61
Tabla 2.4	Tamaño de cables, corriente y potencia máxima.....	79
Tabla 3.1	Consumo energético diario.....	84
Tabla 4.1	Ventajas y desventajas del sistema eólico solar.....	87
Tabla 4.2	Estimación de la demanda de energía diaria.....	93
Tabla 4.3	Capacidad fotovoltaica caso 1.....	97
Tabla 4.4	Cantidad de paneles solares caso 1.....	97
Tabla 4.5	Capacidad del generador eólico caso 2.....	99
Tabla 4.6	Velocidad del viento a 6m de altura.....	100
Tabla 4.7	Capacidad fotovoltaica para demanda total.....	104
Tabla 4.8	Selección del Regulador de carga.....	106
Tabla 4.9	Selección y dimensionamiento de la batería.....	107
Tabla 4.10	Costos de alternativas.....	110
Tabla 4.11	Costo total estimado.....	112
Tabla 4.12	Inversión en equipamiento de un SHEFV.....	112
Tabla 4.13	Costo anual de operación y mantenimiento.....	113
Tabla 4.14	Diagrama de actividades.....	117
Tabla 5.1	Costos de alternativas.....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- potencia eólica anual instalada en el mundo.....	19
Figura 1.2- Represa Gallito Ciego.....	22
Figura 1.4: Aerogenerador Black 3000–Chorrillos.....	24
Figura 1.5 – Precio del Vatio vs Potencia acumulada.....	28
Figura 2.1: Aerogenerador a barlovento.....	39
Figura 2.2: Aerogenerador a sotavento.....	40
Figura 2.3: Aerogenerador horizontal tripala.....	41
Figura 2.4 Histograma de las Velocidades del viento.....	42
Figura 2.5 espectro electromagnético del sol sobre la superficie de la tierra	46
Figura 2.6 componentes de la radiación solar terrestre.....	47
Figura 2.7 – Balance energético sobre un cuerpo.....	48
Figura 2.8 Bosquejo de un sistema.....	50
Figura 2.9 Área A barrida por el rotor de diámetro D.....	53
Figura 2.10 Grandes aerogenerador y sus partes.....	57
Figura 2.11 – Pequeños aerogeneradores y sus partes.....	59
Figura 2.12 Sistema Fotovoltaico.....	60
Figura 2.13 – Panel Solar.....	62
Figura 2.14 Influencia de la temperatura enSFV.....	63
Figura 2.15 - Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos.....	67
Figura 2.16 – Regulador de Carga.....	69
Figura 2.17- Batería.....	72
Figura 2.18 – Curva de carga Caserío La Lima.....	75
Figura 2.19 – Esquema de sistema hibrido.....	76

Figura 2.20 – Inversor de voltaje DC/DA.....	76
Figura 2.21 – Cables eléctricos.....	77
Figura 2.4: Tamaño de cables, corriente y potencia máxima.....	79
Figura 3.1 - Procesos de estrategias de solución.....	80
Figura 4.1 – Ubicación de Santo tomas en el contexto nacional.....	89
Figura 4.2 – Ubicación del proyecto.....	90
Figura 4.3 – Esquema de sistema híbrido eólico-fotovoltaico.....	90
Figura 4.4 – Diagrama de flujo para dimensionar el sistema.....	91
Figura 4.5 – Diagrama de carga caserío La Lima.....	93
Figura 4.6 - Sistema de Paneles Solares para sistemas asilados con tecnología OF-GRID (Fuente: Geebo Electronic Technology Co., Lto – China).....	98
Figura 4.7 - Aerogenerador de eje horizontal de tres palas.....	101
Figura 4.8 – Curva de potencia del aerogenerador de tres palas 2kW.....	102
Figura 4.9 Curva de potencia del aerogenerador de tres palas 5kW.....	103
Figura 4.10 Curva de Potencia del Aerogenerador de tres palas10 kW.....	104
Figura 4.11 Inversor banco de baterías.....	108
Figura 4.12 - Representación de un Sistema Híbrido.....	116
Figura I.1 Esquema del sistema simulado en Homer.....	118
Figura I.2: Ventana Solar Resource Inputs de HOMER.....	120
Figura I.3: Ventana Wind Resource Inputs de HOMER.....	121
Figura I.4: Ventana Primary Load Inputs de HOMER.....	122
Figura I.5: Ventana PV Inputs de HOMER.....	124
Figura I.6: Ventana Wind Turbine Inputs de HOMER.....	125
Figura I.7: Ventana Battery Inputs de HOMER.....	126
Figura I.8: Ventana Converter Inputs de HOMER.....	127

## NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA

MWp	:	Megawatt pico
MW	:	Megawatt= $10^3$ KW
GW	:	Gigawatt= $10^3$ MW
SFV	:	Sistema Fotovoltaico
Kwh/m <sup>2</sup>	:	Energía/m <sup>2</sup>
Kv	:	Kilovoltio
Km	:	Kilometro
CO <sub>2</sub>	:	Dióxido de carbono
SHEFV	:	Sistema Hibrido eólico fotovoltaico
FE	:	Factor de emisión
Ton CO <sub>2</sub> eq	:	Tonelada de CO <sub>2</sub> Equivalente
Pf	:	Población futura
Pa	:	Población actual
V(h)	:	Velocidad a la altura h del suelo
Vref	:	Velocidad media a una altura Zref
Z	:	Altura desde el suelo
Z <sub>0</sub>	:	Longitud de la rugosidad
Zref	:	Altura de referencia
CA	:	Capacidad del generador
Cs	:	Capacidad del acumulador
DMFv	:	Demanda máxima fotovoltaica
Ea	:	Energía acumulada
Capnec	:	Capacidad necesaria
Capect	:	Capacidad efectiva
Capbat	:	Capacidad de la batería

## INTRODUCCIÓN

En el País se han realizado pocas instalaciones con el uso de fuentes renovables no convencionales como las centrales eólicas, de biomasa y las centrales solares fotovoltaicas, así como también se han implementado centrales hidroeléctricas de mediana capacidad, de los cuales podemos citar la puesta en marcha de cuatro centrales solares fotovoltaicas de 20 MWp cada una en los departamentos de Tacna y Moquegua, asimismo la puesta en servicio del parque eólico de 32 MW en Marcona departamento de Ica desde el 25/04/2014

La extensión de red eléctrica todavía se considera como la primera opción para la electrificación rural; sin embargo hay muchos lugares en el Perú donde la red eléctrica no ha llegado y es poco probable que llegue en el futuro, al menos en el corto y mediano plazo para todos estos lugares existen otras alternativas de suministro eléctrico. En estos entornos aislados las principales tecnologías de generación eléctrica ofertadas son los grupos diesel, y otras tecnologías limpias como son los pequeños aerogeneradores y sistemas fotovoltaicos. El uso de generadores diesel tiene la desventaja de sus elevados costos del combustible; así como la contaminación ambiental.

El presente estudio intenta comparar el uso de pequeñas turbinas eólicas de eje horizontal con imanes permanentes de Neodimio, el uso de paneles fotovoltaicos y los sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos para aprovechar las velocidades de viento y radiación solar considerables que existen en zonas de la sierra de la región Cajamarca.

Existen aerogeneradores de baja potencia como los desarrollados por Soluciones Prácticas ITDG, el IT-100 que funciona con un generador de imanes permanentes de 100 W, denominado IT-PE-100, instalado en nuestro país en el caserío el Alumbre Cajamarca, también hay experiencias en aerogeneradores de baja potencia para una casa rural en Zimbabwe.[4]. La investigación y desarrollo en tecnología de aerogeneradores de pequeña potencia (100 W) , es limitada en el país y en el mercado internacional, no obstante se presenta como una solución

energética y socioeconómica de zonas rurales que disponen del recurso eólico. ITDG viene trabajando en el desarrollo de pequeños aerogeneradores para satisfacer cargas domésticas unifamiliares de zonas rurales.

El área geográfica donde se sitúa el caserío LA LIMA , ubicada en el Distrito Santo Tomas y Provincia de Cuervo, Departamento de Cajamarca, posee características climáticas óptimas por los vientos fuertes y la radiación solar existente lo que nos permitirá el aprovechamiento del recurso eólico y solar. Este caserío desarrolla su economía básicamente con actividades relacionadas a la agricultura y ganadería y tiene una población beneficiaria de 296 habitantes distribuidos en 74 viviendas rústicas (Ficha SNIP 102399 Ministerio Economía y Finanzas Perú, 2015). En cuanto al servicio de energía eléctrica, el Centro Poblado no cuenta con este servicio. La aplicación de tecnologías limpias renovables, está orientado a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo.

Este Proyecto estudia y evalúa la alternativa de implementación de Sistemas de Generación Eólica, paneles fotovoltaicos y Generación Híbrida eólica-fotovoltaica de pequeña potencia y está encaminado al diseño y la selección de equipos para un sistema eólico aislado, celdas fotovoltaicas, sistemas híbridos eólicos fotovoltaicos aprovechando los recursos de la zona, el mismo que servirá de apoyo para futuras investigaciones.

Los sistemas eólicos, fotovoltaicos e híbridos son sistemas de generación de energía eléctrica que opcionalmente son auxiliadas con combustibles fósiles y con almacenamiento en baterías. Para el desarrollo de sistemas eólicos se ha identificado una serie de requerimientos específicos y características para el abastecimiento de energía eléctrica; específicamente en comunidades rurales.

# CAPITULO I

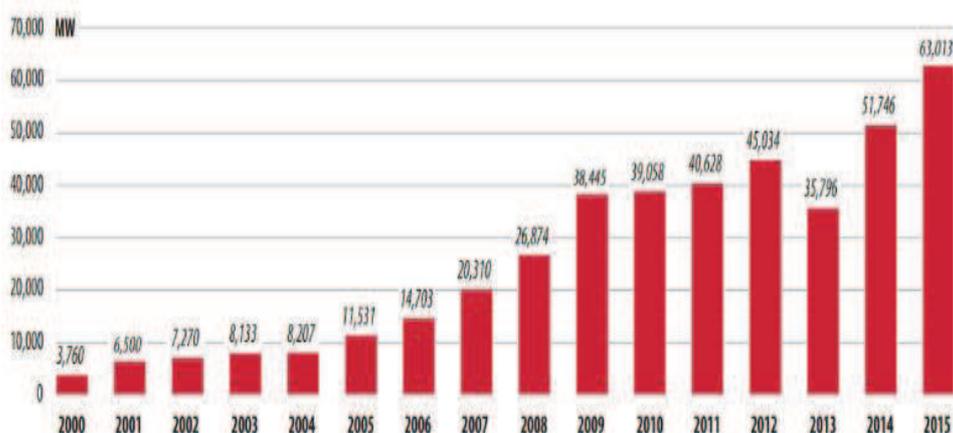
## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Realidad Problemática

#### 1.1.1 Situación Actual de la Energía Eólica

La energía eólica es una de las energías renovables más usadas en el mundo. Permite el ahorro de dinero a largo plazo, así como el respeto al medio ambiente.

La energía eólica instalada en el mundo creció un 17% en 2015, hasta situarse en 432.419 MW, según datos del Global Wind Energy Council (GWEC). China, Estados Unidos, Alemania, India y España son los primeros productores mundiales.



**Figura 1.1- potencia eólica anual instalada en el mundo Fuente GWEC**

Los países de Latino América que más apuestan por la sostenibilidad y energías renovables, en este caso energía eólica son: Brasil el país que más está impulsando la industria de la energía eólica, seguido de México, Chile, Argentina y Costa Rica, líder a nivel Centroamericano.

La energía eólica tiene un enorme potencial en América Latina. Con su relativamente baja densidad de población, grandes distancias y necesidades de

energía en lugares remotos, América Latina ofrece un entorno ideal para aprovechar la energía del viento.

Las necesidades de energía en lugares con mucho viento, pero aisladas o remotas, como las islas del Caribe, las montañas y mesetas de los Andes y las cordilleras de Mesoamérica, así como las vastas sabanas de la región (llanos, cerrado, Chaco y pampas), se pueden atender más eficientemente por medio de turbinas eólicas que con cualquier otra alternativa. La energía eólica es más fácil de adaptar a gran escala que la energía solar: en comparación con los paneles solares o concentradores solares, las turbinas eólicas generan más electricidad con respecto al área que ocupan, y esta diferencia es cada vez mayor, a medida que los aerogeneradores aumentan de tamaño y eficiencia. Por lo tanto, la energía eólica puede ser una tecnología más apropiada en zonas aisladas con necesidades energéticas importantes. Si se planifican con cuidado, las instalaciones de turbinas eólicas tienen poco efecto adverso sobre los ecosistemas, y en los grandes espacios deshabitados de la región, pueden tener escasos o nulos impactos estéticos y de sonido. La energía eólica complementa muy bien las redes eléctricas de la región, en las que predomina la generación hidroeléctrica, ya que la generación hidroeléctrica puede responder fácilmente a la intermitencia de los vientos, en contraste con la generación térmica, que es mucho menos flexible en general; y, al menos en algunas partes de la región, los vientos son más fuertes durante la estación seca, precisamente cuando la generación hidroeléctrica es más limitada.

En el Cono Sur, Chile y Argentina están invirtiendo fuertemente en energía eólica, y se espera que ambos países superen a México en cuanto a potencia total instalada en los próximos diez años. Por último, varios nuevos proyectos también están tomando forma en el Perú y Uruguay.

No obstante, la energía eólica sigue siendo un recurso relativamente poco explotado en la región, especialmente en relación con su enorme potencial. Para que este potencial se haga realidad, la política energética tiene que superar la mentalidad que ha dominado el sector en toda su historia en América Latina y el Caribe: la obsesión por la generación hidroeléctrica. A pesar de los crecientes costos de construcción de grandes represas en lugares cada vez más remotos, de

más protestas de las comunidades indígenas afectadas por la construcción de estas represas, y del creciente conocimiento de los costos ambientales de este tipo de instalaciones, muchos gobiernos de la región siguen convencidos de que el aprovechamiento del potencial hidroeléctrico restante es el mejor camino a seguir, y están gastando grandes sumas de dinero en proyectos.

Perú tradicionalmente produce energía hidroeléctrica y pertenece a los países con una alta tasa de energías renovables. Buenos ejemplos son la central hidroeléctrica Gallito Ciego, una represa en el departamento de Lambayeque o la enorme Central Hidroeléctrica Mantaro, una obra maestra que, con una capacidad de más de 1 GW, suministra aproximadamente el 20% del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).



**Figura 1.2- Represa Gallito Ciego Fuente gsaga.com**

En la primera década de los años 2000, el gobierno retomó sus intereses e inversiones en una producción de electricidad diversificada, que incluye la energía renovable tradicional y moderna. Nuevas leyes han sido introducidas.

Actualmente hay 4 parques eólicos en operación. El presidente del Perú inauguró el 2 de Mayo 2014 el primer parque eólico en Marcona (Ica). La potencia nominal es de 32 MW, generada por 11 turbinas modernas (cada una con un diámetro de

108 metros). El 3 de Septiembre 2014 empezó la operación comercial de las instalaciones eólicas de Cupisnique (Pacasmayo, La Libertad) con 83.15 MW y Talara (Piura) con 30.86 MW. Desde el 11 de Marzo 2016, el parque eólico Tres Hermanas (Ica) con una capacidad nominal de 97.15 MW, inyecta su energía a la red.

La capacidad nominal de todas las instalaciones eólicas conectadas a la red pública es de 239 MW.

#### **1.1.1.1. Generación eólica de baja potencia en el Perú**

En el Perú la organización internacional Soluciones Prácticas ITDG, viene trabajando en la investigación y desarrollo de dos modelos de aerogeneradores de 100 y 500 W. En el 2007 - 2009 para electrificación rural de toda la comunidad de El Alumbre, en Cajamarca, instalándose 33 sistemas de 100 W para igual número de familias, y para la posta médica y escuela, aerogeneradores de 500 W. En este mismo período se instaló el primer túnel de viento en el país conjuntamente con la UNI, herramienta aerodinámica fundamental para la investigación en el tema. En el 2009 se implementó el primer micro red eólica del Perú con cuatro aerogeneradores de 500 W para dotar de energía a 15 familias de Alto Perú en Cajamarca.

La empresa Waira Energía S.A.C., ha tenido en estos últimos años una actividad muy intensa en investigación, desarrollo e implementación de aerogeneradores de baja potencia. Ha logrado con éxito implementar sistemas de 1500 o 1000 W en avícolas de Huacho, Huara, que abastecen de electricidad a las viviendas de los trabajadores, a sistemas de comunicación y PC, y a un decodificador de satélite.

Por otro lado, La empresa Energía Innovadora SAC representa a los más importantes fabricantes de generadores eólicos pequeños de los Estados Unidos como son SouthWest®, Alemania Winforce® Windpower. Energía Innovadora ha logrado Instalar generadores eólicos en diferentes regiones del Perú para bombeo y procesos en proyectos agroindustriales en la costa, y ha realizado estudios de viento y factibilidad en proyectos eólicos en diferentes regiones del país, para empresas en Ilo, Lima, Ica y Talara

En Lima hay un Aerogenerador para suministrar energía eléctrica para luz y música de una terraza. Recién demostró su utilidad durante una ausencia de electricidad produciendo lo básico para luz y computadora durante todo el día sin usar la batería. La foto muestra esta instalación.

Otra demostración fue realizada durante una exposición en Yaurisque/Cusco (Centro de Capacitación para el Desarrollo - CECADE de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - UNSAAC), Simposio Peruano de Energía Eólico-Sola



**Figura 1.4: Aerogenerador Black 3000–Chorrillos fuente uni**

#### **1.1.1.2. Potencial eólico en el Perú**

Respecto a evaluaciones del recurso eólico en el Perú, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) elaboró un primer mapa eólico en 1983, en base a información recogida por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y el propio ITINTEC.

En el año 2000, el SENAMHI, a través de su Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales, elaboró el siguiente cuadro referencial con fines energéticos:

lugar	región	altitud (msnm)	velocidad media (m/s)	energía producible (kwh/año)
Tumbes	Tumbes	25	2.6	252
Talara	Piura	50	8.5	4,993
Piura	Piura	46	4.0	642
Chiclayo	Lambayeque	27	5.1	1,281
Trujillo	La Libertad	33	5.0	1,243
Chimbote	Ancash	11	5.5	1,157
Aeropuerto	Lima	13	3.4	507
Laguna Grande	Ica	10	6.5	2,465
Marcona	Ica	31	6.4	1,329
Pta. Atico	Arequipa	20	6.7	2,701
Pta. De Coles	Moquegua	50	5.0	1,223
Tacna	Tacna	452	2.5	363

**Tabla 1.1 – Potencial energético del viento en el Perú Fuente Ministerio de Energía y Minas**

A fines de 2008 el MINEM, a través de la Dirección de Fondos Concursales (FONER), publicó el mapa eólico del país, trabajo encargado al consorcio conformado por Metesoim Truewind S.L. y Latin Bridge Business S.A. El estudio reportó información preliminar muy valiosa sobre determinados lugares que cuentan con cierto potencial eólico aprovechable, facilitando y orientando a los interesados a realizar estudios de cuantificación y a su aprovechamiento a través de un parque eólico. El estudio ha cuantificado el potencial existente en el país en 22 452.00 MW, siendo las regiones de la costa las que poseen mayores velocidades de viento.

#### **1.1.1.3. Ventajas de la energía eólica**

La energía eólica presenta ventajas frente a otras fuentes energéticas convencionales:

- Procede indirectamente del sol, que calienta el aire y ocasiona el viento.
- Se renueva de forma continua.

- Es inagotable.
- Es limpia. No contamina.
- Existe en todo el mundo.
- Cada vez es más barata conforme aumenta la tecnología.
- Permite el desarrollo sin expoliar la naturaleza, respetando el medio ambiente.
- Las instalaciones son fácilmente reversibles. No deja huella.

### **1.1.2. Situación Actual de la Energía Solar**

La Energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan. Este crecimiento se ha producido gracias a los mecanismos de fomento de algunos países, que, como España, han propiciado un gran incremento de la capacidad global de fabricación, distribución e instalación de esta tecnología.

La tecnología solar cuyo uso está más generalizado es la fotovoltaica. Al final de 2015 había instalados un total de 227 GW en todo el mundo. El uso de células solares para producir electricidad mediante el efecto fotovoltaico se está extendiendo ampliamente en todo el mundo y los precios están cayendo rápidamente a medida que la eficiencia de las células mejora y el número de instalaciones crece, generándose economías de escala que reducen sustancialmente los precios.

El interés y el atractivo de la energía solar fotovoltaica es que su funcionamiento es silencioso, sencillo y sin partes móviles; además, la instalación es relativamente simple. Aunque los materiales que utilizan las células solares son caros y costosos inicialmente (silicio, CdTe, CuGaInSe<sub>2</sub>) esta situación está cambiando rápidamente conforme aumenta la cantidad de potencia instalada en el mundo. De hecho, la energía solar fotovoltaica presenta una evolución de los costes unitarios por capacidad instalada (lo que se conoce como “curva de aprendizaje”) de las más competitivas de cualquier tecnología de producción de energía eléctrica.

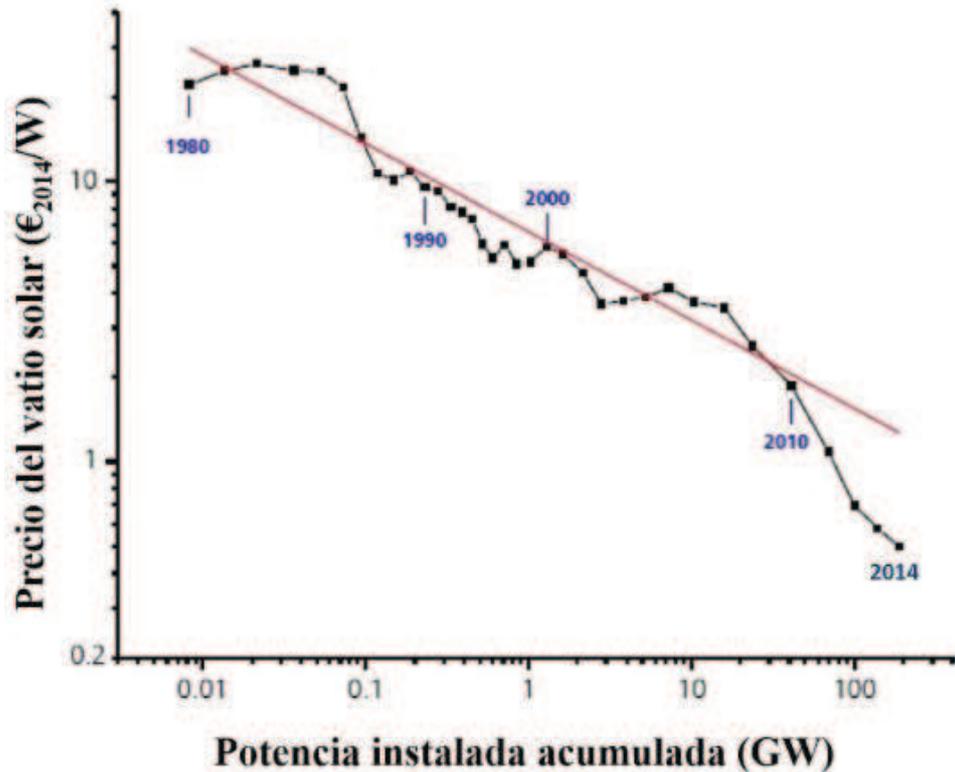


Figura 1.5 – Precio del Vatio vs Potencia acumulada Fuente

blogs puplico .es

Curva de aprendizaje de la energía solar fotovoltaica. El eje vertical muestra el precio del vatio solar, expresado en €2014/W; el eje horizontal detalla la potencia instalada acumulada en el mundo, expresada en GW. Ambas escalas son logarítmicas.

Parece probable que la tendencia marcada por la curva continúe, ya que la apuesta por esta fuente de energía es firme en gran número de países, lo que elevará sustancialmente la potencia instalada, reduciendo nuevamente los precios.

El Perú cuenta con un alto potencial solar, por su incidencia diaria y constancia durante el año: contamos con un potencial promedio de energía de 5.24 kwh/m<sup>2</sup> (de acuerdo al Atlas de Energía Solar del Perú, 2003). Se considera que la energía solar en 4kW.h/m<sup>2</sup> es atractiva para la inversión para el uso de tecnologías de conversión fotovoltaica. (Fuente: CER UNI. Diagnóstico de las Instalaciones Fotovoltaicas y Elaboración de Propuesta Normativa, Lima, 2005: OSINERG). Según cifras del Ministerio de Energía y Minas (2004), el Perú cuenta con una

potencia instalada de alrededor de 3.73 MWp (o Mega watt pico). Del total de aplicaciones, se tiene que las principales son las siguientes:

Sistemas Fotovoltaicos (SFV) en comunicaciones: 44,772 unidades.

Sistemas Fotovoltaicos (SFV) para uso domiciliario (electrificación rural, iluminación, uso comunal): 17,448 unidades.

En cuanto a las instalaciones fotovoltaicas adjudicadas en las dos primeras subastas RER, se encuentran en operación comercial cuatro parques solares con una potencia total de 80 MW:

C.S. Majes 20T (20 MW, Arequipa, En servicio 2012)

C.S. Repartición 20T (20 MW, Arequipa, En servicio 2012)

C.S. Central Tacna (20 MW, Tacna, En servicio 2012)

C.S. Panamericana (20 MW, Moquegua, En Servicio 2012)

C.S. Moquegua FV 16 MW (16 MW, Moquegua, en servicio)

## **1.2. Formulación del Problema**

En nuestro país existen zonas rurales o centros poblados donde las redes eléctricas provenientes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), no han llegado por lo alejado que estas se encuentran de las redes eléctricas de Transmisión y Distribución, entonces la única forma que tienen los pobladores de estos lugares es la utilización de medios artesanales de iluminación como el uso de velas, mecheros y/o pequeños grupos electrógenos.

Los grupos electrógenos, velas y mecheros liberan dióxido de carbono CO<sub>2</sub> contaminando el interior de las viviendas en las zonas rurales. Entonces una alternativa sustentable de solución para estos lugares es el uso de fuentes de energía renovable, como el viento y la radiación solar es el uso de Sistemas de Generación Eólica y Fotovoltaica.

### **1.2.1. Problema General**

¿Se puede utilizar el recurso eólico y solar para la generación de energía eléctrica en el caserío La Lima, distrito Santo Tomás y así mejorar la calidad de vida de la población?

### **1.2.2. Problemas Específicos.**

1. ¿Es óptima la combinación del sistema híbrido eólico-fotovoltaico (SHEFV)?
2. ¿Se puede cubrir los requerimientos energéticos del caserío La Lima, distrito Santo Tomás?
3. ¿Son suficientes los recursos eólico-solares para poder aprovecharlos en la generación de energía eléctrica?
4. ¿Cuál es el costo de instalación de los equipos necesarios para el sistema híbrido eólico-fotovoltaico?

### **1.3. Delimitación de la Investigación**

#### **1.3.1. Delimitación Espacial**

La investigación se desarrolló en el caserío La Lima, distrito Santo Tomás, provincia Cutervo departamento Cajamarca.

La lima está ubicada en las siguientes coordenadas 6°8'47.86" latitud sur 78°39'52.28" longitud oeste y una altitud de 1990 msnm con una población de 296 habitantes y 76 viviendas

#### **1.3.2. Delimitación Temporal**

La investigación se desarrolló en los meses de agosto setiembre octubre y noviembre del año 2016.

### **1.4. Justificación e Importancia de la Investigación**

#### **1.4.1. Justificación teórica**

El área geográfica en la cual se encuentra el caserío La Lima proporciona los recursos solares y eólicos necesarios para la implementación de sistemas que

permitan su aprovechamiento, en este caso un sistema híbrido. La ventaja de diseñar un sistema híbrido eólico-fotovoltaico es que nos permite garantizar a la continuidad del servicio eléctrico, ya que posee dos fuentes de energías renovables.

#### **1.4.2. Justificación económica**

En el caserío La Lima, distrito Santo Tomás no es factible la ampliación de las redes eléctricas del servicio público para el suministro de electricidad, por su alto costo económico y el bajo consumo que estos demandan, en este caso las energías renovables como fuente de generación eléctrica aislada son el principal recurso a tener en cuenta, comparado con la generación térmica.

El diseño de un Sistema Híbrido eólico-fotovoltaico para el caserío La Lima brinda la posibilidad de utilizar energías alternativas, además de proporcionar la energía requerida, permite un ahorro monetario y aporta con la conservación del medio ambiente.

#### **1.4.3. Justificación tecnológica**

El presente estudio pretende despertar el interés de entidades y gobiernos locales para fomentar la implementación de tecnologías limpias en sus edificaciones e incluso solucionar la falta de energía eléctrica en lugares inaccesibles o lejanos para la red eléctrica nacional.

#### **1.4.4. Justificación legal**

DECRETO LEGISLATIVO DE PROMOCION DE LA INVERSION PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD CON EL USO DE ENERGIAS RENOVABLES, D.L. 1002 (02/05/2008). Tiene por objeto promover el aprovechamiento de los Recursos Energéticos Renovables (RER) para mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente, mediante la promoción de la inversión en la producción de electricidad.

REGLAMENTO DE PROTECCION AMBIENTAL EN LAS ACTIVIDADES ELECTRICAS (1994/06/08) D.S. N° 29-94-EM (1994/06/07). Se norma la interrelación de las actividades eléctricas en los sistemas de generación,

transmisión y distribución con el ambiente, bajo el concepto de desarrollo sostenible, entendiéndose por desarrollo sostenible, como el estilo de desarrollo que permite a las actividades satisfacer sus necesidades sociales, económicas y ambientales sin perjudicar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias.

## **1.5. Objetivos de la Investigación**

### **1.5.1. Objetivo General**

El objetivo general del presente trabajo es el aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica en el caserío La Lima para mejorar la calidad de vida y disminuir la contaminación ambiental.

### **1.5.2. Objetivo Especifico**

Como objetivos específicos podemos citar los siguientes:

1. Determinar la óptima combinación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico (SHEFV).
2. Determinar los requerimientos energéticos del caserío La Lima, distrito Santo Tomás
3. Evaluar el recurso eólico y solar para el aprovechamiento en la producción de energía eléctrica
4. Determinar los costos de instalación de los diferentes equipos necesarios para el sistema híbrido eólico-fotovoltaico.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Desarrollo Temático

##### 2.1.1. Recurso Eólico

El recurso para la generación de energía eólica es el viento, el cual es generado por corrientes de aire debido al desigual calentamiento de la superficie de la tierra. Así, la no uniformidad del flujo de radiación solar incidente hace que unas zonas se calienten más que otras, provocando movimientos de convección de la masa atmosférica. El aire caliente asciende, arrastrando aire más frío proveniente de una región vecina. Al subir se enfría, por lo que aumenta su densidad, descendiendo para volver a repetir el ciclo. Así, el viento es una masa de aire en movimiento, y como tal, contiene una cierta energía cinética.

##### 2.1.1.1. Aprovechamiento del viento

La energía del viento se origina por la energía radiante proveniente del sol, la cual se convierte en energía térmica al ser absorbida por la superficie terrestre. En cada uno de los pasos de conversión hay una serie de pérdidas, por lo que solamente un pequeño porcentaje del total de energía absorbida por la superficie terrestre se convierte en viento. A parte de estas pérdidas, también hay que tener en cuenta que del viento no se puede extraer toda la energía. Esto obedece a la Ley de Betz, en la cual se concluye que solamente puede extraerse el 56% de la energía del viento.

##### 2.1.1.2. Velocidad del viento

A pesar de las muchas ventajas que tiene la energía eólica (no agresiva con el medio ambiente, es inagotable) hay que tener en cuenta que tiene el inconveniente de que el viento es disperso y aleatorio. El gradiente de velocidades es mayor cuanto mayor es la diferencia de presiones y su movimiento está influenciado por el giro de la Tierra. La velocidad del viento es una magnitud vectorial y ésta varía de forma aleatoria tanto en módulo como en dirección y sentido. Los valores medios suelen encontrarse entre 3 y 7 m/s. Sin

embargo, dependiendo de la altitud y la topografía éstos pueden ser mayores o menores (valores mayores en altas montañas, valles estrechos y costas).

### **2.1.1.3. Energía Eólica**

Los molinos movidos por el viento tienen un origen remoto. En el siglo VII D.C. ya se utilizaban molinos elementales en Persia para riego y para moler el grano. En estos primeros molinos la rueda que sujetaba las aspas era horizontal y estaba soportada sobre un eje vertical. Estas máquinas no resultaban demasiado eficaces, pero aún si se extendieron por China y el Oriente próximo. En Europa los primeros molinos aparecieron en el siglo XII en Francia e Inglaterra y se distribuyeron por el continente. Eran unas estructuras de madera, conocidas como torres de molino, que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para levantar sus aspas al viento. El molino de torre se desarrolló en Francia a lo largo del siglo XIV. Consistía en una torre de piedra coronada por una estructura rotativa de madera que soportaba el eje de molino y la máquina superior del mismo.

### **2.1.1.4. Aplicaciones y desarrollo**

El uso de las turbinas de viento para generar electricidad comenzó en Dinamarca a finales del siglo XIX y se ha extendido por todo el mundo. Los molinos para el bombeo de agua se emplearon a gran escala durante el asentamiento en las regiones áridas del Oeste de Estados Unidos. Pequeñas turbinas de viento generadoras de electricidad abastecían a numerosas comunidades rurales hasta la década de 1930, cuando en Estados Unidos se extendieron las redes eléctricas.

Para viviendas rurales, las turbinas de viento son una buena opción (ITDG, 2008), esta tecnología está bastante difundida en el mundo y la metodología de diseño más empleada a escalas de baja potencia son los generadores eólicos de flujo axial con imanes permanentes ideada por Piggott, las mismas pueden ser fabricadas en un pequeño taller, en la que el rotor es fabricado con láminas circulares de acero que alojan a los imanes permanentes, y el estator es hecho de resina y fibra de vidrio donde se alojan las bobinas, la limitante de estos sistemas es la baja capacidad de generación de potencia eléctrica. Un modo de mejorar la potencia generada en los pequeños sistemas eólicos, es incrementando la intensidad de campo magnético, los imanes permanentes de

más bajo costo son los fabricados de Ferrito que tienen una baja intensidad, en su lugar los imanes de Neodimio alcanzan una potencia hasta 4 veces mayor. Los actuales sistemas de generación eólica-fotovoltaica de baja potencia, aplicables a zonas rurales, tienen limitantes como el costo de fabricación y su eficiencia, lo que requiere la investigación en nuevos diseños para implementar sistemas más óptimos.

#### **2.1.1.5. Pequeños Aerogeneradores**

Los pequeños aerogeneradores aumentan cada día su importancia en nuestro país, pero no han visto una disminución en sus costos. No obstante, siguen siendo una de las pocas alternativas, y en algunos casos la única, que pueden solucionar problemas de abastecimiento energético en zonas aisladas. Tal como ocurre con las celdas solares, la gran ventaja de estos pequeños aerogeneradores es la portabilidad del conversor energético. Son una solución excelente sobre todo cuando trabajan en conjunto a otros sistemas energéticos portátiles como en el caso de las celdas solares.

Estos sistemas necesitan de un banco de baterías para poder manejar adecuadamente las fluctuaciones de la generación eléctrica y las fluctuaciones del consumo. Mediante esta interfaz (banco de baterías) se pueden diseñar sistemas donde las baterías cubran requerimientos de potencia superiores a los que los generadores en su estado nominal pueden entregar. Lo que tiene que mantenerse dentro del rango de seguridad es la energía que los recursos naturales pueden entregar a los generadores, la cual tiene que ser mayor a la energía que los consumos van a utilizar.

#### **2.1.1.6. Generadores Eólicos Horizontales**

Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al piso. Ésta es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia, confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias.

Todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen su eje de rotación principal en la parte superior de la torre, que tiene que enfrentar al viento de alguna manera. Los aerogeneradores pequeños son dirigidos por una veleta, mientras que los más grandes utilizan un sensor de dirección y son orientados por servomotores. Dado que la velocidad de rotación de las aspas es baja, la

mayoría hacen uso de una caja reductora para aumentar la velocidad de rotación del generador eléctrico.

En general, la hélice es emplazada de tal manera que el viento, en su dirección de flujo, la encuentre antes que a la torre (rotor a barlovento). Esto disminuye las cargas adicionales que genera la turbulencia de la torre en el caso en que el rotor se ubique detrás de la misma (rotor a sotavento). Las palas de la hélice se montan a una distancia razonable de la torre y tienen rigidez alta, de tal manera que al rotar y vibrar naturalmente no choquen con la torre en caso de vientos fuertes. A pesar de la desventaja en el incremento de la turbulencia, algunos aerogeneradores, con hélices localizadas en la parte posterior de la torre, han sido construidos debido a que se orientan en contra del viento de manera natural, sin necesidad de usar un mecanismo de control. Sin embargo, la experiencia ha demostrado la necesidad de un sistema de orientación para la hélice que la ubique delante de la torre. La mayoría de los aerogeneradores actuales son de este último tipo.

#### **2.1.1.7. Máquinas Con Rotor a Barlovento**

Las máquinas con rotor a barlovento tiene el rotor de cara al viento. La principal ventaja de los diseños corriente arriba es que se evita el abrigo del viento tras la torre. La gran mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño. Por otro lado, también hay algo de abrigo enfrente de la torre, es decir, el viento empieza a desviarse de la torre antes de alcanzarla, incluso si la torre es redonda y lisa. Así pues, cada vez que el rotor pasa por la torre, la potencia del aerogenerador cae ligeramente. El principal inconveniente del diseño corriente es que el rotor necesita ser bastante inflexible, y estar situado a una cierta distancia de la torre.



**Figura 2.1: Aerogenerador a barlovento Fuente ewind.com**

#### **2.1.1.8. Máquinas con Rotor a Sotavento**

Las máquinas con rotor a sotavento tiene el rotor situado en la parte trasera de la torre. La ventaja teórica que tienen es que pueden ser construidos sin un mecanismo de orientación, si el rotor y la góndola tienen un diseño apropiado que hace que la góndola siga al viento pasivamente.

Otra ventaja más importante es que el rotor puede hacerse más flexible. Esto supone una ventaja tanto en cuestión de peso como de dinámica estructural de la máquina, es decir, las palas se curvarán a altas velocidades del viento, con lo que le quitarán parte de la carga a la torre.

El inconveniente principal es la fluctuación de la potencia eólica, debida al paso del rotor a través del abrigo de la torre. Esto puede crear más cargas de fatiga en la turbina que con un diseño corriente arriba.



**Figura 2.2: Aerogenerador a sotavento Fuente ingenieriaenlared wordpress**

#### **2.1.1.9. Aerogenerador Tripala**

La mayoría de los aerogeneradores modernos tiene diseño tripala, con el rotor a barlovento, usando motores eléctricos en su mecanismo de orientación. A este diseño se le suele llamar el clásico “Concepto Danés”, y tiende a imponerse como estándar al resto de conceptos evaluados. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño. El concepto básico fue introducido por primera vez por el célebre aerogenerador de Gedser.



**Figura 2.3: Aerogenerador horizontal tripala Fuente scielo.org.mx**

### 2.1.1.10. Flujo de la Energía Eólica

La energía eólica tiene una procedencia directa de la energía solar, entre el 1% y 2% de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía eólica, una característica fundamental de ese tipo de energía es su gran aleatoriedad, por lo que resulta complicado estimar la cantidad de energía eólica de la que vamos a disponer en un intervalo determinado de tiempo, además presenta una gran variación local, superior a la de la energía solar.

La energía eólica es la energía cinética que posee una masa de aire que se encuentra en movimiento, asimismo la energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen, en otras palabras, cuanto "más pesado" sea el aire, más energía recibirá la turbina. Por lo tanto la variable básica de la que debemos partir para estimar el potencial eólico de un determinado emplazamiento, es la velocidad de viento.

### 2.1.1.11. Energía y potencia del Viento

La distribución de las velocidades del viento está caracterizada por medio de su velocidad media, y sus variaciones. Para ello, se emplean para modelarla distribuciones probabilísticas continuas, como la de Weibull (Figura 2.4)

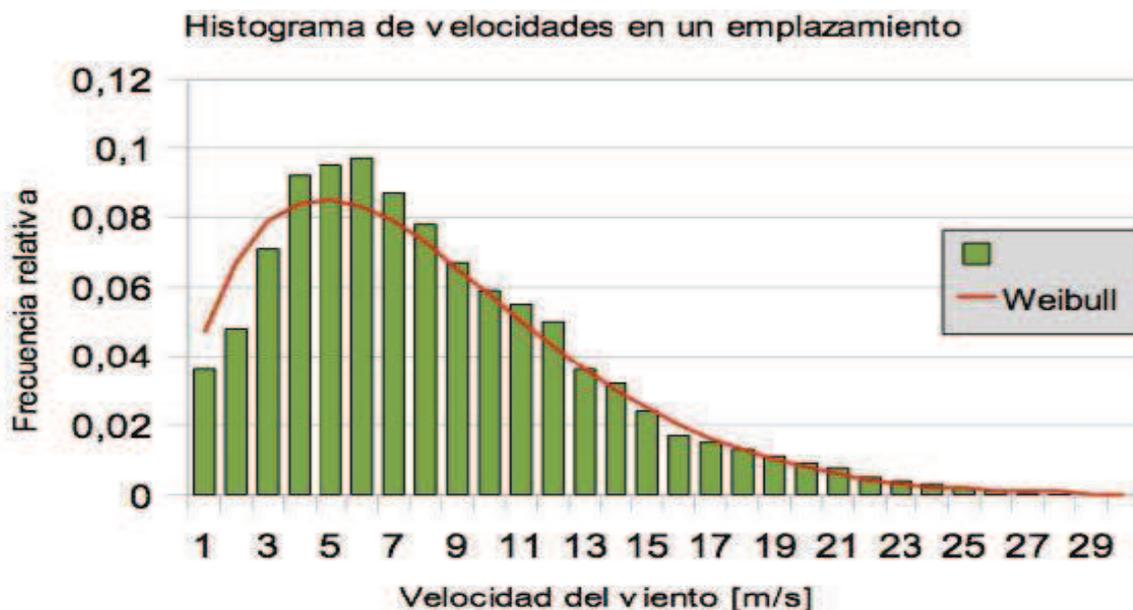


Figura 2.4 Histograma de las Velocidades del viento fuente docplayer.es

### 2.1.1.12. Rugosidad

Es importante cuantificar el efecto de la morfología del territorio circundante al aerogenerador sobre la velocidad del viento. Para esto se define la “rugosidad” expresada por la ecuación 2.1. Esta función se modifica dependiendo de los obstáculos físicos presentes en el entorno que inciden sobre el desplazamiento del aire.

(ver tabla 2.1)

$$v(z) = v_{ref} * \frac{\ln(\frac{z}{z_0})}{\ln(\frac{z_{ref}}{z_0})} \dots\dots\dots(2.1)$$

*z es la altura desde el suelo*

*v<sub>ref</sub> es la velocidad medida a una altura z<sub>ref</sub>*

*z<sub>0</sub> es la longitud de la rugosidad (ver tabla 3.2)*

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad (m)	Índice de energía (%)
0	0.0002	100
0.5	0.0024	73
1	0.03	52
1.5	0.055	45
2	0.1	39
2.5	0.2	31
3	0.4	24
3.5	0.8	18
4	1.6	13

**Tabla 2.1 – Coeficientes de rugosidad**

Clase de rugosidad	Tipo de paisaje
0	Superficie del agua
0.5	Terreno completamente abierto con una superficie lisa
1	Agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos
1.5	Agrícolas con algunas casas y setos (dist 1250m)

2	Agrícolas con algunas casas y setos (dist 500m)
2.5	Agrícolas con algunas casas y setos (dist 250m)
3	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola
3.5	Ciudades grandes con edificios altos
4	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

**Tabla 2.2 - Clase de rugosidad por paisaje**

## **2.1.2. RECURSO SOLAR**

El recurso se origina por la radiación solar, la energía solar es una fuente de energía de origen renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol.

### **2.1.2.1. Aprovechamiento del Sol**

La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica

### **2.1.2.2. Irradiancia solar**

Es la potencia solar incidente en una superficie por unidad de área (RISOL, 1999). Sus unidades son W/m<sup>2</sup>

### **2.1.2.3. Energía solar**

El sol es una fuente de energía formidable, como todas las estrellas, el Sol es un gigantesco reactor nuclear (su masa es del orden de 330000 veces la de la Tierra) en el que la masa se convierte en energía radiante continuamente. Está formada por diversos elementos en estado gaseoso (hidrógeno principalmente). Tiene un diámetro de 1,4 millones de km. En su interior existen elevadas presiones, y temperaturas de varios millones de grados, que hace que en el seno del Sol se produzcan, de manera continua, reacciones nucleares mediante las cuales dos átomos de hidrógeno se fusionan dando lugar al átomo de helio liberando una gran cantidad de potencia, del orden de 3891024 W, este es el origen de la energía solar. Esta energía por encontrarse a 150 millones de Km.

llega en forma de radiación a la Tierra, la potencia que llega es de unas 10.000 veces mayor que la que proporciona todas las fuentes energéticas que el hombre emplea.

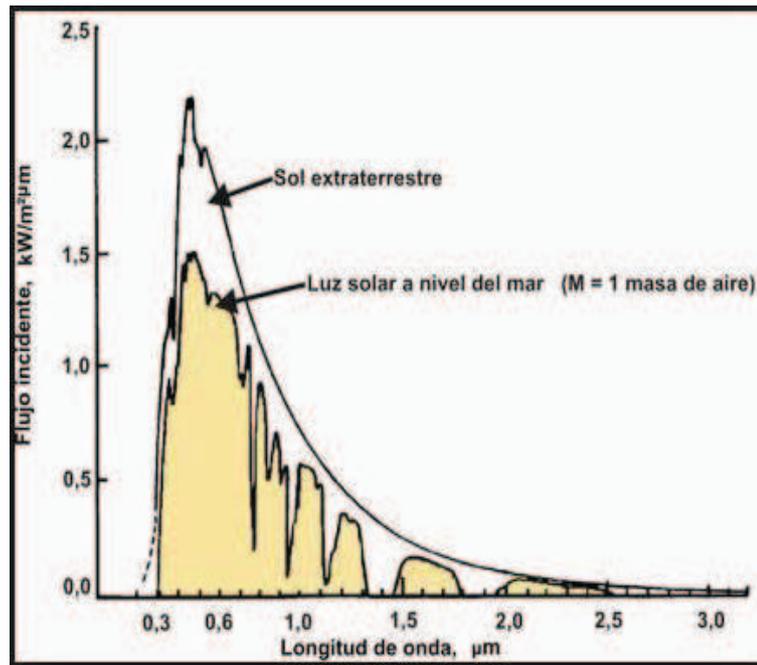
#### **2.1.2.4. Radiación solar**

Es la energía electromagnética (del sol) emitida, transmitida o recibida (RISOL 1999), podemos considerarla también como una lluvia de pequeñas partículas llamadas fotones. Los fotones viajan a la velocidad de la luz ( $c=3.108\text{m/s}$ ), independientemente de su longitud de onda  $\lambda$ , el comportamiento de la radiación solar está determinado por la ecuación  $\lambda=c/v$ , donde  $v$  es la frecuencia de la propagación de los fotones.

**La radiación solar terrestre**, como en la atmósfera se refleja parte de la radiación que llega del sol, y otra parte se absorbe, a la superficie de la tierra llega, lógicamente una cantidad menor que la que se tiene en el exterior de la atmósfera. Viene a ser de unos  $900\text{ W/m}^2$ , la cual cambia dependiendo de la hora del día, del día del mes y del mes del año.

**La radiación solar extraterrestre**, es la cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie y por unidad de tiempo (por término medio) sobre una superficie enfrentada al Sol (perpendicular a los rayos solares), situada en el límite de la atmósfera, a la distancia media entre la tierra y el Sol cuyo valor medio es  $1353\text{ W/m}^2$ , esta radiación está formada aproximadamente en:

- 47% por el espectro visible.
- 46% por el espectro infrarrojo.
- 7% por el espectro ultravioleta.

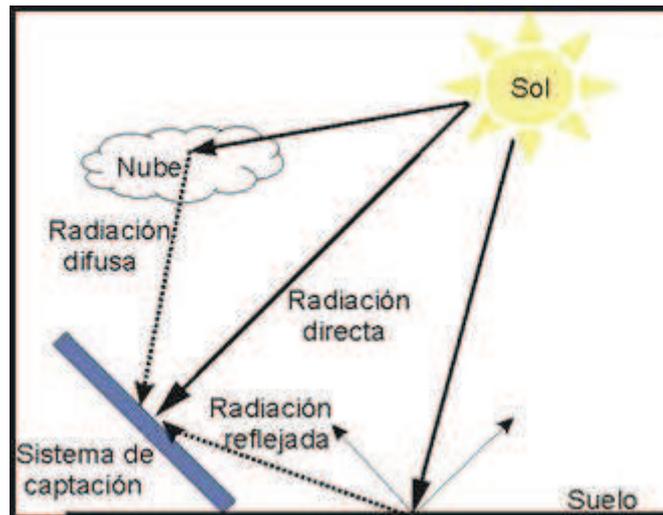


**Figura 2.5** espectro electromagnético del sol sobre la superficie de la tierra

Funte Ujaes.es

Para especificar la Radiación Solar Terrestre, es necesario definir los siguientes conceptos:

- **Radiación Solar Directa:** Es la radiación que incide directamente del sol.
- **Radiación Solar Difusa:** Es la radiación dispersada por los agentes atmosféricos (nubes, polvo, etc.)
- **Radiación Solar Reflejada (albedo):** Es la radiación reflejada por el suelo o por los objetos cercanos



**Figura 2.6 componentes de la radiación solar terrestre Fuente**

La radiación solar total sobre la superficie terrestre, es la suma de estas tres componentes y es la que se mide con un medidor de ración solar llamado piranómetro. A continuación definiremos los componentes de la radiación solar:

**Coefficiente de Absorción:** Es el porcentaje de la energía incidente que absorbe el cuerpo.

**Coefficiente de Reflexión:** Es el porcentaje de la energía incidente que refleja el cuerpo.

**Coefficiente de Transmisión:** Es el porcentaje de la energía incidente que es transmitida a través del cuerpo.

Luego, por el Principio de Conservación de la Energía:

$$G = G\alpha + G\rho + G\tau \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \dots \dots \dots (2.3)$$



**Figura 2.7 – Balance energético sobre un cuerpo**

- Para un cuerpo negro:  $\alpha=1$  ;  $\rho=\tau=0$
- Para un cuerpo opaco:  $\tau=0$  ;  $\alpha+\rho=1$

En general,  $\alpha$ ,  $\rho$  y  $\tau$ ; dependen de la temperatura del cuerpo, pero para fines prácticos, se pueden considerar como constantes características de cada material.

### 2.1.3. Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV)

La alternativa de solución al problema identificado está basada en el análisis de dos alternativas como la implementación de aerogeneradores de eje horizontal de mediana potencia y la implementación de Sistemas Híbridos Eólico-Fotovoltaicos aislado para generación de energía eléctrica que alimente a la población de la Caleta La Gramita a través de redes aéreas eléctricas de 220 V. Para tal fin es necesario revisar los conceptos teóricos de cada componente técnico que involucra este proyecto, tales como las fuentes de energía solar, las tecnologías de equipos a utilizar, mecanismos de financiamiento, etc. Las energías renovables que se utilizan en el Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico-SHEFV son:

- A. La Energía Eólica
- B. La Energía Solar

Este sistema autónomo basado en generadores eólico y fotovoltaico con almacenamiento por medio de baterías es una opción para suministrar

electricidad las 24 horas del día alimentando pueblos remotos o áreas aisladas (emplazamientos remotos).

Para dimensionar los sistemas monovalentes utilizados en el sistema híbrido se relacionan los datos meteorológicos (velocidad del viento y radiación solar) de un emplazamiento con el tamaño de cada uno de los elementos del sistema (Generador eólico, fotovoltaico y baterías), para calcular:

#### C. El Potencial Energético de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV)

Los sistemas Eólico y Solar son los sistemas que van a transformar las energías Eólica y Solar en energía eléctrica. A continuación la definición de sistema.

##### **2.1.4. Concepto de Sistema**

Sistema es la combinación de partes o elementos reunidos para obtener un resultado o formar un conjunto, de tal forma que un cambio en las partes o elemento afecta al conjunto de todos ellos. Los elementos relacionados directa o indirectamente con el problema y sólo estos formarán el sistema que se ha de estudiar, (Ejemplo sistema nervioso, planetario, binario, informático, energético, educativo).

El sistema debe de contener el menor número posible de elementos, que permita realizar una simulación para explicar al final cual de las propuestas de acción que se ha estudiado es más eficaz para solucionar el problema planteado. Los modelos se crean primero pequeños y con pocos elementos, para luego ampliarse y perfeccionarse, posteriormente se suprimen los elementos que no intervienen decisivamente en el problema, para la construcción del modelo se suceden varias fases de expansión y simplificación de modelos añadiendo y suprimiendo elementos.

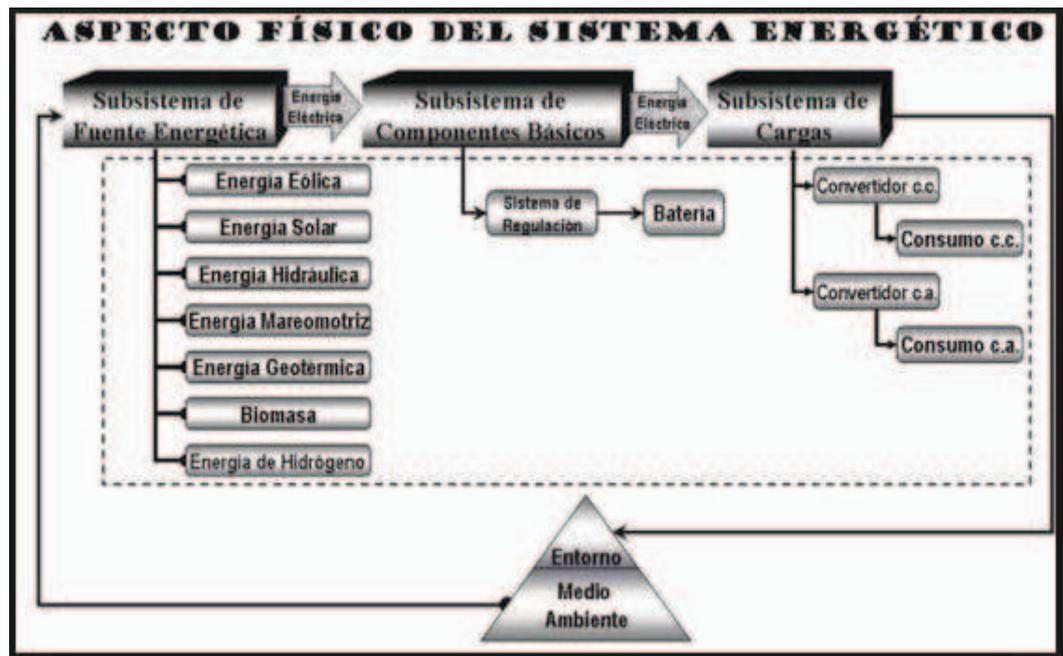


Figura 2.8 Bosquejo de un sistema Fuente

#### 2.1.4.1. Potencial Energético de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV)

Para dimensionar un sistema híbrido basado en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad, la óptima opción se obtiene al valorar el coste económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad.

El objetivo ideal sería obtener un conjunto de ecuaciones que ligen los datos meteorológicos (velocidad de viento y radiación solar) de un emplazamiento con el tamaño de cada uno de los elementos del sistema (Generador eólico, fotovoltaico y baterías).

#### 2.1.4.2. Método de dimensionamiento del Sistema híbrido Eólico Fotovoltaico-SHEFV

Las condiciones climáticas indican la configuración idónea para un determinado emplazamiento. El carácter complementario que presentan la energía eólica y solar en diferentes lugares durante los ciclos estacionales presenta algunas importantes ventajas. Para estos casos los sistemas híbridos ganan fiabilidad

respecto a los sistemas con una sola fuente de energía sin necesidad de un sobre dimensionamiento de los convertidores o las baterías.

Entre las ventajas de combinar el uso del viento y el sol para la generación de energía eléctrica es que ofrece reducción del coste total de la instalación. El mayor o menor beneficio de esta opción depende de la anti correlación estacional en el tiempo de ambos recursos (el viento y el sol).

El método de simulación temporal del sistema para una determinada configuración que va variando hasta satisfacer los niveles de fiabilidad que se exige al sistema permite identificar rápidamente las posibles configuraciones con una probabilidad del 99%, se puede aumentar la fiabilidad de los sistemas teniendo en cuenta que ambas fuentes de energía pueden estar en correlación inversa.

**Para dimensionar un sistema fotovoltaico:** se debe afrontar la cuantificación del generador y del acumulador, la capacidad del generador ( $C_A$ ), se define como una relación entre los valores medios de la energía producida por el generador y la energía consumida por la carga. La capacidad del acumulador ( $C_S$ ), se define como la máxima energía que puede extraerse de él dividida por el valor medio de la energía consumida por la carga, es decir:

$$C_A = \frac{n_G G_d(\alpha, \beta) A_G}{L} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$C_S = \frac{C_U}{L} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$C_S = \frac{C_U}{PD_{max}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Donde:

$A_G$  : Es el área del generador.

$\eta_G$  : Es la eficiencia de conversión del generador.

$G_d(\alpha, \beta)$  : Es el valor medio de la irradiación diaria sobre el plano del generador.

$L$  : Es el valor medio de la energía diaria consumida por la carga.

$C_U$  : Es la capacidad utilizable del acumulador.

CB : Es la capacidad nominal de la batería.

PDmáx : Es la profundidad de descarga máx. de la batería.

**Para dimensionar un sistema eólico:** se debe cuantificar la energía eólica disponible y los parámetros estadísticos que caracterizan a esta fuente de energía, es decir:

$$E = \frac{mv^2}{2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Donde:

E : Energía Cinética.

m : Masa de aire.

v : Velocidad del viento.

$$e = \frac{\rho v^2}{2} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$P_d = \frac{\rho v^3 A}{2} \dots\dots\dots(2.9)$$

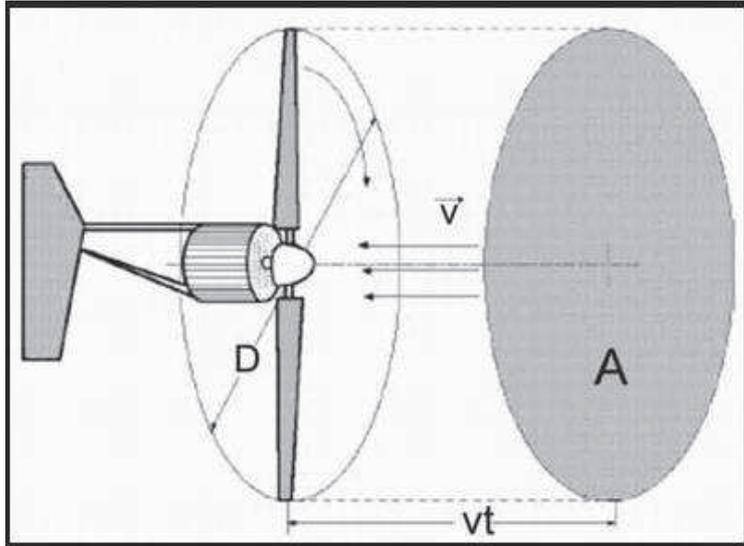
donde:

e : Energía por unidad de volumen de la corriente de aire.

Donde:

Pd : Potencia mecánica disponible en las masas de aire.

A : Área expuesta a la corriente de aire.



**Figura 2.9 Área A barrida por el rotor de diámetro D. Fuente cubasolar.com**

$$\frac{P_d}{A} = \frac{\rho v^3}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Donde:

- Pd : La energía que fluye por unidad de tiempo, o potencia Disponible
- P Es la densidad del aire 1.225 kg/m<sup>3</sup>

**Para dimensionar un SHEFV:** imaginemos un sistema que tiene todo el consumo durante la noche, el acumulador no tiene pérdidas y que la capacidad útil es la nominal. El estado de carga final del acumulador, en el momento al acabar la noche del día vendrá determinado por el estado de carga del día anterior y la energía generada y consumida en el día .

$$SOC_j = SOC_{j-1} + \frac{\eta_G A_G G_{dj}}{C_B} + \frac{24 \cdot P_W [V_{Media}]}{C_B} - \frac{L}{C_B} \quad (2.11)$$

## 2.2. Definición Conceptual de Terminología Empleada

### **Sistema Eólico.**

Un sistema eólico es un conjunto de máquinas eólicas (Aerogeneradores) accionadas por el viento que son capaces de suministrar electricidad a gran escala o a viviendas, granjas o pequeños núcleos rurales. Las máquinas eólicas de producción de energía eléctrica se diferencian en función de las potencias nominales: a) Grandes aerogeneradores y b) Pequeños aerogeneradores.

### **Grandes Aerogeneradores**

Aerogeneradores destinados a la producción de energía eléctrica a gran escala, cuya potencia nominal es de cientos de kilowatios (en la actualidad las máquinas instaladas tienen potencias nominales de 600, 900 kW hasta 5 MW).

**Torre:** Estructura que soporta el aerogenerador (góndola y el rotor), mejor cuanto más alta es, a mayor altura mayor velocidad de viento, un aerogenerador de 600 kW puede estar en torno a los 50 metros. Las torres pueden ser tubulares (más seguras) o, de celosía (más baratas).

**Turbina Eólica:** Se encarga de captar energía cinética del viento y transformarla en energía mecánica en su eje.

### **Los componentes de la turbina eólica son:**

**Buje:** Centro del rotor donde se encastran las palas.

**Eje de Buje:** Eje de baja velocidad del aerogenerador conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 kW el rotor gira bastante lentamente, de unas 19 a 30 revoluciones por minuto (r.p.m.). El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

**Pala:** Transforma por aprovechamiento aerodinámico la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje del generador.

**Góndola:** Ubicada en la parte superior del aerogenerador, dentro se encuentran el multiplicador, el generador eléctrico o el sistema de orientación, los 2 primeros

son componentes claves del aerogenerador. Las palas, el rotor del aerogenerador y el buje están situados a la izquierda de la góndola.

**Los componentes de la góndola son:**

**Anemómetro:** Mide la velocidad del viento, envía señales al controlador electrónico conectando 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 los desperfectos.

**Controlador electrónico:** Equipado con un ordenador para monitorear las condiciones del aerogenerador y controlar el mecanismo de orientación, en caso de disfunción automáticamente detiene el aerogenerador y da aviso al ordenador del operario encargado de la turbina.

**Eje de alta velocidad con su freno mecánico:** Gira aproximadamente a 1,500 revoluciones por minuto (r.p.m.) lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

**Generador eléctrico:** Transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Existen fundamentalmente 3 tipos de generadores: Generador asíncrono de jaula, de ardilla, Generador asíncrono de rotor bobinado y Generador síncrono de imanes permanentes.

**Multiplicador:** Sistema mecánica encargada de elevar la velocidad de giro del sistema mediante un conjunto de engranajes comunica al eje arrastrado o de salida una velocidad de giro mayor que la del eje motor o de entrada, desde la velocidad de la turbina (20-30 rpm) a la velocidad del generador (1000-1500 rpm).

**Mecanismo de Orientación:** Utilizado para mantener el rotor de la turbina en posición contra el viento (perpendicular a la dirección del viento) para que a través del rotor pase la mayor proporción posible de energía eólica.

**Sistema Hidráulico:** Restaura los frenos aerodinámicos del aerogenerador.

**Unidad de Refrigeración:** Compuesta por un ventilador eléctrico y una unidad de refrigeración de aceite, el primero enfría el generador eléctrico y el segundo enfría el aceite del multiplicador, otras turbinas son enfriados por agua.

**Veleta:** Mide la dirección del viento, envía señales al controlador electrónico de forma que hace girar el aerogenerador en contra del viento utilizando el mecanismo de orientación.

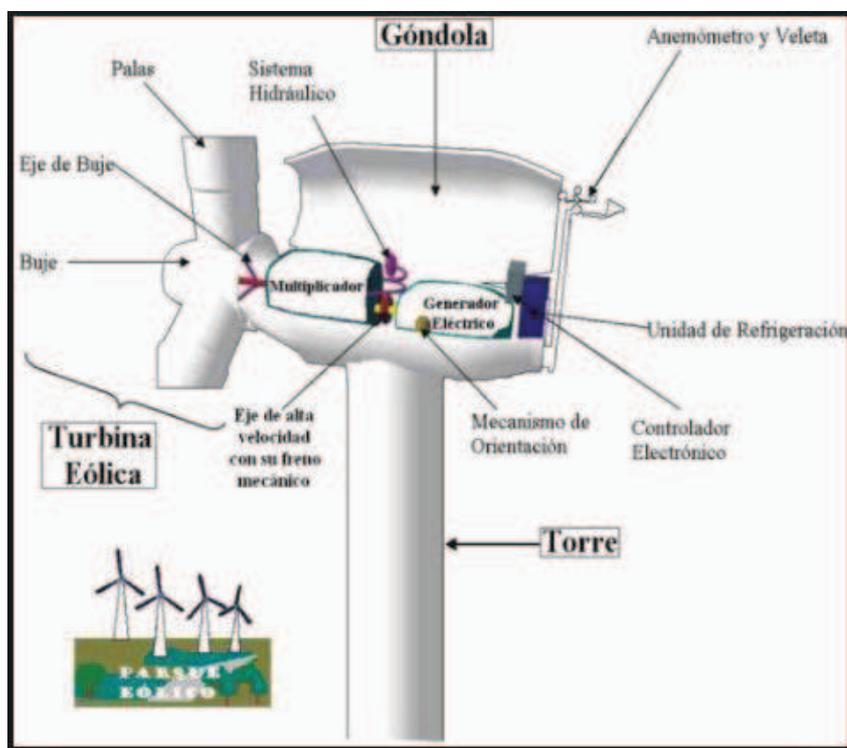


Figura 2.10 Grandes aerogenerador y sus partes Fuente tales.cica.es

### Pequeños Aerogeneradores

Este tipo de generadores suelen ser instalados en zonas alejadas del suministro eléctrico o trazado de la red general de distribución eléctrica, el tamaño y tipo de instalación depende únicamente de las necesidades del usuario de la instalación y es característico en ellos que la instalación se sitúe muy cerca del centro de consumo (viviendas, granjas o pequeños núcleos rurales), requiriéndose frecuentemente la existencia de acumuladores.

Las instalaciones más frecuentes emplean tecnologías muy fiables en las que es necesario un mantenimiento básico, las aeroturbinas empleadas en las instalaciones de pequeña potencia son aerogeneradores de alta velocidad ( $\lambda > 2$ ), normalmente utilizadas para suministro eléctrico a viviendas aisladas y/o otros centros de consumo, la potencia de estas aeroturbinas varían entre 100 W y 10 kW.

Estos aerogeneradores son muchos más sencillos que los descritos anteriormente para sistemas de generación a gran escala, sus características fundamentales son:

**Aerogenerador de viento de baja potencia:**

**Turbina:** Puede tener 2 o 3 palas realizadas en fibra de vidrio y carbono.

**Generador:** Es de imanes permanentes y está acoplado directamente a la turbina (no utiliza multiplicador).

**Sistema de Orientación:** Ejerce el papel de sistema primario de protección ante velocidades elevadas de viento, consiste en una cola, tal como se ve en la figura (abajo). Los sistemas de orientación automática están diseñados especialmente para conseguir una sensible timonización ante rachas de viento de bajas velocidades, cuando las velocidades se acercan a valores demasiado elevados para el buen funcionamiento de la máquina, este sistema produce la progresiva desorientación del aerogenerador que lo lleva a dejar de funcionar.

**Salida del sistema:** Depende del sistema al que se desee abastecer puede ser en corriente continua o alterna.

**Torre:** Puede ser de celosía o tubular.

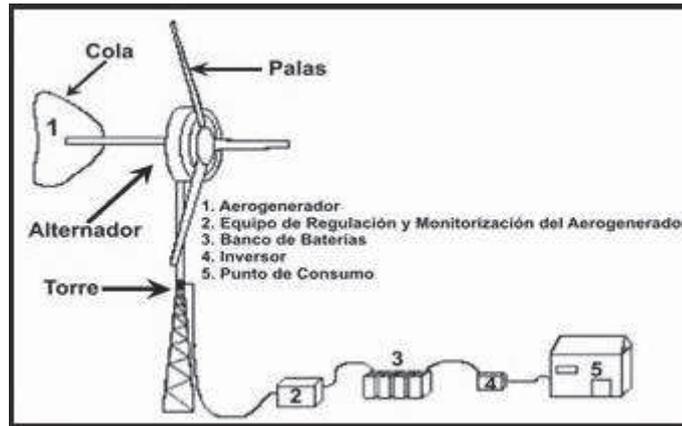
**Equipo de regulación y monitorización del aerogenerador (Segundo sistema de seguridad):**

Conjunto de resistencias de frenado y un regulador de carga, que desvía hacia el conjunto de resistencias los excedentes de energía que las baterías de la instalación no pueden asumir, evitándose de este modo que el aerogenerador tenga que estar funcionando en vacío y por lo tanto girando a velocidades peligrosamente elevadas, en los períodos de tiempo en que las baterías presentan elevados niveles de carga.

**Banco de Baterías:** Almacena energía durante varios días, con el objeto de disponer de energía en los períodos de viento flojo o de calma, este sistema es inútil en sistemas de generación eléctrica conectados a la red.

**Inversor:** Transforma y amplifica corriente continua en alterna. Los voltajes continuos pueden ir desde los 12 V hasta los 100 V.

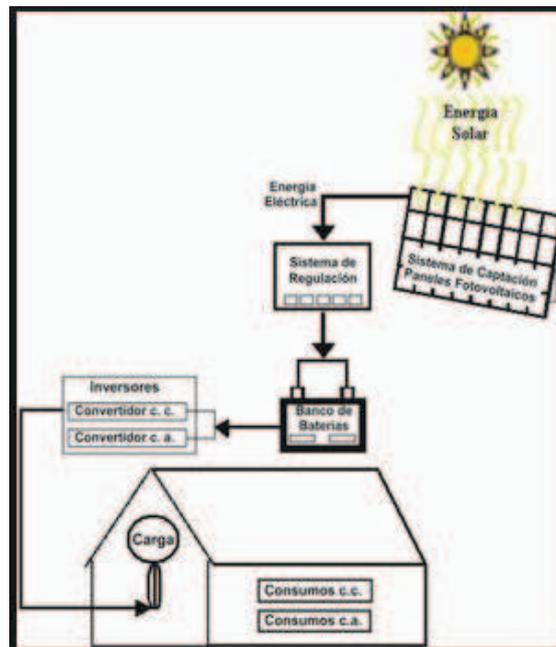
**Punto de Consumo:** Lugares alejados o remotos y centros poblados que no están interconectados a la red eléctrica nacional.



**Figura 2.11 – Pequeños aerogeneradores y sus partes Fuente antusolar.cl**

### **Sistema Fotovoltaico**

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de elementos que son capaces de realizar suministro de electricidad para cubrir las necesidades planteadas a partir de la energía procedente del sol. El sistema Fotovoltaico está constituida por un conjunto de componentes básicos: paneles fotovoltaicos, regulador, baterías eléctricas, inversor y cargas.



**Figura 2.12 Sistema Fotovoltaico Fuente antusolar.cl**

Dependiendo del material, los precios de fabricación y la eficiencia del sistema varia como se puede ver en la Tabla 2.3

## El Panel Solar

El panel solar consiste en celdas solares que colectan la radiación solar y la transforman en energía eléctrica. A esta parte del sistema se la conoce generalmente como modulo solar (Figura 2.13) o generador fotovoltaico. Un banco de paneles se instala conectando un conjunto de paneles en serie y/o en paralelo a fin de proporcionar la energía necesaria para una carga específica. La corriente que da un banco de paneles varía proporcionalmente a la radiación solar. Esta variara en el tiempo debido a las condiciones climatológicas, la hora del día, la estación del año, etcétera.

El rendimiento eléctrico de un modulo solar está representado por la curva característica I-V(Figura 2.14), que representa la corriente generada en función del voltaje para una radiación específica.

Tecnología	Símbolo	Características	Eficiencia de celdas en lab( %)	Eficiencia típica comercial( %)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24	13-15
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19	12-14
Películas de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17	8-11
Silicio amorfo (incluye tandems de silicio-germanio)	a-Si	Película delgada	9	
Diseleniuro de cobre-indio / galio	CIGS	Película delgada	18	8-11
Telurio de cadmio	CdTe	Película delgada	18	7-10
Celdas orgánicas (incluye celdas de $TiO_2$ sensibles a la humedad)		Película delgada	11	
Celdas tandem de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	30	
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	33(tandem) 28(solo)	

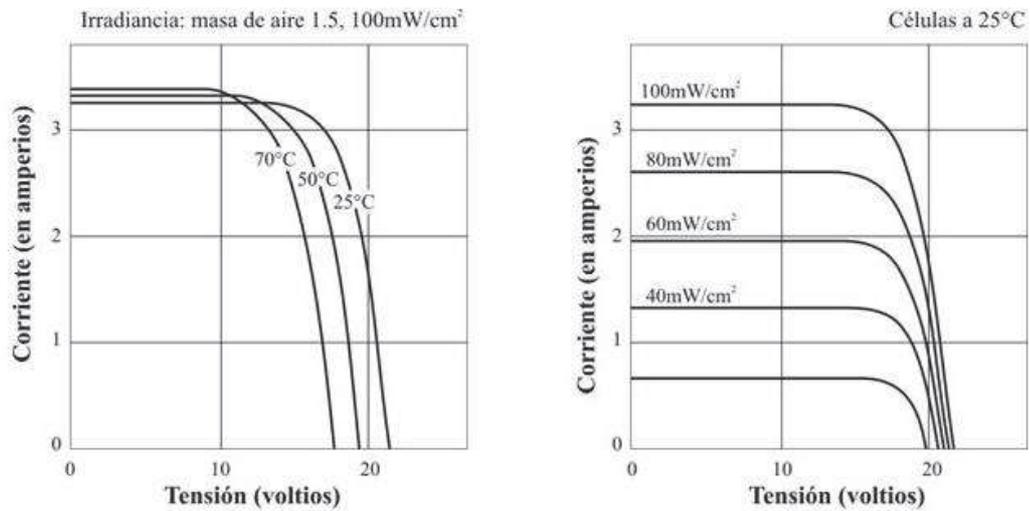
**Tabla 2.3 - Eficiencia fotovoltaica en distintos materiales**



**Figura 2.13 – Panel Solar Fuente acn.cu**

La curva representa todos los valores posibles de voltaje-corriente. Las curvas depende dos factores principales: la temperatura y la radiación solar recibida por las celdas. Para un área de una celda solar dada, la corriente generada es directamente proporcional a la irradiancia solar ( $G$ ), mientras que el voltaje se reduce ligeramente con un aumento de temperatura. Un buen regulador trataría de maximizar la potencia que proporciona un panel adaptándose al punto que proporciona el valor máximo del producto de la corriente y el voltaje ( $V \times I$ ).

Hay diferentes tipos de módulos disponibles en el mercado dependiendo de las exigencias de potencia de su aplicación. Los módulos más comunes se componen de 32 ó 36 celdas solares de silicio cristalino. El área del módulo varia comúnmente entre 0,1y 0,5 m<sup>2</sup>. Los paneles solares usualmente tienen dos contactos eléctricos, uno positivo y uno negativo.



**Figura 2.14 Influencia de la temperatura en SFV**

Los principales parámetros que caracterizan un panel solar son:

**1. Corriente de Cortocircuito (ISC):** Es la máxima intensidad de corriente que proporciona el panel, y corresponde a la corriente que entrega cuando se conectan directamente los dos bornes.

**2. Tensión de Circuito Abierto (VOC):** Es el máximo voltaje que proporciona el panel y ocurre cuando los bornes no están conectados a ninguna carga (circuito abierto). VOC suele ser de 22 V para paneles que vayan a trabajar a 12V, y es directamente proporcional al número de celdas asociadas en serie.

**3. Punto de Máxima Potencia (Pmax):** Es un punto de funcionamiento para el cual la potencia entregada es máxima, donde  $P_{max} = I_{max} \times V_{max}$ . El punto de máxima potencia del panel se mide en Vatios (W) o Vatios pico (WP). Es importante no olvidar que en condiciones normales el panel no trabajaría en condiciones pico ya que el voltaje de operación está determinado por la carga o la batería. Los valores típicos de  $V_{max}$  y de  $I_{max}$  son algo menores a los de ISC y VOC.

**4. Factor de Forma (FF):** El factor de forma es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto de  $ISC \times VOC$ . Da una idea de la calidad del panel porque es una medida de lo escarpada que es su curva característica, de forma que cuanto más se aproxima a la unidad, mayor potencia puede proporcionar. Los valores comunes suelen estar entre 0,7 y 0,8.

**5. Eficiencia o rendimiento ( $\eta$ ):** Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar a la carga y la potencia de la radiación solar (PL) que

incide sobre el panel. Es habitualmente en torno al 10% dependiendo del tipo de celda (mono cristalina, poli cristalina, amorfa o película delgada).

Considerando las definiciones de punto de máxima potencia y de factor de forma, la eficiencia se define con la ecuación 2.12:

$$\eta = P_{max} / PL = FF \times I_{SC} \times V_{OC} / PL \quad (2.12)$$

Los valores de  $I_{SC}$ ,  $V_{OC}$ ,  $I_{Pmax}$  y  $V_{Pmax}$  son proporcionados por los fabricantes y hacen referencia a las condiciones estándar de medición con valores de irradiancia de  $G = 1.000 \text{ W/m}^2$ , al nivel del mar, y para una temperatura de las celdas  $T_c = 25^\circ\text{C}$ .

Para calcular el número de paneles necesario para alimentar una determinada carga, es suficiente conocer los valores de intensidad y tensión para el punto de máxima potencia:  $I_{Pmax}$  and  $V_{Pmax}$ . Un panel no va a trabajar bajo condiciones ideales ya que ni la carga ni el sistema regulador van a trabajar siempre con el punto de máxima potencia del panel. Para compensar esto, se debe añadir en los cálculos una pérdida de eficiencia del 5%.

Conectar los paneles en serie aumenta la tensión generada mientras que conectarlos en paralelo incrementa la corriente. El número de paneles usados deberán incrementar se hasta que la cantidad de energía generada exceda ligeramente las demandas de su carga.

### **Orientación de los Módulos Fotovoltaicos:**

Los módulos fotovoltaicos se colocan generalmente sobre los tejados o en patios. Un aspecto fundamental es cerciorarse de que ningún objeto proyecte su sombra sobre los módulos, al menos en las horas centrales del día.

La orientación de los módulos se define a partir de dos ángulos principales

**Angulo azimutal de la superficie ( $\alpha$ ):** ángulo entre la proyección de la normal a la superficie en el punto horizontal y la dirección sur-norte (para localizaciones en el hemisferio norte) o norte-sur (para localizaciones en el hemisferio sur).

**Inclinación ( $\beta$ ):** ángulo entre el plano de la superficie a considerar y la horizontal. La máxima captación en los colectores solares con estructura y orientación fija, se logra colocando los modulo dirigidos hacia el Sur en el caso de una región en el hemisferio Norte, y hacia el Norte en el caso de ubicaciones en el hemisferio Sur ( $\alpha = 0^\circ$ ). Con dicha orientación, la máxima captación en promedio anual se obtiene

inclinando los paneles un ángulo igual a la latitud de la región en que se instalan. Las variaciones en la inclinación de  $15^\circ$  respecto al ángulo óptimo producen una reducción aproximada del 2,5% en la capacidad de captación del panel.

Si se desea maximizar la captación de energía en las mañanas, el panel debería orientarse al Este ( $d=75^\circ$ ) con una inclinación mayor de la acostumbrada (mayor que la latitud). En lugares en que existe asimetría de radiación solar en las mañanas y en las tardes, por ejemplo por el aumento de nubosidad en las tardes, provocan que el máximo de captación, no se logre con azimutal =  $0^\circ$ , sino con una orientación ligeramente hacia el Este.

En cualquier caso es recomendable una inclinación mayor de  $10^\circ$ , para que el agua de lluvia pueda circular adecuadamente sobre el panel. Si se asumen algunas pérdidas, en muchos casos pequeñas, se tiene un abanico más amplio de posibilidades de orientación, lo que puede facilitar la instalación y mantenimiento de los módulos.

Pero siempre debe buscarse que la orientación sea lo más cercana a la orientación que maximiza la captación anual ( $d = 0^\circ$ ,  $\beta = \text{latitud} > 10^\circ$ ).

En el caso de estudio, por estar ubicados en el Departamento de Cajamarca Perú, se encuentra en el hemisferio sur, por lo que deberíamos orientar el sistema hacia el norte, y sobre la inclinación por tener latitudes entre  $6^\circ$  y  $10^\circ$  tendremos siempre una orientación de  $15^\circ$  por cuestiones de protección contra paredes artificiales de agua lluvia y acumulación de polvo.

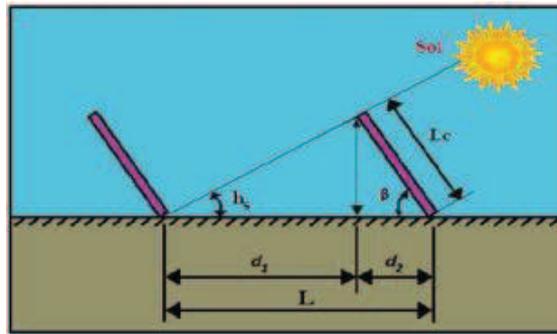
### **Calculo de sombras:**

Las sombras causadas por obstáculos circundantes varían a lo largo del día, dependiendo de la latitud del lugar, la fecha y la hora; causando pérdidas de radiación solar en los captadores. Existen distintos tipos de sombreados:

1. Entre captadores de la instalación solar
2. Por edificios, arboles, montañas, etc.

La distancia mínima entre líneas de colectores debe de ser la adecuada para que la sombra de la arista superior de una fila se proyecte, como mucho, sobre la arista inferior de la siguiente. Este cálculo se lo debe realizar al mediodía solar del día más desfavorable cuando la altura solar sea mínima. Habitualmente en el día más des favorable del periodo de utilización, la instalación no ha de tener más del 5%

de la superficie útil de captadores cubierta por sombras. En la Figura 2.15 Se puede observar cual es la distancia mínima entre paneles.



**Figura 2.15 - Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos Fuente antusolar.cl**

Según la Figura 2.15 la distancia mínima entre captadores se define con la ecuación 2.13

$$L = d_1 + d_2 = L_c * \left[ \frac{\sin\beta}{\tan h_s} + \cos\beta \right] \quad (2.13)$$

Donde  $L_c$  es la altura del captador,  $\beta$  es su inclinación,  $L$  es la longitud de la sombra y la relación básica entre la longitud de la sombra ( $L_{sombra}$ ), la altura del obstáculo ( $H_{obs}$ ) y la altura solar ( $h_s$ ) es 2.3:

$$\tan h_s = \frac{h_{obs}}{L_{sombra}} \quad (2.14)$$

La metodología usada para el cálculo de sombras provocadas por distintos obstáculos consta de dos pasos:

Obtención del perfil de obstáculos. Utilizando como referencia la arista N-S se observa el entorno, a ambos lados de esta línea, del captador desde el punto medio de su arista inferior, y se determina la altura angular ( $H_{obs}$ ) de los obstáculos definiendo la posición de estos de acuerdo a su ángulo acimutal.

Representación del perfil de obstáculos. Se analiza la altura angular y la dirección de los árboles y edificios, que se encuentran cerca de la instalación solar, los cuales interrumpen los rayos solares.

### **Modulo Fotovoltaico**

Consiste en un total de 36 celdas fotovoltaicas.

En el caso que el módulo fotovoltaico cuente con un marco, este debe ser de aluminio anodizado y rígido. La fijación del módulo fotovoltaico a su soporte sólo

podrá realizarse mediante elementos mecánicos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.).

Verificar que no se presenten en el módulo fotovoltaico los siguientes defectos visibles:

- Células rotas o agrietadas.
- Células desalineadas.
- Restos notables de la metalización en la cara frontal de las células.
- Impurezas en el laminado.
- Burbujas en el encapsulado.
- Rotura del vidrio frontal.
- Rotura de la cinta de conexión.
- Ilegibilidad o borrado de la etiqueta.
- Módulo sucio con manchas de silicona o encapsulante.
- Tedlar dañado o perforado.
- Caja de conexiones rota o con desprendimiento total o parcial. Intersticios en la unión entre el marco de aluminio anodizado y el módulo fotovoltaico, donde puedan ingresar agua o elementos extraños.

Debe estar de acuerdo a la norma internacional IEC61215.

### **El Regulador de carga**

Este componente tiene la finalidad de producir el acople correcto entre el módulo, la batería y la carga, e impide las sobrecargas o sobre descargas controlando el voltaje de la batería. La función de regulación de carga idealmente debería depender directamente del estado de carga en la batería.

El regulador de carga se conoce también como controlador de carga o regulador de voltaje (Figura 2.16). El regulador se posiciona entre el banco de paneles, la batería y el equipo o carga.

Los reguladores que se usan en sistemas fotovoltaicos deben conectarse en serie, así desconectan el banco de paneles del banco de baterías para evitar la sobrecarga, y desconectan las baterías de la carga para evitar la sobre descarga.



**Figura 2.16 – Regulador de Carga Fuente amazon.com.mx**

Los reguladores no deben conectarse en paralelo.

Para proteger la batería de la gasificación, el interruptor se abre cuando la tensión en la batería alcanza su tensión de corte alta (high voltage disconnect, HVD). La tensión de corte baja (low voltage disconnect, LVD) impide que la batería se sobre descargue por medio de la desconexión de la carga.

Los reguladores modernos son también capaces de desconectar automáticamente los paneles durante la noche para evitar la descarga de la batería. Pueden también sobrecargarla cada cierto tiempo para incrementar su vida, y usar un mecanismo conocido como modulación de duración de impulsos (pulse width modulation, PWM) para prevenir la gasificación excesiva.

Como el punto de operación de máxima potencia del banco de paneles va a variar con la temperatura y la iluminación solar, los reguladores modernos son capaces de rastrear el punto de potencia máxima del banco de paneles solares.

Para seleccionar un regulador, debemos conocer al menos, la tensión de trabajo y la máxima corriente que puede manejar. La tensión de trabajo será de 12, 24 o 48 V. La máxima corriente debe ser 20% más grande que la proporcionada por los paneles conectados al regulador.

Otras características y datos de interés son:

- Máxima corriente de suministro a la batería
- Indicador de bajo voltaje de la batería
- Indicador de carga solar
- Voltaje de entrada de carga de batería
- Voltaje de entrada de descarga de batería

- Tipo de regulación
- Dispositivo de reseteo
- Protección eléctrica
- Protección contra polaridad inversa
- Voltajes de entrada regulables
- Su carcasa debe ser a prueba de agua

### **Sistemas de Baterías.**

Un sistema de baterías consiste en un conjunto de baterías donde se producen ciertas reacciones químicas reversibles que hacen posible el almacenamiento de energía para ser entregada posteriormente cuando se necesite. La energía eléctrica se transforma en química cuando se carga una batería, y lo opuesto sucede cuando se descarga

La batería (Figura 2.18) tiene dos propósitos fundamentales en un sistema fotovoltaico: proporcionar energía eléctrica al sistema cuando el banco de paneles no la proporciona y almacenar la energía proporcionada por los paneles cuando aquella excede las necesidades de la carga

Una de las características más importante de una batería en una instalación fotovoltaica es el ciclado. El ciclado diario se refiere a que la batería se carga en el día y se descarga en la noche. Superpuesto a este ciclo diario está el ciclo estacional que se asocia a periodos de reducida incidencia de radiación. Estos ciclos conjuntamente con otros parámetros de operación como temperatura ambiente, corriente, etc.; inciden sobre la vida útil de la batería y sus requisitos de mantenimiento.



**Figura 2.17- Batería Fuente amazon.com.mx**

Los principales parámetros que definen el funcionamiento de una batería en un sistema fotovoltaico son:

- El máximo valor de corriente que puede entregar a una carga fija, en forma continua, durante un número específico de horas de descarga.
- Capacidad de almacenamiento de energía.
- Profundidad de descarga máxima.
- La vida útil.

La corriente de carga es la corriente eléctrica de la que está provista una batería y que está almacenada en ella.

Se denomina capacidad a la cantidad de energía que una batería puede almacenar. Una batería solo puede almacenar una cantidad fija de energía eléctrica que por lo general figura en la parte exterior de la batería.

Con la finalidad de poder comparar distintos tipos de baterías, la prueba que determina la corriente de descarga máxima se ha estandarizado en la industria. Debido a que los parámetros utilizados en la prueba son corriente y tiempo, la capacidad de la batería se define en Ampere-horas (Ah). A partir de este valor puede determinarse la corriente máxima para un determinado régimen de descarga.

Teóricamente, una batería de 100 Ah deberá generar una corriente de 2 A para 50 horas. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento estimada es un parámetro general y no una medida exacta, del tamaño de la batería.

Se puede determinar aproximadamente la cantidad de energía recibida por una batería (Q, en amperios horas), multiplicando la corriente de carga (I, amperios) por el tiempo de carga (T, en horas), ver 2.15:

$$Q(\text{Ah}) = I(\text{A}) T(\text{h}) \quad (2.15)$$

Si se multiplica este resultado (Q) por el voltaje de batería, se obtendrá la cantidad de energía suministrada a la batería, expresada en watts-hora (Wh). No se debe cargar baterías a una corriente mayor de un decimo de su capacidad estimada. Por lo tanto, una batería de 100 Ah no deberá ser cargada a una corriente de más de 10 amperios.

También se puede calcular la cantidad de energía extraída de una batería durante un periodo de tiempo, multiplicando la corriente de descarga por el tiempo de uso de la carga. Así, una lámpara que consume 1.2 A utiliza, para cuatro horas, 4.8 Ah de energía de una batería, o sea:  $1.2 \text{ A} \times 4 \text{ h} = 4.8 \text{ Ah}$ .

### **Tipos de baterías:**

Hay diferentes tipos de tecnología para baterías destinadas a diferentes usos:

*SLI*: Las baterías para automóviles, referidas como SLI (Starting, Lighting, ), son las baterías más baratas cuando se las compara en términos de capacidad nominal, generalmente se producen localmente y están ampliamente disponibles en todos los mercados.

*SLI* modificada: Existe un procedimiento mediante el cual se varía algunas características del diseño de la batería SLI, permitiendo alargar la vida útil de la misma sin alterar su funcionamiento. Este tipo de baterías se conoce como SLI modificada y se encuentran en los mercados a veces con el nombre de baterías solares. Este tipo de batería representa una alternativa importante en el diseño de sistemas FV y su empleo, siempre que sea posible, debe preferirse en lugar de baterías SLI convencionales.

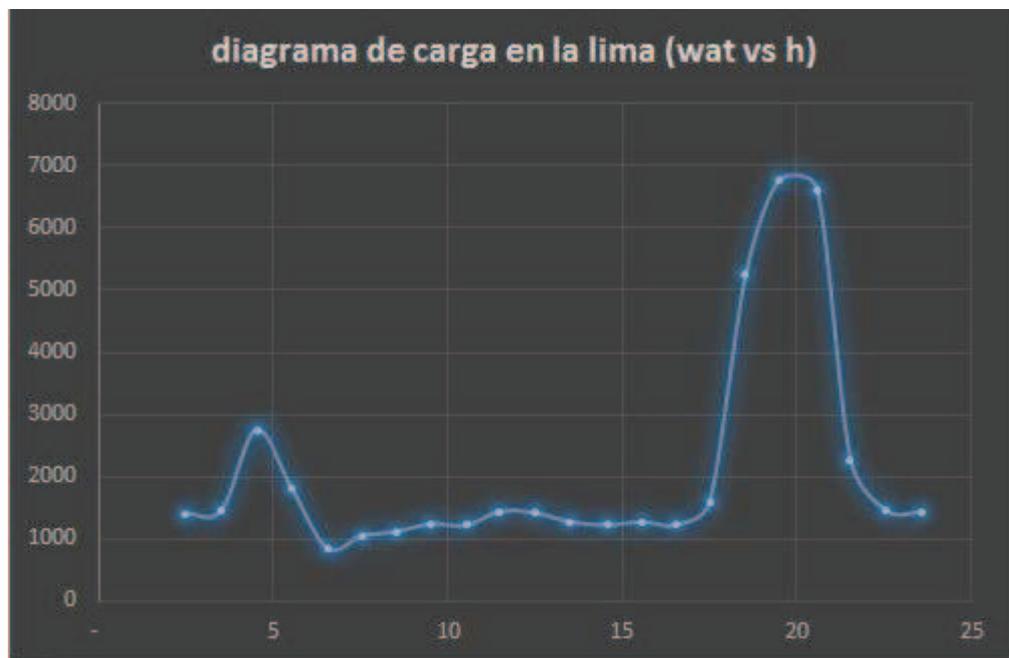
Tubulares: Son las baterías de mejor calidad para uso fotovoltaico, están hechas con placas tubulares y rejillas con bajo contenido de Sb-Se. Con este tipo de baterías pueden alcanzarse vidas útiles de más de ocho años y frecuencias de mantenimiento entre 1 y 2 veces al año. El aumento en el uso de este tipo de baterías, al igual que en el caso de las VRLA, ha resultado beneficioso para los programas de electrificación rural a gran escala, ya que se ha incentivado a los fabricantes para que expandan y diversifiquen el mercado de estos productos.

NiCd: Las baterías de Níquel Cadmio de ciclo profundo tienen un costo de 6 a 8 veces superior a las baterías de plomo ácido con electrolito líquido, aunque su costo operacional a largo plazo es hasta 5 veces menor al de una batería de plomo ácido con la misma capacidad.

La más conveniente para aplicaciones fotovoltaicas es la llamada batería estacionaria VRLA, diseñada para tener un emplazamiento fijo y para sitios donde el consumo de energía es más o menos irregular. Estas pueden permitir ciclos de descarga profunda, pero no están diseñadas para producir corrientes altas en periodos cortos de tiempo.

La carga representa la demanda de energía eléctrica requerida, que en nuestro caso, el caserío La Lima donde no existe suministro eléctrico, la población utiliza para iluminación velas, mecheros, grupos electrógenos. Para estimar la demanda de energía eléctrica se dimensionara la carga en base a datos tomados en campo así mismo se considerara cargas especiales de uso común como escuela, posta médica y local comunal..

A continuación presentamos la carga típica del caserío La Lima, la cual ha sido modelada teniendo en cuenta los consumos típicos de iluminación en viviendas y cargas de uso común como posta médica, local comunal, colegio y alumbrado público.



**Figura 2.18 – Curva de carga Caserío La Lima**

### **Sistema Híbrido**

Un sistema híbrido es un sistema compuesto por dos o más sistemas, ejm.: Sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico, Sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico-Hidráulico. Los sistemas autónomos basados en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías son una opción para la alimentación de pequeñas cargas en emplazamientos remotos. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad. De todas las opciones la óptima se

obtiene al valorar el coste económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad.

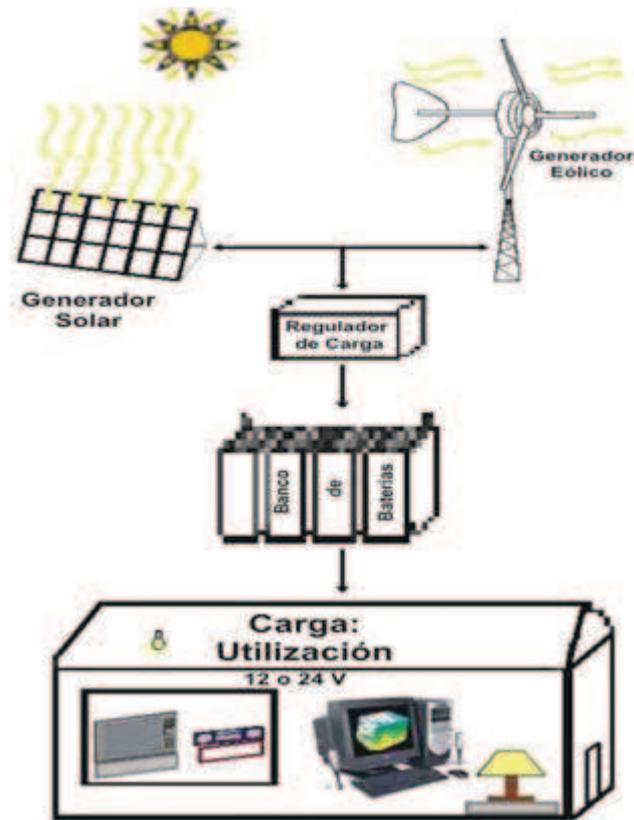


Figura 2.19 – Esquema de sistema híbrido Fuente antusolar.cl



Figura 2.20 – Inversor de voltaje DC/DA Fuente amazon.com.mx

Los inversores cortan e invierten la corriente continua y generan una onda cuadrada que es luego filtrada para aproximarla a una onda sinusoidal y eliminar los armónicos indeseables.

La mayoría de los modelos disponibles en el mercado producen lo que se llama onda sinusoidal modificada, ya que el voltaje de salida no es una sinusoidal pura. En términos de eficiencia, los inversores de onda modificada trabajan mejor que los de onda sinusoidal pura. Aparte de la forma de onda, algunas características importantes que deben tener los inversores son: Fiabilidad ante sobre corrientes, Eficiencia de conversión, Cargador de batería y Conmutación automática.

### **Cables eléctricos**



**Figura 2.21 – Cables eléctricos Fuente damiasolar.com**

Este es un aspecto importante de su instalación ya que un cableado adecuado le va a asegurar una transferencia eficiente de energía.

El tamaño de los cables usualmente se especifica en términos del American Wire Gauge (AWG). Para sus cálculos, se necesita convertir de AWG a mm<sup>2</sup> para calcularla resistencia del cable. En la tabla 3.4 mostramos el tamaño de los cables, la corriente máxima que puede fluir sin recalentar el cable y la cantidad de potencia que puede producirse a diferentes voltajes.

### **Cables del Sistema Fotovoltaico**

Los cables del Sistema Fotovoltaico deben:

- Respetar un código de colores.
- Estar debidamente etiquetados. Indicando en la cubierta protectora exterior, por lo menos, el tipo de cable, sección y fabricante del mismo (Según la NTP 370.252).

- Cumplir con la norma IEC 60811 “Métodos de ensayo comunes para materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos” o la Norma Técnica Peruana respectiva. Como mínimo deben ser del tipo RHW para exteriores y THW para interiores (NTP 370.252)
- Estar dotados con terminales específicos y de cobre en el caso que su sección sea de 4 mm<sup>2</sup>. En caso contrario, deben ser retorcidos y estañados para lograr una conexión adecuada.
- Ser asegurados a las estructuras de soporte o a las paredes con grapas a intervalos de 30 cm. como máximo, para así asegurar su posición vertical u horizontal, nunca oblicuamente.

<b>Tamaño de cable Corte de área seccional(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Corriente máxima (A)</b>	<b>Potencia generada (W)</b>
1.0	10	120
1.5	15	180
2.5	20	240
4.0	30	360
6.0	35	420
10.0	50	600
16.0	70	840
25.0	90	1080

**Tabla 2.4: Tamaño de cables, corriente y potencia máxima**

### **Características eléctricas de la red electrica BT**

Consiste en una red de servicio particular de 220 Vac que alimentara a las 100 viviendas en el caserío, 01 posta medica y 01 local comunal de pescadores, la cual tendra las siguientes caracterisitcas principales:

- Tensión nominal : 220 Vac fase-fase
- Tensión máxima de servicio : 220 +- 5% Vac
- Topologia : Trifasico Delta

Tamaño del cable corte de área seccional ( $mm^2$ )	Corriente máxima (A)	Potencia generada (W) 12 V
1.0	10	120
1.5	15	180
2.5	20	240
4.0	30	360
6.0	35	420
10.0	50	600
16.0	70	840
25.0	90	1080

## CAPITULO III

### MARCO METODOLOGICO

#### 3.1 Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación se caracteriza por lo siguiente:

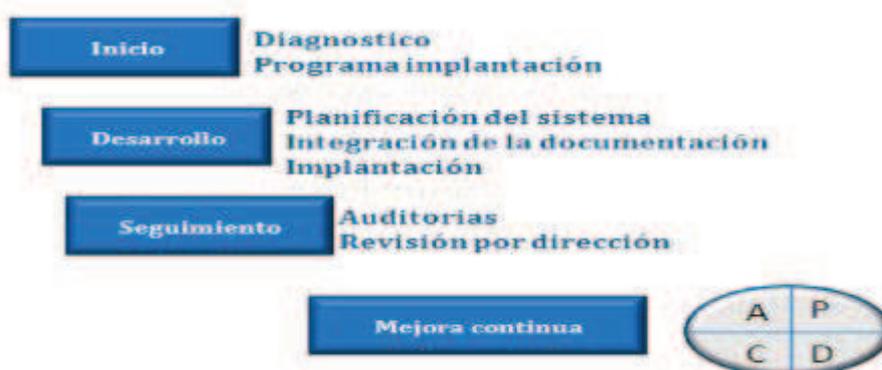
- Tipo de Investigación:- Aplicada
- Nivel de Investigación.- Experimental. Empleo de software
- Campo de Investigación.- Energía Eléctrica
- Área de Investigación.- Energías Renovables
- Aspecto a Investigar.- Producción de energía eléctrica aprovechando los Recursos renovables (eólicos y solares)

Los sistemas aislados basados en generadores fotovoltaicos y eólicos con acumuladores de baterías son una opción para la alimentación de pequeñas cargas en lugares remotos. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad. De todas las opciones la óptima se obtiene al valorar el costo económico de cada una de las posibilidades.

Para esto se toma como referencia estudios similares desarrollados en otros países y aportes propios que permitieron proponer una metodología para optimizar el diseño, teniendo en cuenta los costos de inversión, la carga demandada crítica de uso común y la confiabilidad del sistema

#### **Etapas del proyecto**

Las etapas son: Inicio, Desarrollo, Seguimiento y Mejora Continua.



**Figura 3.1 - Procesos de estrategias de solución.**

En los procesos se realizará lo siguiente:

**Inicio:**

- Diagnóstico
  - Identificación del problema
  - Conocer las necesidades de electrificación.
  - Evaluación de las fuentes renovables existentes
  - Tecnología de equipos a utilizar
- Programa de implantación
  - Etapa de desarrollo del proyecto
  - Etapa de implementación
  - Etapa de operación

**Desarrollo:**

- Planificación
  - Obtener de alguna fuente o generar información de los Recursos energéticos aplicables.
  - Procesamiento de la información.
  - Calculo de las necesidades de energía.
  - Criterios de selección del lugar de instalación
  - Dimensionamiento y evaluación de alternativas (Programa Excel, Elaboración propia).
- Integración de la documentación
  - Presentación de resultados del Proyecto
- Implementación y ejecución
  - Instalación del Sistemas Hibrido Eólico-fotovoltaico
  - Capacitación del personal y usuarios

**Seguimiento y verificación:**

- Auditorias / Controles
  - Operación y mantenimiento
  - Mediciones y controles
  - Fallas del proyecto implementado
- Revisión por la dirección

**Acciones Mejora:**

-

- Recomendaciones de mejora del sistema o
- normativas
- Conclusiones y recomendaciones

Según lo indicado, el alcance del presente estudio es cumplir con las sub etapas de Diagnóstico, Programa de implantación, Planificación e Integración de la documentación.

### **3.2 Población y muestra**

Población Actual En el 2016 el caserío La Lima contaba con una población de 296 habitantes distribuidos en 76 viviendas rústicas, estas se encuentran dispersas en un kilómetro de extensión.

#### **Características de la población futura**

El proyecto a realizar está pensado para que pueda cubrir las necesidades energéticas de la población durante al menos un periodo de 20 años. Por ello, será necesario calcular la población que habrá en un futuro. De esta forma, se hará una estimación de lo que será en ese momento la demanda energética y así se podrá verificar si con la instalación realizada ahora se seguirán cubriendo las necesidades energéticas dentro de 20 años

Para el cálculo de la población futura se utilizará la siguiente fórmula:

$$Pf = Pa (1+i/100)^t \quad (3.1)$$

Pf: Población futura

Pa: Población actual

i: tasa de crecimiento

t: periodo de crecimiento

Por tanto, la población estimada en 20 años será de 535 habitantes, distribuida en 137 familias

El el caserío La Lima

Pa= 296 habitantes

i = 3% (dato tomado del INEI)      t=20 años

#### **Demanda Energética de la Población**

Para la realización de este estudio se va a partir de la demanda máxima de los consumidores, teniendo en cuenta la potencia instalada, así como los factores de demanda, de simultaneidad y de utilización. Además, se distinguirá entre categoría residencial, que considerará a las familias, y categoría de uso común, en el que se incluirá una posta médica, local comunal, escuela y alumbrado público.

Los datos que se recogen sobre los consumos energéticos tanto familiares como generales están tomados de una serie de encuestas y datos de muestra de viviendas típicas del caserío La Lima

Los resultados de dichas encuestas ponen de manifiesto que en estas comunidades el consumo energético no es comparable con el de las ciudades electrificadas. La energía se utiliza sobre todo para la iluminación de las casas y para la cocción de los alimentos, para encender electrodomésticos y en negocios. Para ello, las fuentes energéticas que se utilizan son el carbón, las velas, kerosene para los mecheros, pilas y en algunos casos grupos electrógenos, como se aprecia en la Tabla (3.1)

Fuente	Cantidad/día	Un	Factor Equiv. (kWh/Un.)	US\$/día	Total kWh/día
Carbón	0,21	kg	2,5	0,16	0,525
Velas	0,30	U	0,045	0,03	0,0135
Kerosene	0,25	l	0,8	0,59	0,2
Pilas	0,20	U	0,056	0,02	0,0112
Gasolina	6,47	l	7,5	8,5	48,50025
				9,3	49,250

**Tabla 3.1 – Consumo energético diario (propia elaboración)**

### 3.3 Hipótesis

#### 3.3.1 Hipótesis general

La hipótesis general planteada en el presente trabajo es que mediante el aprovechamiento de los recursos Solar y Eólico para generar Energía Eléctrica con la sistema hibrido permitirá mejorar la calidad de vida de los pobladores del Caserío La Lima.

#### 3.3.2 Hipótesis específicas

La hipótesis específica planteada en el presente trabajo es que mediante la combinación óptima de un sistema Híbrido eólico-fotovoltaico en los tiempos de operación y generación de energía eléctrica permitirá cubrir con los requerimientos energéticos necesarios para satisfacer las necesidades de los pobladores del caserío La Lima

### **3.4 Variables**

#### **3.4.1 Recurso Eólico**

El aprovechamiento de este recurso mediante aerogeneradores de baja potencia, reguladores, baterías e inversores nos permite generar electricidad mediante la velocidad del viento de la zona.

#### **3.4.2 Recurso Solar**

El aprovechamiento de este recurso mediante los paneles fotovoltaicos, reguladores, baterías e inversores nos permite generar electricidad mediante la radiación solar y un óptimo ángulo de inclinación del panel fotovoltaico en la zona de captación.

#### **3.4.3 Calidad de vida del poblador**

La mejora de la calidad de vida del poblador rural se traduce en bienestar, nivel económico, nivel de educación y cuidados a la salud.

### **3.5 Métodos y técnicas de investigación**

#### **3.5.1 Indicadores**

##### **3.5.1.1 Indicador de velocidad de viento**

La velocidad del viento es la relación de la distancia recorrida por el aire con respecto al tiempo empleado en recorrerla (m/s). Estos son medidos por instrumentos rotarios y de presión, entre los cuales, el más común es el anemógrafo mecánico tipo Woelfle el cual consta de una veleta y un medidor de velocidad (cazoletas) conectados a unos rodillos que escriben sobre un papel

El proceso de cálculo del indicador parte de la disponibilidad de datos oficiales de velocidad del viento reportada para las estaciones de monitoreo que conforman la red meteorológica, como se define en el Mapa Eólico del Perú. El procedimiento implica la selección de la estación o estaciones que resulten representativas del área para la cual se calculará el indicador. Se emplean datos de estaciones que resulten confiables, dispongan de datos históricos

que permitan análisis de series de tiempo, y garanticen su permanencia en el tiempo.

### **3.5.1.2 Indicador de Irradiancia solar**

Irradiancia solar es la potencia solar incidente en una superficie por unidad de área. Sus unidades son  $W/m^2$ . la Irradiación solar o irradiación solar global (H) es la Energía solar incidente en una superficie por unidad de área. Es el resultado de integrar la irradiancia en un periodo de tiempo. Sus unidades son  $J/m^2$  o  $kwh/m^2$ . Es aquella radiación procedente (directa y difusa). Los fabricantes de paneles fotovoltaicos determinan la máxima potencia eléctrica de salida usando una fuente con una potencia luminosa de  $1 kW/m^2$

## CAPITULO IV

### PROPUESTA DE LA INVESTIGACION

#### 4.1 Alternativas de solución

La alternativa de solución que evaluaremos en esta oportunidad debe ser viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental para el suministro de energía eléctrica en el caserío La Lima, comunidad distante de las redes del servicio público de electricidad:

- Implementar un “Sistema Híbrido eólico-fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al caserío La Lima.
- Implementar un “Sistema eólico para suministrar energía eléctrica al caserío La Lima.
- Implementar un “Sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al caserío La Lima”

El régimen de radiación solar y vientos, presentan un gran potencial lo que puede verificarse en la información del Atlas Solar y Eólico definidos para el Perú. Atendiendo a las demandas sociales y a las evidencias de que el régimen de viento local es adecuado para instalar pequeñas turbinas eólicas y la radiación solar suficiente para el buen funcionamiento de un generador fotovoltaico, se requiere un estudio de ingeniería serio y detallado para tomar la mejor decisión donde quede demostrado que la mejor alternativa es instalar un sistema híbrido eólico-fotovoltaico en el caserío La Lima.

A continuación efectuamos una comparación de las ventajas y desventajas de las alternativas de solución

<b>Ventajas de los Sistemas Híbrido / Eólico / Fotovoltaicos</b>	<b>Desventaja de la Ampliación red MT distancia de 17 km</b>
La energía solar y eólica son las fuentes renovables más aprovechables en el caserío La Lima	La Lima se encuentra a una distancia de 17 km de la red eléctrica existente
La instalación de paneles solares y aerogenerador son menos complicados	Es más complicado tender la red eléctrica MT en 17 km
La frecuencia de mantenimiento es menor y más barato por ser un equipo centralizado en un solo lugar	La probabilidad de fallas es muy alta y el mantenimiento costoso, la probabilidad de hurtos es elevada
Su implementación y operación tiene menor costo	Su implementación y operación es más costosa.
El impacto ambiental es mínimo, predomina el impacto visual, ruido, obstaculización a las aves	El impacto ambiental es visual y con riesgo de afectación a terceros
La implementación, operación y mantenimiento presenta peligros y riesgos no significativos y que pueden ser controlados.	Existen mayores riesgos sobre propios y terceros por la extensión de la red, durante la implementación, operación y mantenimiento

**Tabla 4.1 – Ventajas y desventajas del sistema eólico solar**

#### **4.2 Desarrollo de la propuesta de Solución**

El aerogenerador combinado con paneles fotovoltaicos, es idóneo para un sistema híbrido de generación, ya que al complementarse en el tiempo garantizan la carga constante de las baterías que suministran la energía a los consumidores (viviendas, escuela, posta meica, locales comunal y alumbrado público). De esta forma se amortiguan las fluctuaciones diarias y estacionales de ambas fuentes energéticas, lo que reduce los ciclos de descarga de las baterías y extiende su vida útil.

El funcionamiento de este sistema híbrido puede describirse, de forma simplificada, con las siguientes características:

- El sistema está integrado por dos subsistemas de generación eléctrica: paneles fotovoltaicos y aerogenerador
- En términos generales, diariamente puede manifestarse la presencia del Sol (de acuerdo con la nubosidad), del viento, o de ambos recursos energéticos.
- El banco de baterías requiere de recarga, debido al consumo de los equipos.
- Diariamente, con la presencia de una o ambas fuentes energéticas, se inicia el proceso de recarga del banco de baterías con la entrada de los paneles fotovoltaicos, el aerogenerador o ambos simultáneamente si las demandas del sistema lo requieren.
- En el caso del aerogenerador, un sofisticado sistema de regulación de carga, acoplado en el interior del mismo, controla el régimen de carga al sistema, desconectando el equipo una vez alcanzada la carga idónea.
- El regulador de carga queda comprobando la caída de voltaje de la línea y el nivel de carga de las baterías a la espera de reiniciar el proceso de recarga.

#### 4.3 Ubicación del proyecto

Departamento de Cajamarca, provincia Cutervo, distrito Santo Tomás, caserío La Lima.

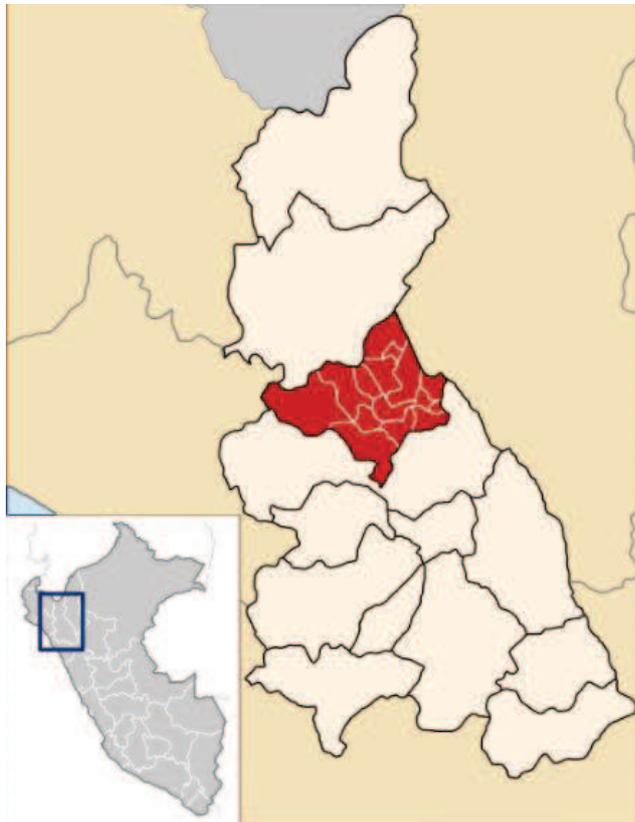


Figura 4.1 – Ubicación de Santo tomas en el contexto nacional Fuente proviasdes.glo



Figura 4.2 – Ubicación del proyecto proviasdes.glob.pe

Esquema de principio del Sistema Híbrido Eólico – Fotovoltaico

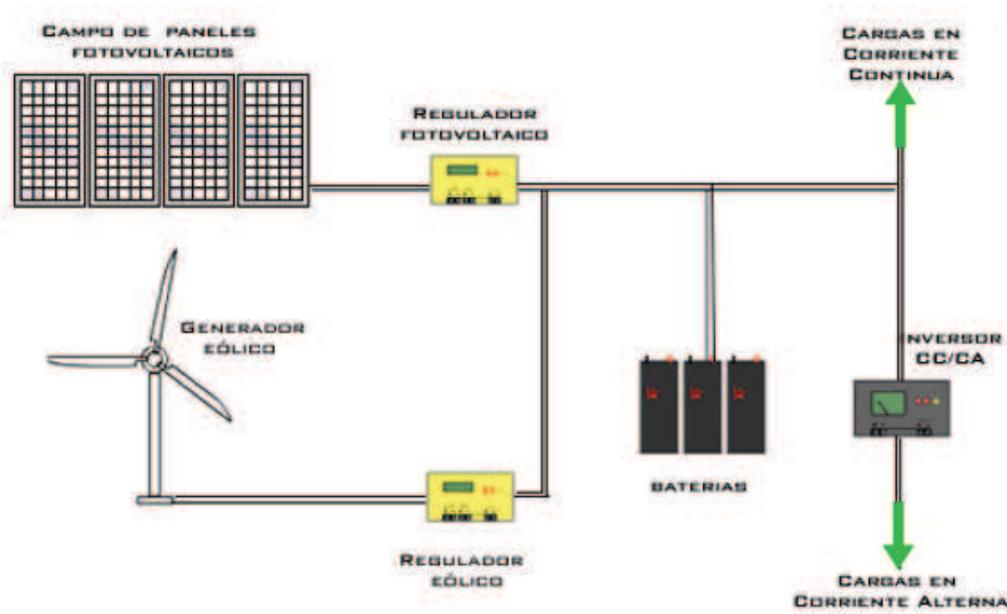


Figura 4.3 – Esquema de sistema híbrido eólico-fotovoltaico Fuente antusolar.cl

## Dimensionado del Sistema

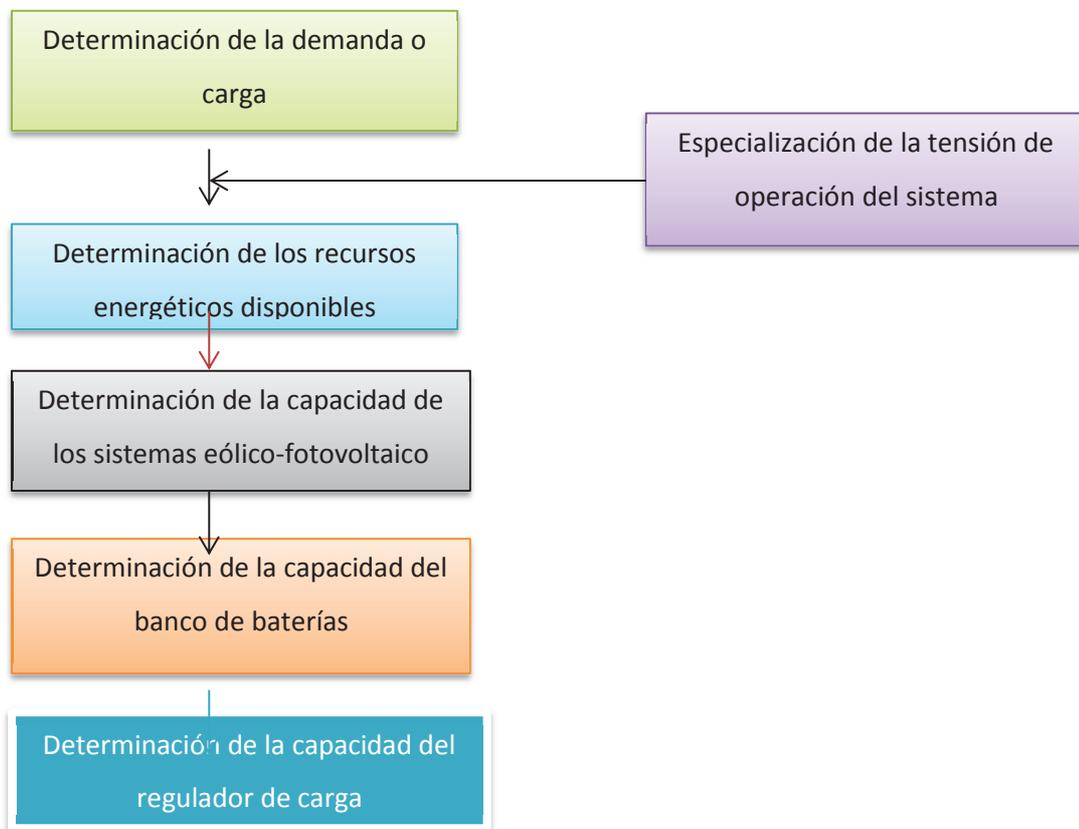


Figura 4.4 – Diagrama de flujo para dimensionar el sistema

### Las contribuciones del proyecto al desarrollo de la comunidad:

1. Brinda la posibilidad de generación de energía eléctrica renovable, compensando el uso de recursos no renovables (leña, carbón, el petróleo, y el gas); con lo cual se evita las emisiones de CO<sub>2</sub> en los ambientes de las viviendas que producen impactos negativos para la salud
2. La instalación de generación con sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos permite resolver los problemas de costos de generación de energía y contaminación ambiental por el uso de combustibles fósiles, esto posibilita la mejora de calidad de vida del poblador donde no cuenta con redes del servicio público de electricidad

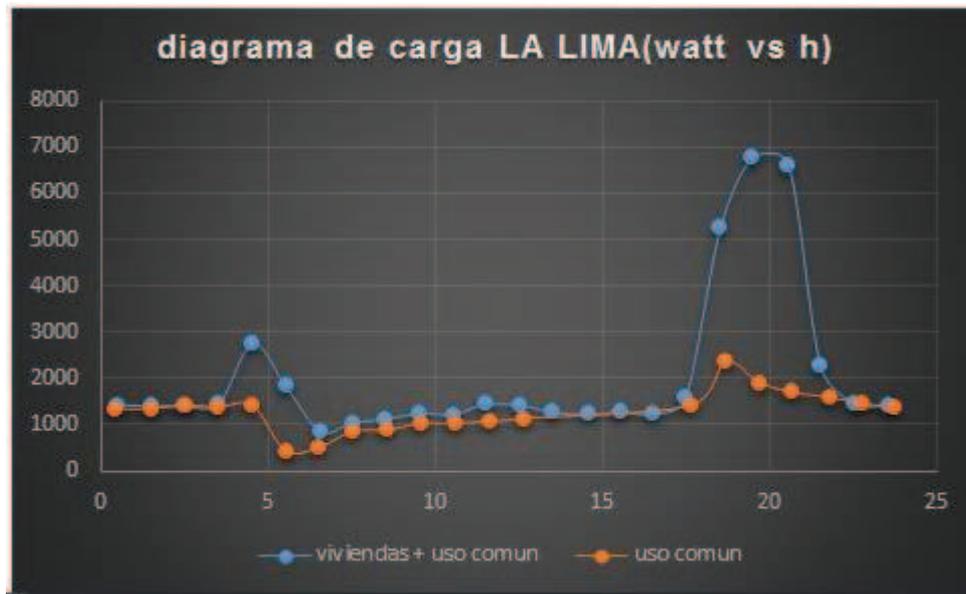
#### **4.4 Determinación de la demanda**

La energía solar y eólica en las viviendas del caserío La Lima, distrito Santo Tomás será utilizado para la instalación como fuente de generación eléctrica a través de paneles fotovoltaicos y un aerogenerador instalado en una zona estratégica, adyacente a la carga y cercana caserío para 76 viviendas, 01 posta médica, 01 colegio, 01 local comunal y alumbrado público, sumando un total de 7,20 kW de demanda. La demanda proyectada a 10 años. Considerando una tasa de crecimiento anual de 3% será de 16,70 kW

La carga típica de las viviendas residenciales y locales de uso común se muestran en la Tabla 4.2 y el diagrama de carga en la figura 4.5.

ESTIMACION DE CARGA DE CADA VIVIENDA				Factor de simulataneidad		
uso comun	Cantidad	potencia(W)	F.U	dia	noche	horas utilizadas
Lámpara (sala)	76	20	1	0,1	0,9	6
Lámpara (dormitorio)	76	20	1	0,1	0,9	3
Lámpara (cocina)	76	20	1	0,1	0,9	2
TV Color	76	40	0,25	0,2	0,8	5
Radio receptor	76	10	0,4	0,6	0,4	10
<b>TOTAL (76 viviendas)</b>	<b>76</b>	<b>4834</b>				
<b>TOTAL ENERGIA (kwh)</b>	<b>76</b>	<b>17602</b>				
ESTIMACION DE CARGAS ESPECIALES USO COMUN				Factor de simultaneidad		
uso comun	Cantidad	potencia(W)	F.U	dia	noche	horas utilizadas
<b>Posta medica</b>	<b>1</b>	<b>298</b>				
Refrigerador de vacunas	1	180	0,6	1	1	24
Comunicación Radio VHF	1	32	1	1	1	24
Ventilador	1	40	1	1	1	10
TV Color	1	60	1	1	1	12
Radio receptor	1	10	1	1	1	10
Lamparas	3	20	1	0,8	0,8	14
<b>Local comunal</b>	<b>1</b>	<b>366</b>				
TV Color	1	60	1	1	1	9
Radio receptor	1	10	1	1	1	10
Equipo de sonido	1	200	1	1	1	5
Lamparas	6	20	1	0,8	0,8	9
<b>Escuela</b>	<b>1</b>	<b>396</b>				
Computador	1	300	1	1	1	12
Lamparas	6	20	1	0,8	0,8	10
<b>Alumbrado Publico</b>	<b>1</b>	<b>950</b>				
Lamparas	19	50	1	0	1	11
<b>TOTAL (usos comunes)</b>	<b>4</b>	<b>2010</b>				
<b>TOTAL ENERGIA (kwh)</b>	<b>4</b>	<b>31650</b>				

**Tabla 4.2 Estimación de la demanda de energía diaria**



**Figura 4.5 – Diagrama de carga caserío La Lima**

### **Voltajes del Sistema**

Los niveles de tensión del sistema eléctrico del caserío La Lima serán:

- Red aérea BT y Tablero de distribución: 220 Vac
- Sistema Hibrido Eólico-Fotovoltaico: 220 Vac
- Paneles Solares, Volt: 24 Vcc
- Aerogenerador, Volt: 24 Vcc
- Baterías acumuladores: 24 Vcc

Las instalaciones del sistema Hibrido incluirán:

- Módulos fotovoltaicos, en arreglos de 28x240 Wp = 6720 Wp
- Un Aerogenerador de eje horizontal de 2kW de Potencia
- Inversor DC/AC (24Vcc/220 Vac) para red distribución, la potencia,  $\geq 8000$  W
- Contador de energía
- Soportes metálicos para el arreglo de los paneles solares
- Cableado
- Equipos de protección, control
- Tablero para equipos
- Red de distribución BT, servicio particular y alumbrado público.

Incluye:

- Red eléctrica aérea de BT desde la Central Híbrida hasta las viviendas
- Acometidas de BT para cada vivienda
- Medidor de energía e interruptor termo magnético
- Postes y pastorales con luminarias de 50W de potencia

Respecto a los equipos de protección y control el sistema contará con las protecciones contra corrientes de cortocircuitos y el control considerará elementos de desconexión y conexión automática ante las siguientes contingencias (n-1):

- Ante fallas de la generación fotovoltaica esta se desconectará automáticamente, la carga quedará alimentada por la generación eólica y por el sistema de acumulación de la batería (sin exceder su máxima capacidad permitida). Si la carga excede la oferta, se desconectará las cargas de las viviendas quedando sólo las de uso común. En el caso que la demanda exceda también la capacidad de las baterías se producirá la desconexión de todo el sistema híbrido.
- Ante fallas de la generación eólica esta se desconectará automáticamente, la carga quedará alimentada por la generación fotovoltaica y por el sistema de acumulación de la batería (sin exceder su máxima capacidad permitida). Durante el día, si la carga excede la oferta, se desconectará las cargas de las viviendas quedando sólo las de uso común. En el caso que la demanda exceda también la capacidad de las baterías se producirá la desconexión de todo el sistema híbrido.

Durante la noche, no funciona el sistema fotovoltaico y si la carga excede la oferta de las baterías se desconectará las cargas de las viviendas quedando sólo las de uso común. En el caso que la demanda exceda también la capacidad de las baterías se producirá la desconexión de todo el sistema híbrido.

El análisis de contingencias (n-1), considera la fiabilidad del sistema de generación de energía eléctrica ante la indisponibilidad de una de las fuentes: solar, eólica o las baterías. El sistema ha sido diseñado para que suministre energía total de viviendas y uso común con una confiabilidad (n-1), manteniendo una reserva de energía acumulada en baterías para alimentar las cargas de uso común.

#### **4.5 Determinación de los recursos energéticos**

##### **Recurso Eólico**

Según el Atlas Eólico del Perú (Ver Capítulo I, pag. 08), la velocidad media del viento en el caserío La Lima es igual a:

Velocidad media = 7 m/s (80 m altura)

##### **Recurso Solar**

Según el Atlas Solar del Perú (Ver Capítulo I, pag. 18), estimamos la energía solar promedio anual que es la equivalente a:

Irradiancia media anual = 5.75 kWh/m<sup>2</sup>

#### **4.6 Dimensionado del sistema eólico-fotovoltaico**

Dado que la carga de demanda es relativamente pequeña (49.25 kWh/día), para la estimación del óptimo Sistema Híbrido Eólico – Fotovoltaico, se evaluarán 02 condiciones:

**Caso 1.-** Considerando que el sistema fotovoltaico será dimensionado para satisfacer la carga de uso común que es igual a 31650 Wh / día, y que el sistema eólico satisface la carga de las 76 viviendas equivalente a 17602 Wh / día.

**Caso 2.-** Considerando que el sistema fotovoltaico será dimensionado para satisfacer la carga de las 76 viviendas equivalente a 17602 Wh / día, y que el sistema eólico satisface la carga de uso común que es igual a 31650 Wh / día

##### **Determinación de la capacidad del Generador Fotovoltaico**

###### **□ Aporte del Sistema Fotovoltaico (Caso 1)**

Este cálculo se efectuó en base a la demanda crítica de cargas de uso común 31650 Wh/día: AP, Posta Médica, Colegio, Local Comunal, tal como se muestra en la tabla 4.3. (Utilizamos el Programa Excel de dimensionamiento de Sistema Híbrido, elaboración propia)

<b>sistema solar fotovoltaico</b>	
<b>Energía Solar (DM Fv)</b>	31650Wh/día
<b>Carga Instalada (W)</b>	7250W (DMax.)
<b>Voltaje del Sistema (Vn)</b>	24V
<b>Degradación sistema (D)</b>	10%
<b>Reserva futura (Rfut)</b>	10%
<b>tiempo auton batería (n)</b>	1Día
<b>Profundidad de descarga</b>	60%

**Tabla 4.3 capacidad fotovoltaica caso 1**

El cálculo de la cantidad de paneles solares se estima en base a la relación de la Demanda máxima Fotovoltaica, las horas de radiación solar y la potencia pico del panel fotovoltaico, con lo cual se obtiene el número de paneles solares, ver tabla 4.4.

<b>Calculo de la cantidad de paneles solares</b>	
<b>Factor de Seguridad (FS)</b>	1,2
<b>Demanda máxima FV (DM Fv)</b>	31650Wh
<b>Horas radiac (HPS)</b>	5,75 h/día
<b>Pot pico panel (PFP)</b>	240Wp
<b>Nº Paneles =</b>	$FS \times DMFv / (HPS \times PFP)$
<b>Nº Paneles =</b>	<b>27,5 U (≈ 28 Unid.)</b>

**Tabla 4.4 – Cantidad de paneles solares caso 1**

La potencia nominal del sistema fotovoltaico seleccionado será de 6720 Watts (28x240 Wp). Las horas de radiación solar (HPS) se determinaron en base a la radiación promedio estacional de la localidad en estudio es de 5.75 kwh/m2, considerando los datos del Mapa Solar del Perú.

La energía total anual estimada por el sistema fotovoltaico (28x240Wp) es:

Energía Generada día =  $(28 \times 240 \times 5.75) = 38.64 \text{ KW-h}$

Energía Generada año =  $(28 \times 240 \times 5.75) \times 365 / 1000 = 14103.6 \text{ KW-h}$

### **Generador fotovoltaico**

Formado con 28 Paneles Solares cada uno de 240 Wp de potencia, agrupados en 05 arreglos de 06 paneles cada uno, cada arreglo contiene 01 regulador de carga. El sistema fotovoltaico pretende cubrir los 31650 Wh/día de energía



**Figura 4.6 - Sistema de Paneles Solares para sistemas asilados con tecnología OF-GRID (Fuente: Geebo Electronic Technology Co., Lto – China)**

- **Aporte del Sistema Fotovoltaico (Caso 2)**

Al igual que en el Caso 1, este cálculo se efectuó en base a la demanda de las 76 viviendas 17602 Wh/día, los resultados de cantidad de paneles y energía generada anual son las siguientes:

N° paneles = 16 Unid.

Energía Generada año =  $(16 \times 240 \times 5.75) \times 365 / 1000 = 8059.2 \text{ KW-h}$

Determinación de la capacidad del Generador Eólico

- **Aporte del Sistema Eólico (Caso 2)**

Este cálculo se efectuó en base a la demanda de las viviendas del caserío La Lima, tal como se muestra en la tabla 4.5 (Utilizamos el Programa Excel de dimensionamiento de Sistema Híbrido, elaboración propia)

Sistema eólico	
Diámetro del rotor (D)	4M
Numero de Palas (P)	3Unid
Área de barrido (A)	12,57m <sup>2</sup>
Energía eólica =	17602Wh/día
Potencia media =	Energía Eólica / 24W
<b>Potencia media =</b>	<b>733W</b>

**Tabla 4.5 – Capacidad del generador eólico caso 2**

El cálculo de la velocidad del viento a la altura de montaje del sistema eólico se estima en base al coeficiente de rugosidad y la altura de montaje correspondiente partiendo de los datos la velocidad de viento a 80m según mapa eólico proporcionado por el Ministerio de Energía y Minas, con lo cual se obtiene la velocidad media del viento en m/s, ver tabla 4.5.

Calculo de la velocidad del viento	
	V(h1)*
Velocidad V(h2) =	Ln(h2/a)/Ln(h1/a)
Velocidad V(h1) =	7m/s
Altura h2=	6M
Altura h1=	80M
Clase rugosidad (Cr)	0,5
Coeficiente rugosidad(a)	0,0024
<b>Velocidad V(h2)</b>	<b>5,26m/s</b>

**Tabla 4.6 – Velocidad del viento a 6 m de altura**

La potencia nominal del sistema eólico seleccionado será de Potencia Nominal 2 kW (8 m/s, altura torre 6 m). La velocidad media a 80m de la superficie es equivalente a 7 m/s en dicho lugar (Datos del Atlas Eólico del Perú).

Se ha calculado la velocidad del viento a 6 m, resultando equivalente de 5.26 m/s. Extrapolando en la curva de potencia del fabricante se determina que la potencia generada será de 800 W (5.26 m/s). La energía total anual:

Energía Generada año = (800\*24)\* 365/1000 = 7008 KW-h

**Aerogenerador**

El aerogenerador es de 2000 W de potencia, tiene una torre de 6 metros de altura. El diámetro del rotor es de 4,0 metros y tiene 3 hélices. La particularidad de este aerogenerador es que se puede abatir para realizar su mantenimiento o variar el grado de inclinación de sus hélices.

El sistema micro-eólico permitirá aportar 19200 Wh/día adicionales, aumentando la energía disponible y, por tanto, el número de horas de uso.

Características técnicas del generador eólico: Modelo HF4.0-2KW Fabricante: HengFeng Power – China



**Figura 4.7 - Aerogenerador de eje horizontal de tres palas Fuente Archiespo.es**

Main technical data as follows:

1. Machine Type: horizontal-axis wind turbine
  2. Blade form: propeller 3. Blade number: 3 pcs
  4. Blade material: glass fiber reinforced plastic
  5. Type of generator: permanent-magnet direct drive 3 phase AC
  6. Type of tower: guy wire or free standing Power: 2KW
- Blade diameter (m): 4.0  
Rated Rotated speed(r/min): 400  
Rated speed (m/s): 8

Rated power: 2KW

Max power: 3KW

Output voltage (v): 96 / 24

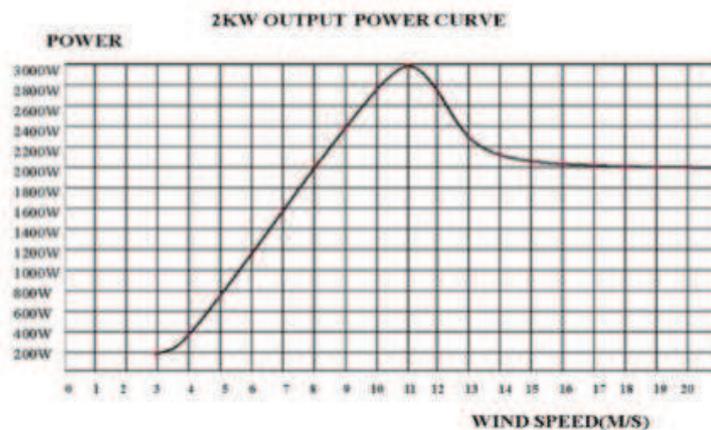
Start up wind speed (m/s): 3

Work speed (m/s): 3-30

Security wind speed(m/s):50

speed regulation: leaning tail + electric brake

Capacity and quantity of battery: 12V100AH 8 pcs.

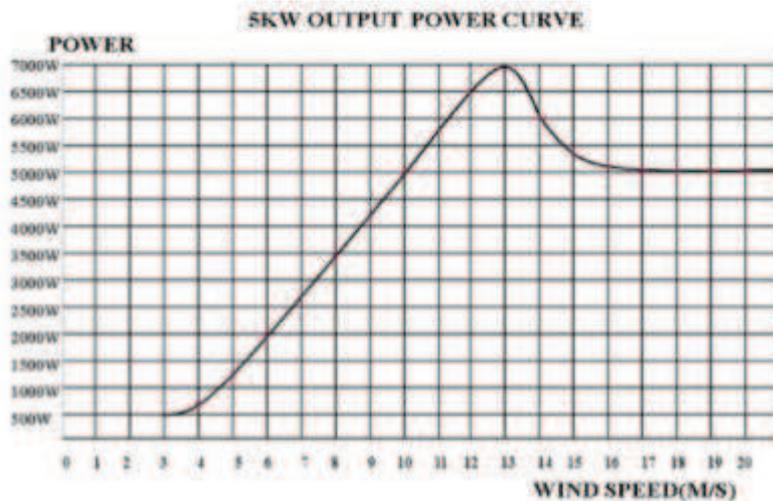


**Figura 4.8 – Curva de potencia del aerogenerador de tres palas 2kW**

#### **Aporte del Sistema Eolico (Caso 2)**

Al igual que en el Caso 1, este cálculo se efectuó en base a las cargas de uso comun 31650 Wh/dia. La potencia nominal del sistema eólico seleccionado será de Potencia Nominal 5 kW (10 m/s, altura torre 9 m).

Se ha calculado la velocidad del viento a 9 m, resultando equivalente de 5.53 m/s. Extrapolando en la curva de potencia del fabricante se determina que la potencia generada será de 1500 W (5.53 m/s)



**Figura 4.9 Curva de potencia del aerogenerador de tres palas 5kW**

La energía total anual estimada por el sistema eólico es la siguiente:

$$\text{Energía Generada año} = (1500 \times 24) \times 365 / 1000 = 13140 \text{ KW-h}$$

#### **4.7 Dimensionado del sistema eólico**

En este caso se considera que el Sistema Eólico satisface a toda la carga de 49252 kWh del caserío La Lima (viviendas, cargas de uso común y Alumbrado público).

Similar al Caso 1 del Sistema Híbrido, utilizamos el Programa excel de dimensionamiento de Sistema Híbrido de elaboración propia, para calcular y seleccionar aerogenerador que satisfaga dicha demanda. La potencia Nominal será de 10 kW (10 m/s, altura torre 12 m).

Se ha estimado la velocidad del viento a 12 m, resultando un equivalente de 5.72 m/s. Extrapolando en la curva de potencia del fabricante se determina que la potencia generada será de 3000 W (5.72 m/s).

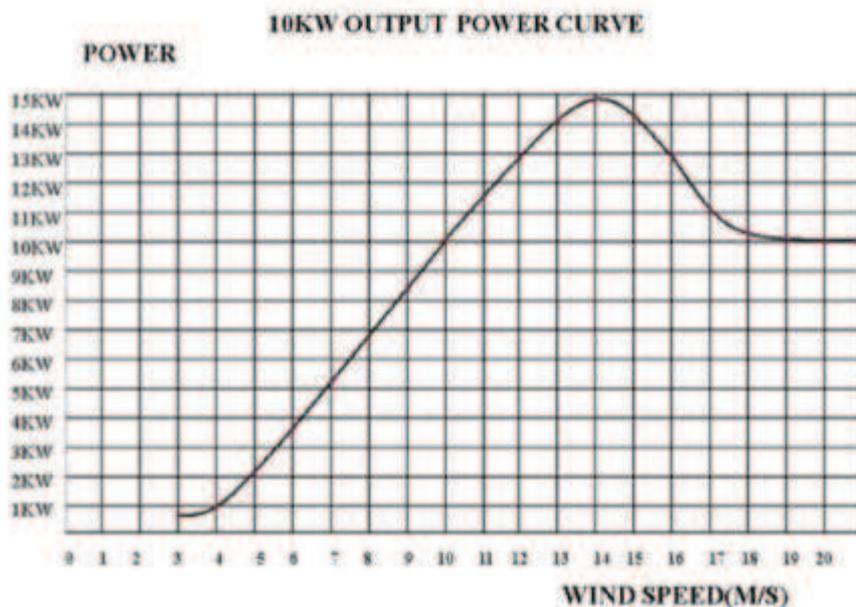


Figura 4.10 Curva de Potencia del Aerogenerador de tres palas 10 kW

#### 4.8 Dimensionado del sistema fotovoltaico

En este caso se considera que el Sistema Fotovoltaico satisface a toda la carga de 49252 kWh del Caserío La Lima (viviendas, cargas de uso comun y alumbrado público.).

Similar al Caso 1 del Sistema Hibrido, utilizamos el Programa excel de dimensionamiento de Sistema Hibrido de elaboracion propia, para estimar la cantidad de paneles solares y la energia generada anual.

##### Calculo de cantidad de paneles solares

Factor de Seguridad (FS)	1.2
Demanda máxima FV (DM Fv)	49252 Wh
Horas radiac (HPS)	5.75 h/día
Pot pico panel (PFP)	240 Wp
Nº Paneles =	$FS \times DMFv / (HPS \times PFP)$
Nº Paneles =	<b>42.8 U</b>

Tabla 4.7 - Capacidad Fotovoltaica para Demanda total

Nº paneles = 44 Unid.

Energía Generada año =  $(44 \times 240 \times 5.75) \times 365 / 1000 = 22162.8 \text{ KW-h}$

#### 4.9 Dimensionado de la red de mt 17 km para suministro de energía

La alternativa de suministrar carga implementando la red de media tension 22.9 kV de 21 km de longitud, representa efectuar los siguientes trabajos:

- Montaje e instalacion de postes MT y armados (175 postes, 30 retenidas)
- Instalacion de conductor aereo (17 km por fase), ver ruta red de MT.
- Montaje e Instalacion de SAB, Trafo de 75 kVA. (01 unidad)

#### 4.10 Selección de componentes del equipo

##### 4.10.1 Selección del regulador de carga

El regulador de carga es un dispositivo que se encarga de proteger la batería.

Criterios de selección:

- Tensiones de batería compatibles (12, 24 y 48V). En nuestro proyecto hemos seleccionamos de 24 V.
- Corriente máxima de paneles + aerogenerador.
- Corriente máxima que puede proporcionar a la carga

Para el Híbrido del caso 1, enlazando el sistema fotovoltaico con las baterías se va a usar 06 controladores electrónico de capacidad 60 A cada uno.

Casos evaluados	Pot. Max (Panel + Eolico)	Pot. Max Carga	Pot. Max Híbrido	I <sub>max</sub> Amp.	I <sub>regulad</sub> 24 V	N° regulador
Solar + Eolico + Bateria	6720+800=7520	7200	7520	313	60	6
	3840+1500=5340	7200	7200	300	60	5
Eolico + Bateria	0+3000 = 3000	7200	3000	300	60	5
Solar + Bateria	10520+0 = 10520	7200	10520	438	60	8
Red MT	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

**Tabla 4.8 Selección del regulador de carga**

##### 4.10.2 Selección de la batería:

Las baterías empleadas en sistemas eólico-fotovoltaicos son específicas, sus principales características son:

- Muchos ciclos de carga y descarga.
- No son adecuadas para suministrar altas corrientes.
- Reserva Ciclos suaves de electrolito grande para alargar tiempos de mantenimiento.

Para el cálculo empleamos nuestro programa en Excel. Ver Tabla 4.9

#### Capacidad Banco Baterías

Energía Acumulada (Ea)		31650	Wh/día
Capnec =	$Ea / Vn$		
Capnec =		1318.75	Ah
Capfect =	$Capnec / (1-D)$		
Capfect =		1465.28	Ah
CapTot =	$Capfect / (1-Rfut)$		
CapTot =		1628.09	Ah
Capbat =	$CapTot \times n / PDD$		
Capbat =		2713.48	Ah

#### Selección de batería

Tipo batería	Batería Techno Sun 2V 16=PZS2000
Capacidad (AH)	1300 AH
Voltaje nominal (V)	2 V
Eficiencia de batería	95%
Profundidad de descarga	60%
Temperatura de operación	25 °C
Vida de diseño	> 15 Años

#### Numero de baterías

Nº baterías en serie (NBs) =	$Vn / Vnbat$	
NBs =		12 unid.
Nº baterías paralelo (NBp) =	$Capbat / AH bat$	
NBp =		2.09 Kit

**Tabla 4.9 – selección y dimensionamiento de la batería**

El conjunto de paneles genera energía que es almacenada en un sistema de acumulación con una capacidad de 2600 Ah/día y 24 Vcc. Este sistema consta de 24 baterías (de 1300 AH y 2V cada uno) interconectadas en 12 unidades en serie y 02 grupos en paralelo

### 4.10.3 selección de un inversor aislado dc/ac

Los inversores transforman la corriente continua de las baterías en corriente alterna compatible con los electrodomésticos de consumo. (24Vcc / 220 Vca). Se deben elegir teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Máxima potencia que pueden suministrar en alterna.  $P_{max.} = 7200 \text{ Watt}$  - Tipo de cargas que van a alimentar. - Posibilidades del inversor de funcionar también como cargador de baterías. (No aplica) - Condiciones ambientales y de almacenamiento del equipo. Los inversores son equipos electrónicos muy sensibles a las condiciones ambientales. Se debe elegir uno lo suficientemente robusto como para aguantar las condiciones ambientales presentes.

Según la demanda la potencia de diseño del inversor será de 8.0 kW, por lo que seleccionamos 02 unidades de inversores de 4 kW con las características siguientes:

Inversor Xantrex XW4024 4000W, 24VDC/220 VAC Inverter



Figura 4.11 Inversor banco de baterías Fuente autosolar.es

### 4.10.4 Estrategia de control

El funcionamiento del sistema híbrido es muy sencillo. Hay una red formada por dos elementos generadores (paneles fotovoltaicos, aerogenerador) y el regulador, que es el corazón de toda la instalación. El sistema de control detectará el nivel de carga

de las baterías y, a medida que sea necesaria más energía, irá desconectando los elementos generadores. Este proceso será progresivo eliminando uno a uno los sistemas. Si en algún momento se detecta que el nivel de carga de las baterías está por debajo del 65%, automáticamente se conectará algún sistema de generación para su carga. De esta forma se obtiene un sistema aislado basado en energías renovables, que forma una red propia.

Se aplicará un programa regular de operación y mantenimiento del equipo de sistema híbrido eólico-fotovoltaico; el proyecto considera las futuras ampliaciones en otras zonas aisladas de la red.

El proyecto potenciará la experiencia del equipo de trabajo, ingenieros y técnicos puesto que representa la aplicación de tecnología innovadora en el Perú, que además cuida el medio ambiente disminuyendo la contaminación ambiental, obteniendo otros beneficios complementarios:

- Brinda entrenamiento al personal técnico en la operación y el mantenimiento.
- Sirve de ejemplo de los beneficios ambientales que se logra con la aplicación de fuentes renovables en viviendas rurales aisladas

#### 4.10.5 Análisis comparativo de costos de alternativas del proyecto:

Para la selección de la mejor alternativa de inversión del proyecto realizamos el análisis económico y técnico, lo que presentamos en el siguiente cuadro resumen:

ALTERNATIVAS EVALUADAS	SOLAR EOLICO		BATERIA	FIABILIDAD N-1	COSTO TOTAL (US\$)	COMENTARIO
SISTEMA SOLAR + EOLICO+BATERIA	60%	36%	64%	SI	17562	En las noches, si falla el sistema eolico si existe respaldo por bateria para la carga de uso comun
SITEMA SOLAR+ EOLICO+BATERIA	36%	64%	64%	SI	18774	En las noches, si falla el sistema eolico si existe respaldo por bateria para la carga de uso comun
SISTEMA SOLAR+BATERIA	100%	0%	100%	NO	25592	En las noches, si falla el sistema eolico no existe respaldo para la carga de uso comun
SISTEMA EOLICO+BATERIA	0%	100%	64%	SI	21908	En las noches, si falla el sistema eolico si existe respaldo por bateria para la carga de uso comun
17 KM DE RED MT 22.9 KV	0%	0%	0%	NO	8000,00	Si falla la red electrica MT santo tomas la lima, no existe respaldo de suministro electrico

**Tabla 4.10 – Costos de alternativas**

Para la comparación se han obviado los costos de la red de BT de distribución de la electricidad hasta cada vivienda, locales y la red de Alumbrado Público, porque la misma debe ser considerada en los diferentes casos evaluados del proyecto. Se

han despreciado los costos de accesorios, equipos electrónicos, reguladores e inversores en el caso de los sistemas fotovoltaicos, eólicos y baterías.

Se deduce que la mejor alternativa técnica y económica es la implementación del sistema híbrido solar + eólico + baterías, con un costo aproximado de inversión de US\$18 000.00.

Asimismo podemos deducir que la peor alternativa es la construcción de la red de MT en 17 km de distancia, se ha considerado el costo de US\$ 40000.00 /km red aérea (Estadística Costos – Octubre 2016, Fuente Edelnor). Desde el punto de alimentación más cercano de la red eléctrica, con un monto de inversión aprox. a los US\$ 840 000.00.

A continuación realizaremos una valoración más detallada respecto a la inversión en equipamiento del sistema híbrido proyectado.

Para la comparación se han obviado los costos de la red de BT de distribución de la electricidad hasta cada vivienda, locales y la red de Alumbrado Público, porque la misma debe ser considerada en los diferentes casos evaluados del proyecto. Se han despreciado los costos de accesorios, equipos electrónicos, reguladores e inversores en el caso de los sistemas fotovoltaicos, eólicos y baterías.

Se deduce que la mejor alternativa técnica y económica es la implementación del sistema híbrido solar + eólico + baterías, con un costo aproximado de inversión de US\$18 000.00.

ctado. **Detalle de costos del proyecto de mejor alternativa**

**Sistemas Híbrido Aislado de la Red**

**Sistemas Híbrido Aislado de la Red**

<b>Sistemas Híbridos Eólicos-Fotovoltaicos</b>		<b>38633.92</b>
	FOB US\$	LOCAL US\$
Paneles solares 28*240 W	5600.00	7280.00
Aerogenerador de 2 Kw	1368.00	1778.40
Banco de baterías 2600AH, 24 V, 2x12x1300 AH	14288.40	18574.92
Regulador de carga 5x60A, 24 V	3144.00	4087.20
Inversor DC/AC 8kW 2x4kW 24Vcc/230VCA- 60Hz	5318.00	6913.40
<b>Red Distribución eléctrica BT</b>		<b>13832.00</b>
Red BT para 76 viviendas (182 US\$/vivienda)		13832.00
Red BT para 02 locales, 01 posta medica		
Red Alumbrado publico		
<b>Instalación y servicio técnico</b>		<b>5246.59</b>
<b>Costo Total (US\$)</b>		<b>57712.51</b>

**Tabla 4.11 Costo total estimado**

Inversiones en equipamiento para los Sistemas Híbridos eólicos-fotovoltaicos.

Description	Costo Total Estimado (US\$)
Instalación de un Sistema Híbrido aislado de la red (Paneles solares de 28x240 Wp, Aerogenerador 01x 2 KW y Baterías 2600 AH de 24x1300AH c/u)	57712.51
Costos de Ingeniería/Contingencias imprevistos	2885.62
<b>TOTAL COSTO ESTIMADO (US\$)</b>	<b>60598.14</b>

**Tabla 4.12 Inversión en equipamiento de un sistema híbrido en viviendas aisladas**

#### Costos Anuales de Operación y Mantenimiento

Description	Costo Total Estimado (US\$) por año
Anual por Operación y Mantenimiento	1211.96
<b>TOTAL COSTO ESTIMADO</b>	<b>1211.96</b>

**Tabla 4.13 Costos anuales de operación y mantenimiento**

#### 4.11 Estimación de los ingresos por ventas de energía

Para la estimación de los ingresos por la venta de energía a los usuarios, estimamos el consumo promedio que corresponde a cada cliente efectuando la división entre el consumo total de la energía del caserío La Lima entre el número de viviendas existentes. De esta forma resulta que la energía mensual consumida por la población es de 49.5 kWx 30 días = 1477.5 KWH. Lo que equivale a 19.44 kwh por vivienda mensualmente.

Según el pliego tarifario del mes de Noviembre del 2014 (Ver Anexo 3), se muestra que el costo de unitario de venta de energía para la tarifa BT5B es igual a:

Precio Unitario S/. KW-h = 0.2707

**Los ingresos por venta de energía mensual de cada vivienda serán:**

Ingresos Venta Energía mensual = Precio Unitario \* Energía mensual

Ingresos Venta Energía mensual = 0.2707 (S/./kw-h) \* 19.44 (kW-h)

Ingresos Venta Energía mensual = S/. 5.26

Ingresos Venta Energía anual = S/. 63.15

**Los ingresos totales por venta de energía a las 76 vivienda serán:**

Ingresos Total Venta Energía anual = 76x 63.15 = S/. 4796.00

Ingresos Total Venta Energía anual = US\$ 1714.00

- Experiencia recogida de ADINELSA en la operación de Sistemas Fotovoltaicos domiciliarios

El modelo de administración utilizado es con la participación de los usuarios. En las comunidades en las que se ha instalado los SFD, se ha seguido, en forma estandarizada, un convenio entre ADINELSA y el CPE que especifica lo siguiente:

- Pago único por derecho de conexión de S/. 150.00 por usuario o Pago mensual de S/. 20.00 por usuario por el uso del SFD
- El compromiso de los usuarios de custodiar el SFD, no trasladarlo, ni modificar sus instalaciones. o La obligación de devolver a ADINELSA los equipos que conforman el SFD, en el caso de que la red pública resulte, en el futuro, accesible a la comunidad.

El modelo de administración fue implementado el año 2002 en Cerro de Pasco. A efecto, se suscribió un Convenio de Administración entre ADINELSA y el Comité Pro Electrificación local. Una réplica se materializó el año 2002 en el poblado de Palca, distrito de Sancos, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, BANCO MUNDIAL, Lima, Noviembre 2005 - MEJORAMIENTO DE LA ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE FONDOS CONCURSABLES, Estudio de Pre inversión a nivel de Pre – Factibilidad)

### **Propuesta de costos para pago de clientes del servicio de electricidad en el caserío La Lima.**

Utilizaremos esta información como referencia para el flujo financiero, por ser una experiencia ya implementada con éxito. Sin embargo consideraremos solo el 50% de los montos considerados por ADINELSA, según mostramos a continuación:

- **Pago único por derecho de conexión de S/. 75.00 por usuario**
- **Pago mensual de S/. 10.00 por usuario por el uso del Sistema Híbrido.**

El pago mensual de cada cliente compensa incluso los costos promedio de cada vivienda y de las cargas de uso común como el Alumbrado Público. Es el costo que

reemplaza al gasto por velas, mecheros o grupos electrógenos que actualmente usan para iluminación.

El costo único por conexión también será evaluado como alternativa para su implementación.

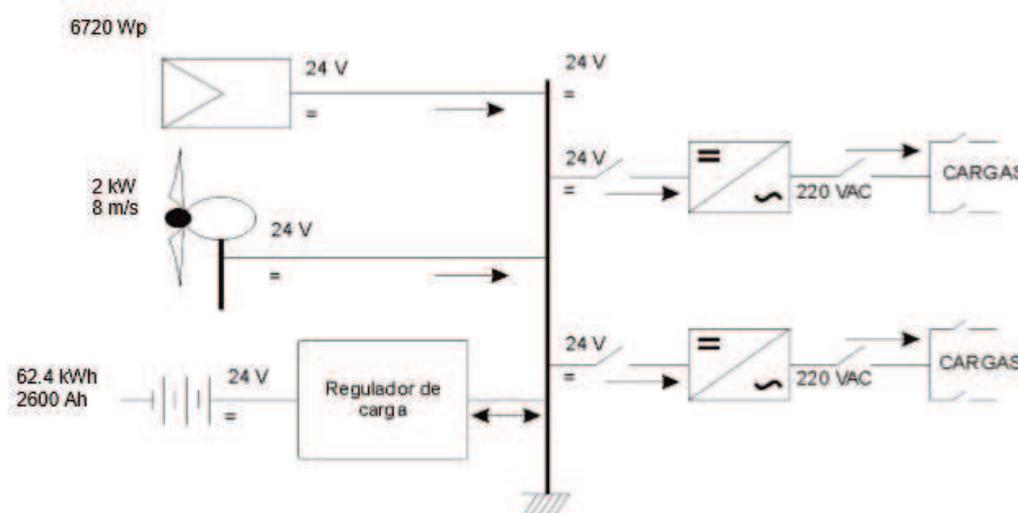
Ingresos totales por Costo de conexión 76 viviendas + 3 uso común

**Ingresos Total por Conexión=  $79 \times 75 / 2.80 = \text{US\$ } 2116.07$**

Los ingresos totales por venta de energía a las 76 vivienda + 3 uso común:

Ingresos por venta a las viviendas

**Ingresos Total Venta Energía anual =  $(76 \times 10 / 2.80) \times 12 = \text{US\$ } 3257.14$**



**Figura 4.12 - Representación de un Sistema Híbrido Fuente scielo.org.com**

#### 4.12 Plan de implementación

El alcance del proyecto, el plan de implementación será el siguiente:

##### **METODOLOGIA PARA DESAROLLAR EL ENTREGABLE**

- o Diagnostico
- o Programa de implantación
- o Planificación
  - Diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red
  - Tecnología de equipos a utilizar, empleo de software Homer
  - Criterios de optimización del sistema híbrido
  - Modalidades de financiamiento y tarifas
- o Integración de la documentación
  - Presentación del proyecto

- Conclusiones y recomendaciones

### DIAGRAM DE GANNT

Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
○ Diagnostico	X			
○ Programa de implantación	X			
○ Planificación	X	X		
▪ Diseño del sistema hibrido fotovoltaico-eólico aislado	X	X		
▪ Tecnología de equipos a utilizar		X		
▪ Criterios de dimensionamiento optimo		X		
▪ Modalidades de financiamiento y tarifas		X		
○ Integración de la documentación		X	X	
▪ Presentación del proyecto				X
▪ Recomendaciones y conclusiones				X

Tabla 4.14 Diagrama de actividades

## CAPITULO V

### ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

#### 5.1 Resultados operativos

##### 5.1.1 Energía solar fotovoltaica.

Las mediciones de caracterización (curva I-V) de un módulo fotovoltaico permitieron determinar la corriente de cortocircuito, para poder con ésta realizar los cálculos de la Irradiancia solar y de la temperatura del módulo.

**Los resultados fueron, la potencia nominal de sistema fotovoltaico será de 6720W (28 x 240 Wp), considerando que la radiación promedio de la zona es de 5,75 kWh/m<sup>2</sup>, se obtuvo:**

**La energía total estimada por el sistema fotovoltaico de 28x240 Wp es:**

Energía Generada/día =  $28 \times 240 \times 5,75 = 38,64$  KWh  
Energía Generada/año =  $28 \times 240 \times 5,75 \times 365 / 1000 = 14103,6$  KWh.

##### 5.1.2 energía eólica.

Las mediciones de caracterización de un aerogenerador permitieron obtener su curva de potencia (P (W) - V(m/s)). En el proceso experimental realizado, se planteó las siguientes tareas:

- Medida de las curvas I-V en función de la velocidad del viento □ Medida de las curvas I carga-velocidad del viento para dos condiciones de carga de batería 24 - 48 Vcc.

Los resultados fueron, los siguientes:

- La potencia nominal de sistema eólico seleccionado será de 2 kW (8m/s. altura de la torre 6m)
- La velocidad del viento a 6m/s es de 5,26 m/s, esto se calcula en función a la velocidad media a 80m de la superficie es 7m/s (Atlas Eólico del Perú).
- Extrapolando de la curva de potencia del fabricante de maquinas eólicas se determina que la potencia resultó de 800W (5,26 m/s).

Luego se determinó la energía generada al año:

Energía Generada/año =  $800 \times 24 \times 365 / 1000 = 7008$  KWh.

### 5.1.3 Baterías y regulador de carga

El conjunto paneles mas aerogenerador genera energía que es almacenada en un sistema de acumulación o batería con una capacidad de 2600A/día y 24 Vcc. Este sistema consta de 24 baterías (1300AH y 2V cada uno) interconectadas en 12 unidades en serie y 2 grupos en paralelo.

El regulador de carga seleccionado es de 5x60A, 24 V

### 5.1.4 Inversor dc/ac

Según la demanda calculada, la potencia de diseño del inversor resultó ser de 8 kW, por lo que se seleccionó 2 x 4KW 24Vcc/230 VCA 60 Hz

### 5.1.5 Suma de energías

El objetivo de esta etapa es obtener mediciones sobre los métodos de trabajo y las curvas de potencia (Icarga - V) del sistema híbrido eólico-fotovoltaico. Se determinó mediante el cálculo sencillo en Excel y corroborado posteriormente mediante programa computarizado HOMER, que el funcionamiento óptimo del sistema híbrido es la combinación óptima del sistema Solar-Eólico-Baterías, con un funcionamiento del 64% del sistema solar (durante el día), un 36% para el sistema eólico (durante las tardes y horas de viento) y un 64% para la descarga de la batería (en ausencia de recursos eólicos solares, para abastecer las cargas de uso común)

### 5.1.6 Costo de sistemas

El resultado del análisis comparativo de alternativas para el suministro de energía eléctrica se muestra en el siguiente cuadro

<b>Alternativas Evaluadas</b>	<b>COSTO (US\$)</b>
Sistema Solar – Batería	25592
Sistema Eólico – Batería	21908
Sistema Híbrido – Batería	17552
Sistema redes MT	840000

**Tabla 5.1 – Costos de alternativas.**

## **5.2 Resultados computacionales**

Ver Anexo I.

## **5.3 Resultados económicos financieros**

Ver Anexo III

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y REOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

1. Mediante el aprovechamiento del recurso eólico y solar con la implementación de Sistema Híbridos eólicos-fotovoltaicos para el caserío La Lima se logra una solución técnica y económicamente viable. Es un proyecto de inversión social porque genera beneficios a toda la comunidad y mejora de la calidad de vida, sin embargo desde el punto de análisis como proyecto privado es necesario efectuar un subsidio no retornable que equivale al 80% de la inversión para que el proyecto sea rentable, estimando un tiempo de recupero de la inversión de 20 años a una tasa interna de retorno del 16,80%.
2. Los sistemas Híbridos son fiables, pues tienen una ventaja al aprovechar dos fuentes de alimentación energética (el sol y el viento), de esta forma se reduce el tamaño de la batería en comparación con un sistema de una sola tecnología.
3. A partir de la estimación de recursos se concluye que la zona de estudio presenta velocidades promedio anuales superiores a 5,26 m/s, la maquina eólica seleccionada fue un aerogenerador de 2 kW de irradiancia global anual superior a 5,75 kWh/m<sup>2</sup> uno de los valores más altos por la característica del lugar e interesante para llevar a cabo proyectos de electrificación aprovechando estos recursos naturales. En base a los cálculos de diseño se obtuvo una generación fotovoltaica anual de 14103,6 kWh y eólica anual de 7008 kWh y 24 baterías de 1300AH y 2V
4. Como resultado de cálculo del programa en hoja de Excel (fuente elaboración propia) nos permite dimensionar estos sistemas, mediante la combinación óptima de las fuentes fotovoltaicas, el aerogenerador y las baterías. Obteniéndose que los aportes para un funcionamiento óptimo son con energía eólica un 36% para abastecer cargas de viviendas, un 64% para generación fotovoltaica para abastecer cargas sólo de uso común y mediante acumuladores o baterías un 64% para abastecer cargas de uso

común en ausencia de recursos eólicos y solares. Dichos cálculos fueron corroborados mediante el cálculo refinado del programa computacional HOMER para sistemas híbridos.

5. La metodología de cálculos y criterios de optimización aportados han permitido demostrar los beneficios de los sistemas de generación híbridos en relación a las otras alternativas, mostrando rentabilidad económica por la menor inversión y mayor fiabilidad en el suministro eléctrico. De esta manera se ha demostrado que el costo de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico equivale al 70% del costo de un sistema netamente eólico con baterías, y que el costo relativos respecto a un sistema de generación netamente solar con baterías representa el 60% del costo total de inversión, y para en relación a la alternativa de implementar la red de MT para enlazar desde la ciudad de Santo Tomás al caserío La Lima la proporción del costo es del 3% del costo de inversión en la red MT, a esto debemos añadir que estos sistemas tienen mayor fiabilidad para la continuidad del servicio eléctrico.
6. Es posible disminuir los costos de un sistema híbrido porque se puede clasificar el tipo de carga otorgándole prioridades de criticidad, en el caso de nuestro estudio esto nos permitió reducir la capacidad de las baterías para atender las cargas de uso común.
7. El proyecto por ser de carácter modular permite que en el futuro pueda ser ampliado, extendiendo la oferta a los incrementos de carga por el crecimiento demográfico. Es probable que esto suceda después de la implementación del proyecto en la zona.
8. Si no se efectúa el financiamiento con fondos no retornables el proyecto no es factible económicamente ya que arroja un valor de TIR de 1,52% y un VAN negativo inferior a -37224 US\$, para los horizontes de evaluación de 20 años.

## 6.2 Recomendaciones.

- Se recomienda implementar la instalación del sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de electricidad en el caserío La Lima, habiéndose demostrado como mejor alternativa, lo que permitirá además atender un anhelo de la población.
- Emplear esta metodología en otros lugares del país, pudiéndose utilizar este proyecto como una herramienta de cálculo y criterios de dimensionamiento e implementación de los sistemas híbridos.
- Se debe considerar que cada lugar presenta sus propias características, sobre las fuentes de radiación solar y de viento, accesos a la red pública como variables que pueden cambiar el análisis del proyecto.

## CAPITULO VII

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1 Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad Rural, Dirección de Fondos Consursables, “Guía de Proyectos de Presentación de Proyectos de Electrificación Rural con Energía Fotovoltaica-FV”. Lima (2012)
- 2 Universidad Politécnica de Valencia, D. Yecid Alfonso Muñoz, “Optimización de Recursos Energéticos en Zonas Aisladas mediante estrategias de suministro y consumo”. Tesis Doctoral, Valencia, España (2012).
- 3 Green Energy Consultoría y Servicios SRL, Msc Ing. Carlos Orbegozo “Energía Eólica Manual técnico para pequeñas instalaciones”. Lima Perú (2010).
- 4 Green Energy Consultoría y Servicios SRL, Msc Ing. Carlos Orbegozo “Energía Solar Fotovoltaica Manual técnico para instalaciones domiciliarias”. Lima Perú (2010).
- 5 H. Gabler, K. Heidler, V.U. Hoffmann, “Market introduction of grid connected photovoltaic installations in Germany”. Actas del XIV Congreso europeo de Energía solar fotovoltaica, 27, Barcelona, España (1997).
- 6 Ministerio de Energía y Minas, “Balance nacional de energía”. Año 2007.
- 7 Ministerio de Energía y Minas, “Sector energético del Perú”. Año 2008.
- 8 Comunicado de la Comisión Europea al Parlamento Europeo y al Consejo. COM (2005) 265; “Libro Verde sobre la eficiencia energética”. Año 2005.
- 9 Norma técnica EM.010 instalaciones eléctricas interiores. Art. 3º Cálculo e iluminación. [http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Bibliografia/Reglamento\\_nacional\\_de\\_edificaciones/EM.010.pdf](http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Bibliografia/Reglamento_nacional_de_edificaciones/EM.010.pdf).
- 10 Propuesta de Política Energética de Estado PERU 2010-2040, Ministerio de Energía y Minas, Vice ministerio de Energía, 31.05.2010.
- 11 Guía de Instalación de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos (SFD)”, Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad/Dirección Normativa de Electricidad, 15.12.2007.

- 12 Reglamento Técnico “Configuración de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos y Ensayos”, Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad, Junio 2004.

## ANEXOS.

### ANEXOS I

#### RESULTADOS COMPUTACIONALES

Luego de crear nuestro esquema del sistema (Figura I.1), procedimos a ingresar la información necesaria para que HOMER pueda realizar el cálculo respectivo, accediendo a las opciones respectivas.

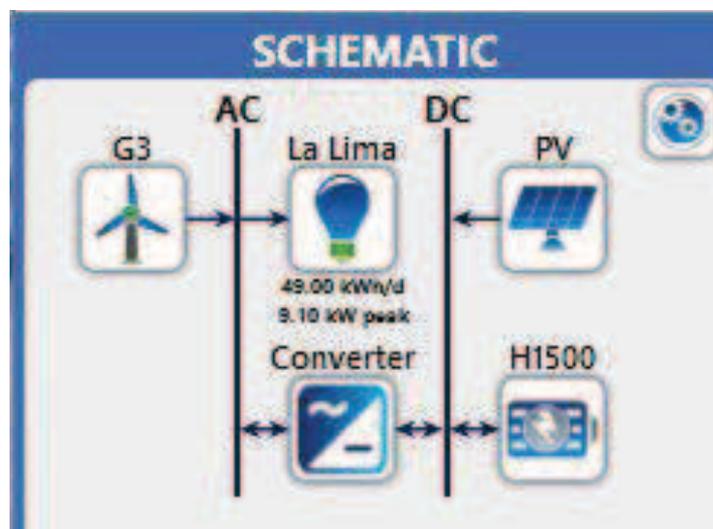


Figura I.1 Esquema del sistema simulado en Homer

#### Fuente Solar

HOMER utiliza los insumos de recursos solares para calcular la potencia del generador fotovoltaico para cada hora del año. Se introduce la latitud y longitud, y el programa con su base de datos online, nos da la opción de obtener la información sobre este recurso. En la Figura I.2 observamos lo obtenido para nuestro caso.



Figura I.2: Ventana Solar Resource Inputs de HOMER

### Fuente Viento

HOMER utiliza insumos del recurso eólico para calcular la potencia de la turbina de viento cada hora del año. Introduciendo la altitud y la velocidad de viento media para cada mes.

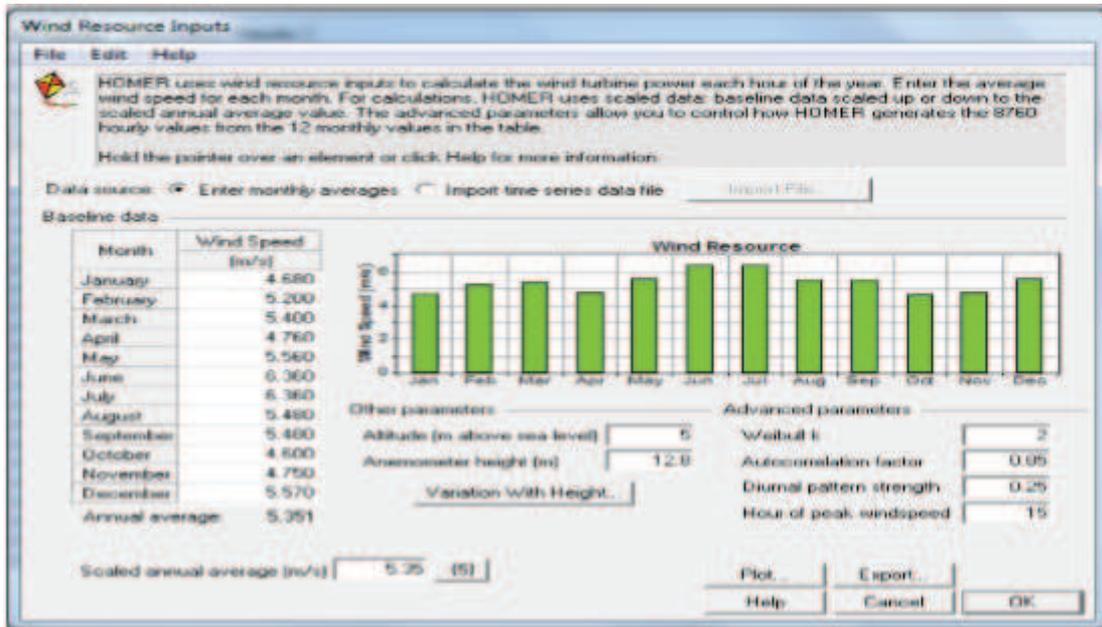


Figura I.3: Ventana Wind Resource Inputs de HOMER

## Carga Primaria

Se escoge el tipo de carga (DC o AC), se ingresa 24 valores de carga y una escala promedio anual (Figura I.4).

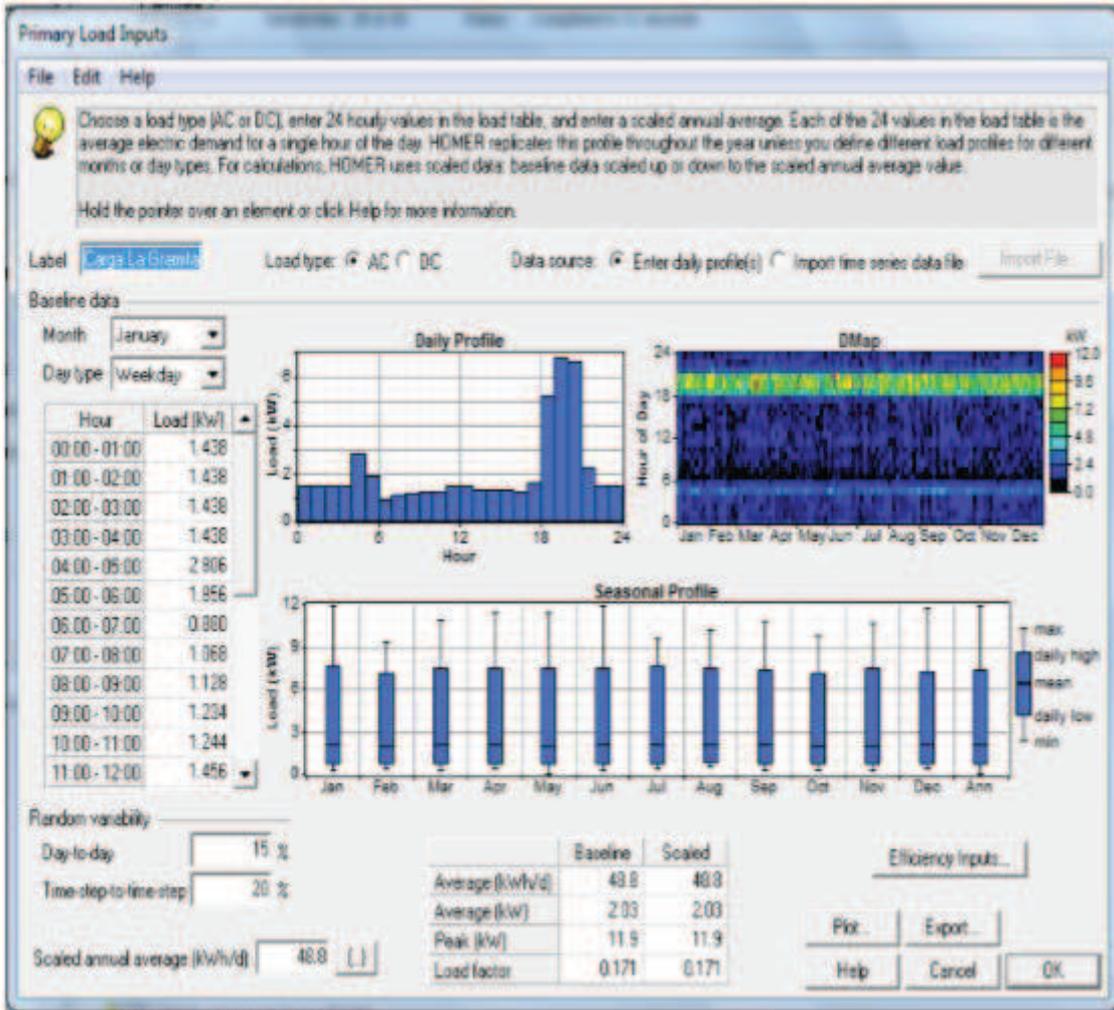


Figura I.4: Ventana Primary Load Inputs de HOMER

## Panel Fotovoltaico

Se ingresa por lo menos un tamaño de panel y el valor del costo de capital (incluye los módulos, hardware de montaje e instalación, etc.) (Figura I.5).

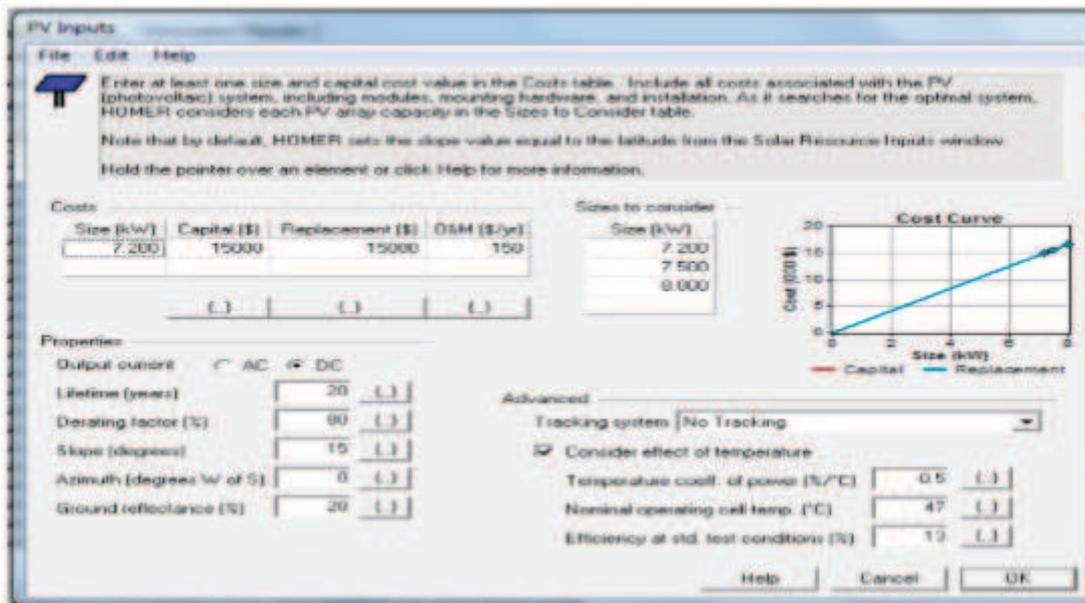


Figura I.5: Ventana PV Inputs de HOMER

## Turbina Eólica

Se elije un tipo de turbina eólica y el valor del costo de capital en la tabla de costos. Incluye el costo de la torre, el controlador, el cableado y mano de obra.

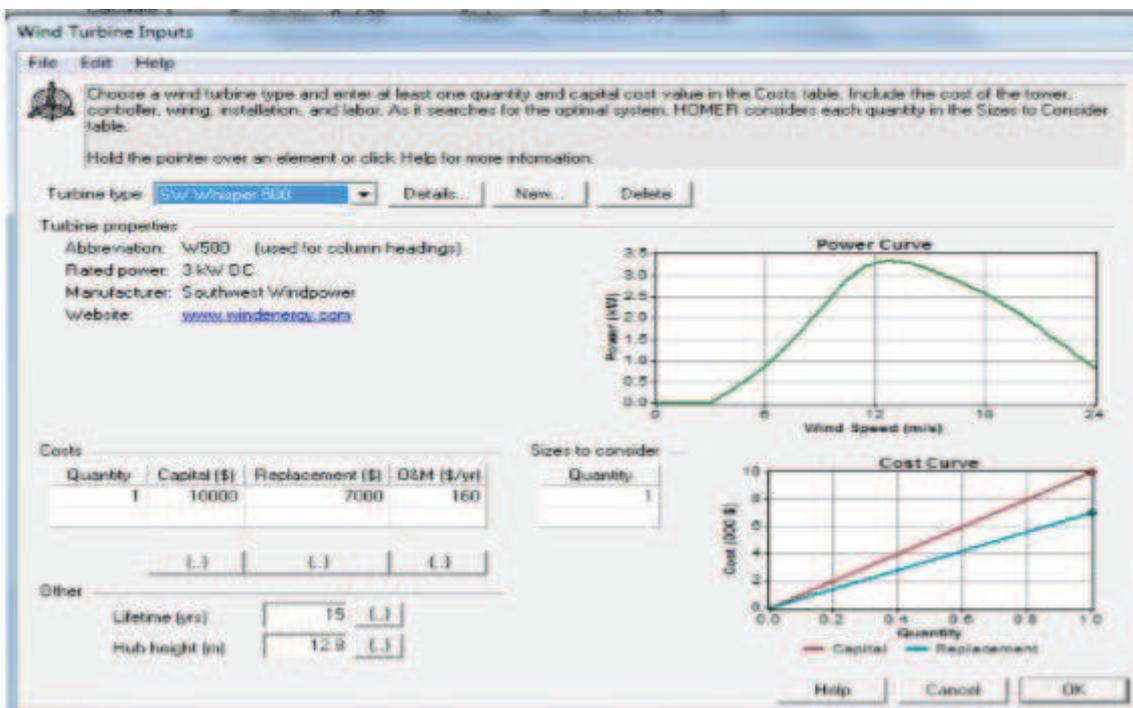


Figura I.6: Ventana Wind Turbine Inputs de HOMER

## Batería

Elegimos un tipo de batería y el valor del costo de capital en la tabla de costos. Incluye todos los costos asociados con el banco de baterías, como un hardware de montaje, instalación y mano de obra (Figura I.7).

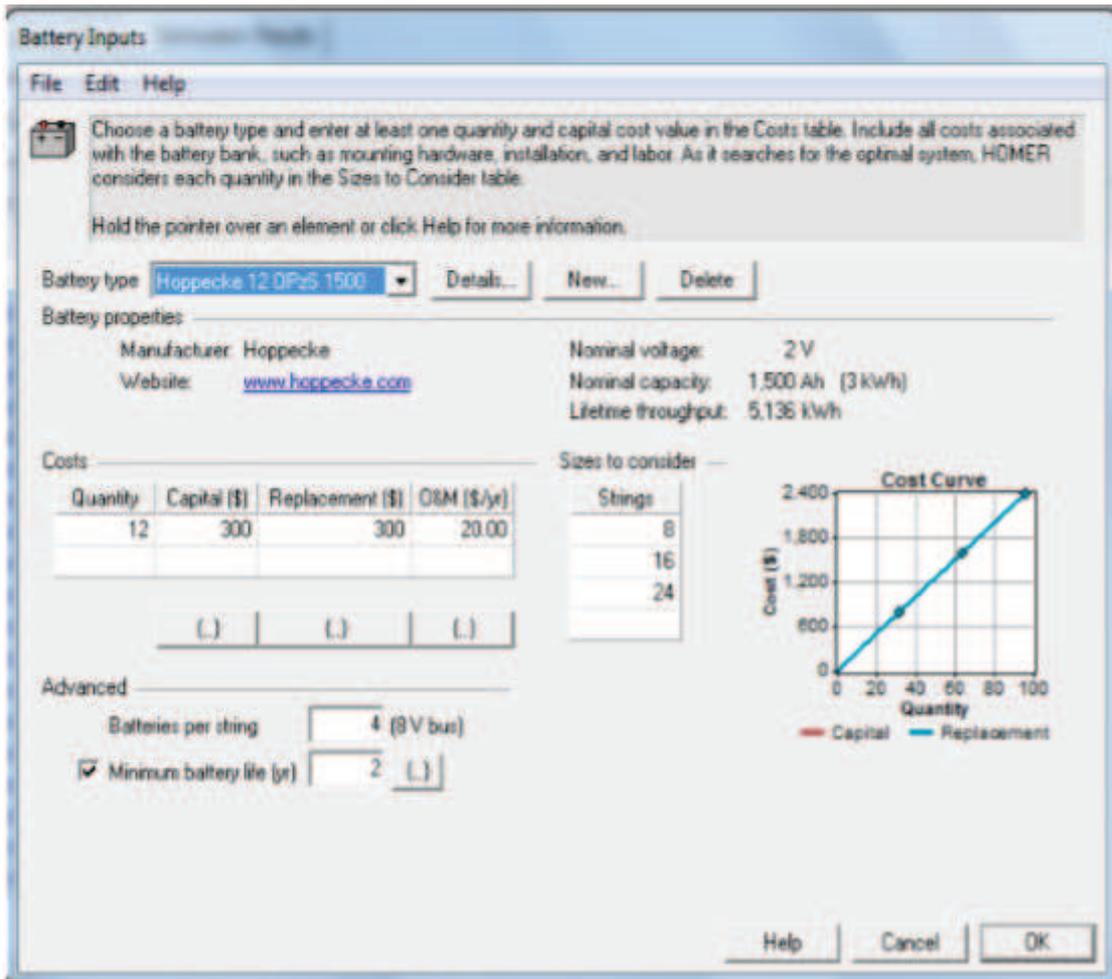


Figura I.7: Ventana Battery Inputs de HOMER

## Convertidor

Elegimos un tipo de Inversor y el valor del costo de capital en la tabla de costos. Incluye todos los costos asociados con el banco de baterías, como un hardware de montaje, instalación y mano de obra (Figura I.8).

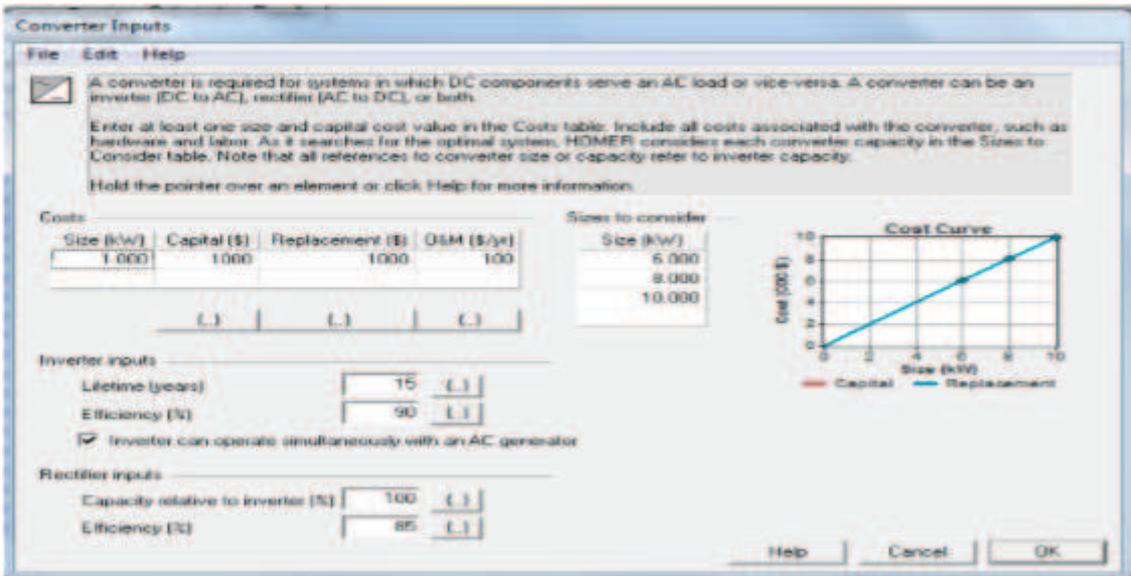


Figura I.8: Ventana Converter Inputs de HOMER

### Sistema Híbrido

Los resultados de la simulación del sistema híbrido con el cálculo refinado:

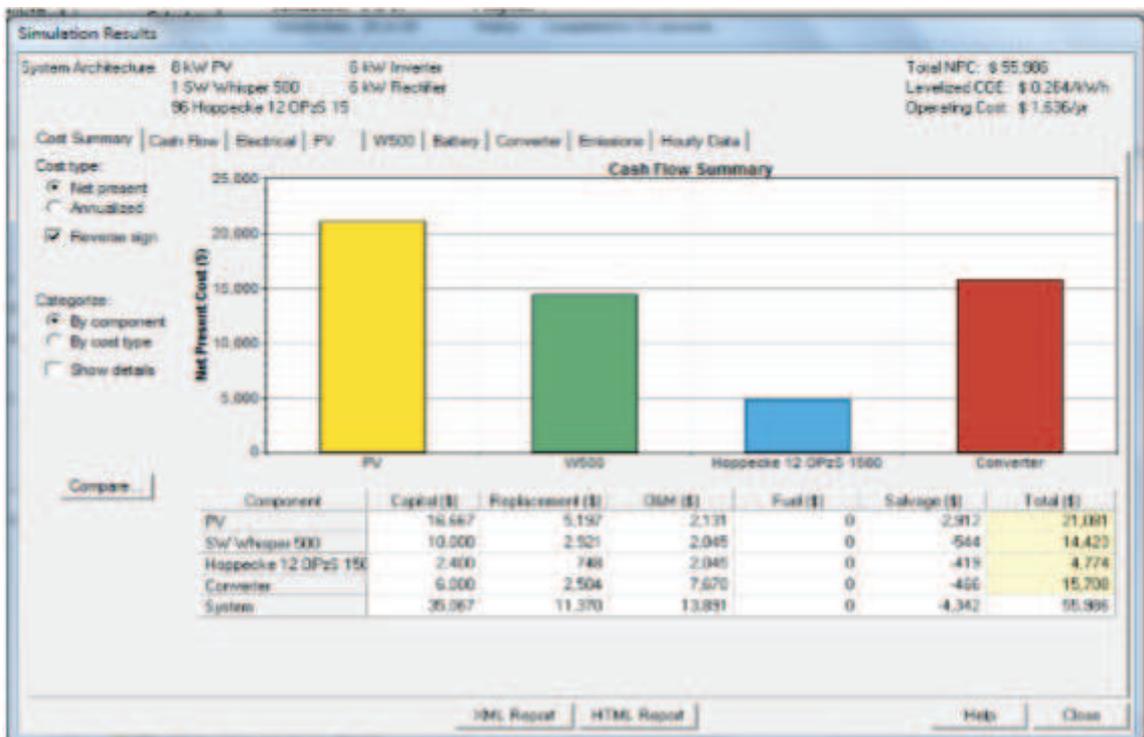


Figura I.9: Resumen de Costos HOMER

## ANEXO II

### GESTION DE RESIDUOS SOLIDOS PELIGROSOS: BATERÍA

#### 1.- OBJETO

Establecer los procedimientos y precauciones a seguir por parte del administrador o responsable del Proyecto “La Lima”, sus contratistas, fabricantes para prevenir y controlar la contaminación del personal operativo y del medio ambiente por contacto o derrames del ácido o hidróxido que contienen las baterías de plomo ácido o níquel cadmio utilizadas en la Operación y Mantenimiento del Proyecto.

#### 2.- ALCANCE

Comprende todas aquellas actividades que estén vinculadas con la manipulación de baterías nuevas o usadas de este proyecto.

#### 3.- CONCEPTO

Con el fin de dar claridad al contenido de esta norma se establecen las siguientes definiciones.

##### **Baterías**

Son equipos de respaldo que operan al producirse una interrupción en la alimentación normal de corriente continua, abastecen de corriente continua a los equipos eléctricos de las instalaciones de “La Lima”.

##### **Batería Plomo - Acido**

Consiste en dos o más celdas comunicadas, cada una de estas celdas comprende un vaso celda de polietileno con grupos de electrodos positivos y negativos aislados por un separador de polietileno micro poroso y sumergido en ácido sulfúrico. Cuando el acumulador se carga, la materia activa de la placa positiva está constituida de bióxido de plomo, (PbO<sub>2</sub>). La materia activa de la placa negativa está constituida de plomo metálico en estado esponjoso, (Pb). El electrolito es una solución de ácido sulfúrico, (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), y agua, (H<sub>2</sub>O). Durante el funcionamiento se

elimina agua, que hay que reponer de cuando en cuando, manteniendo su nivel siempre.

### **Batería Níquel - Cadmio**

Las baterías de Níquel-Cadmio tienen una estructura física similar a las de Plomo-ácido. En lugar de Plomo, se utiliza hidróxido de Níquel para las placas positivas y óxido de Cadmio para las negativas. El electrolito es Hidróxido de Potasio.

### **Plomo (Pb)**

El plomo una sustancia de color gris o blanco azulado en diversas formas, cambia a oscuro por exposición al aire. Por calentamiento intenso se producen humos tóxicos. Reacciona con ácido nítrico concentrado caliente, ácido hidroc্লórico y ácido sulfúrico. En presencia de oxígeno reacciona en contacto con agua pura o ácidos orgánicos.

La sustancia puede causar efectos en el tracto gastrointestinal, sangre, sistema nervioso central y riñón, dando lugar a cólicos, shock, anemia, daño renal y encefalopatías.

### **Hidróxido de Potasio (KOH)**

Esta sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo originando hidrógeno (gas combustible explosivo).

Rápidamente absorbe dióxido de carbono y agua a partir del aire. El contacto con la humedad o el agua puede generar desprendimiento de calor.

La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión.

### **Níquel (Ni)**

El Níquel reacciona violentamente en forma de polvo, con el polvo de titanio, perclorato potásico y oxidantes tales como, el nitrato amónico, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona lentamente con ácidos no oxidantes y más

rápidamente con ácidos oxidantes. Gases y vapores tóxicos tales como el níquel carbonito pueden producirse en incendios. La inhalación del humo puede originar neumonitis.

### **Cadmio (Cd)**

El cadmio puede explotar por calentamiento intenso. El polvo reacciona con oxidantes, azida de hidrógeno, Zinc, selenio, telurio, causando peligro de incendio y explosión.

La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La inhalación del humo puede originar edema pulmonar y fiebre de los humos metálicos.

### **Desechos de Baterías**

Son todas aquellas baterías en desuso y todos los implementos que hayan tenido contacto con el contenido de baterías y que estén en desuso.

## **4.- CONTENIDO**

### **4.1 Actividades que Involucran la Manipulación de Baterías**

Las labores propias del mantenimiento o renovación de baterías en las instalaciones de “La Lima”, hacen necesaria la manipulación de estos elementos tanto nuevos como usados. Por lo tanto se requiere que el personal encargado de estas labores tenga presente las implicancias que el manejo inadecuado de estos elementos ocasiona a la salud humana y al medio ambiente.

### **4.2 Reutilización de Baterías**

La vida útil de las baterías es entre 15 a 20 años, por tal razón si estos son retirados antes, debe procurarse su reutilización. Las baterías sólo se convierten en residuo cuando han terminado su vida útil o sufren algún desperfecto prematuro.

### **4.3 Almacenamiento de baterías**

Por regla general se debe conservar las baterías en un lugar seco, protegido contra las heladas, sobre parihuelas o plataformas y, en la medida de lo posible con una cubierta contra polvo. Por regla general no se puede conservar en el mismo lugar las baterías de plomo-ácido y de Ni-Cd. La temperatura de almacenamiento

recomendado es de 20 °C. El almacenamiento de las baterías usadas debe cumplir con las siguientes condiciones:

- El espacio destinado al almacenamiento de las baterías usadas debe reunir las características y la capacidad acordes con el tipo de baterías a almacenar, considerando sus características particulares, la cantidad a almacenar y el tiempo de permanencia. Debe tratarse preferentemente de un lugar ventilado y de poco tránsito.
- El almacenamiento de las baterías usadas debe estar separado del almacenamiento de otro tipo de residuos y de otros materiales incompatibles.
- Las baterías usadas deben ser protegidas de la intemperie.
- El espacio de almacenamiento debe estar señalizado y debe tener acceso restringido sólo a las personas autorizadas.
- Debe contar con medidas de seguridad tales como: mantenerse alejado de fuentes de calor u otras fuentes de energía, ubicado en una zona no inundable, contar con extintores de incendios adecuados, así como con vías suficientes para el desplazamiento de personal o bomberos en caso de emergencia.
- Debe llevarse un control de la entrada y salida de las baterías usadas.
- Debe ser un lugar seco. Los depósitos deberán contar con todos los elementos de seguridad que permitan prevenir y/o controlar situaciones de riesgo.

#### **4.4 Manipulación de Baterías**

##### **4.4.1 Etiquetado**

Los contenedores de baterías de Plomo-Ácido serán rotulados con los colores negro-celestes y con la indicación de corrosivo en sus contenedores, las dimensiones de la etiqueta serán de 6x8 cm. Cada color con una separación de 1 cm. entre sí.

Las baterías o los contenedores de baterías Níquel - Cadmio serán rotuladas con etiquetas de colores negro-rojo, las dimensiones de la etiqueta serán de 6x8 cm. Cada color con una separación de 1 cm. entre sí.

#### **4.4.2 Vehículo de Transporte**

Deberá cumplir las siguientes condiciones:

Los vehículos que transportan baterías deben tener barandas.

Poseer una constancia de revisión técnica actualizada emitida por una entidad autorizada.

Estar acondicionado con un recubrimiento de Jebe, protector plástico o Poliuretano en su tolva.

El personal que designe la empresa para el manipuleo de éste desecho deberá estar entrenado en el uso del Kit de contingencias.

No transportar a más personas que las permita su N° de asientos.

El chofer deberá contar con la licencia de conducir adecuada según el tamaño del vehículo.

En el caso que el vehículo se utilice para el transporte de baterías usadas y son llevadas para disposición final debe contar con:

1. Máscara de cara completa.
2. Filtros para polvos de soda cáustica.
3. Guantes de nitrilo.
4. Carbonato de calcio para neutralizar el ácido (30 kg).
5. Contenedores de fibra de vidrio
6. Etiquetas para rotulación.
7. Escobillas y recogedores.

#### **4.4.3 Consideraciones para la manipulación de baterías**

- La manipulación de baterías nuevas se debe ejecutar en lo posible sin llenar el electrolito y tapadas con los tapones de seguridad que son suministrados por el fabricante.
- Para la manipulación de baterías usadas se deberán cambiar los tapones de cierre estándares por tapones de seguridad.
- Las baterías a transportar deberán de manipularse una a una y siempre con los bornes hacia arriba, y no poner una sobre otra.
- Durante la manipulación, el vehículo se deberá ubicar de tal forma que no genere riesgo a la propiedad privada ni a la integridad física de los trabajadores y/o transeúntes.
- Evitar el contacto entre los bornes de las baterías con cualquier instrumento metálico, a fin de prevenir la generación de chispas y la eventual generación de algún incendio.
- Evitar el vertido del electrolito de las baterías a los cuerpos de agua, alcantarillados públicos, drenes y cualquier otro lugar no autorizado.
- Las baterías rajadas o rotas deben ser introducidas sobre bolsas plásticas y manipuladas adecuadamente.
- Cumplir con los requisitos mencionados en las Normas en cuanto a Clasificación, Almacenamiento y Segregación de Residuos y la Disposición Final de Residuos.

#### **4.4.4 Transporte**

- Debe ser efectuado por una EPS-RS
- El Transportista está obligado a suscribir un Manifiesto de manejo de Residuos Peligrosos por cada operación de traslado de baterías usadas o de sus partes y componentes de acuerdo a lo establecido en la Ley General de Residuos Sólidos. Así mismo debe contar con una Póliza de seguros que cubra los posibles daños que puedan ocurrir durante las operaciones de transporte.
- El vehículo en donde se efectúe el transporte debe contar con Autorización para el transporte de residuos.
- La velocidad del vehículo debe ser como máximo 70 kilómetros por hora.

- Las cargas deben ser transportadas preferentemente en las horas de menor congestión vehicular.
- Los desechos transportados no deberán ser abandonados bajo ninguna circunstancia ni contingencia en la vía pública, ante un hecho fortuito se dispondrá de los medios necesarios para recoger los desechos y transportarlos a su destino final.

#### **4.4.7. Disposición Final**

Las baterías de Plomo – Ácido podrán ser almacenadas temporalmente hasta ser vendidas a plantas de reciclaje o su disposición final con una EPS-RS.

Las baterías de Níquel – Cadmio serán almacenadas temporalmente hasta ser vendidas a plantas de reciclaje o su disposición final con una EPS-RS.

### **4.5. Medidas de Seguridad**

#### **4.5.1 Seguridad Preventiva**

Proveer y asegurar que los trabajadores cuenten con la indumentaria y con los elementos de higiene y protección personal correspondientes; así como con las instrucciones previas necesarias para el adecuado manejo de las baterías.

Se deberá verificar y registrar el uso y estado operativo de los Elemento de Protección Individual (EPI) que utilizarán los responsables de manipular los desechos de baterías, no se permitirá el uso de implementos que no se rijan a las normas establecidas.

#### **4.5.2 Seguridad Básica**

El personal que manipula directamente las baterías en el proceso de instalación, carga, recarga, descarga y retiro, además del equipo de protección personal y el uniforme estandarizado debe contar los siguientes implementos de seguridad: Respirador y careta o mascarilla.

Filtros para polvos de soda cáustica.

Guantes de nitrilo.

Mameluco de Hule.

#### **4.6. Acciones de Emergencia**

El manejo de baterías en “La Gramita” se realiza en cantidades menores lo que disminuye el riesgo de accidente, sin embargo a continuación se describen algunas recomendaciones en caso de fugas y derrames de los electrolitos de las baterías:

##### **4.6.1 Fugas y Derrames de Electrolito**

El personal designado deberá delimitar la zona colocando las señales de prevención o aviso correspondiente (Transito y Seguridad).

Con el equipo de protección individual puesto se neutralizará derrame de ácido vertiendo sobre el carbonato de calcio hasta que deje de burbujear la reacción química producida.

El personal designado deberá recoger los desechos producidos y se depositarán en contenedores de fibra de vidrio que soporten los elementos químicos de las baterías.

#### **5.- RESPONSABILIDADES**

La administración del caserío La Lima y los gobiernos locales son los responsables de hacer cumplir cada una de las actividades indicadas en el presente documento. El contratista a cargo de la labor de mantenimiento es responsable del cumplimiento de cada una de las actividades

## ANEXO III

### RESULTADOS ECONOMICOS FINANCIEROS

En esta parte del presente trabajo se mostraran los resultados económicos obtenidos por la implementación del proyecto de energía renovable y los beneficios obtenidos por ello.

Parámetros a tener en cuenta en el flujo de caja del proyecto:

<b>Inversion total del proyecto</b>	(US\$)	57712,51		
<b>Estructura de costos y vida util de sus componentes</b>				
Costo de modulo fotovoltaico	(US\$)	7280	Vida util	(años) 25
Costo de aerogenerador	(US\$)	1778,4	Vida util	(años) 25
Costo de baterias	(US\$)	18574,92	Vida util	(años) 18
Costo inversor	(US\$)	4087,2	Vida util	(años) 5
Costo del regulaor	(US\$)	6913,4	Vida util	(años) 10
Costo de red distribucion electrica BT	(US\$)	13832	Vida util	(años) 30
Costo Cableado y accesorios	(US\$)	5246,592	Vida util	(años) 30
<b>N° consumos posibles</b>				
Domesticos		76		
Uso general incl. AP		5		
TOTAL		81		
<b>Consumos anuales</b>				
Domesticos Total	(KWH/añual)	6424,73		
Uso general incl. AP Total	(KWH/añual)	11552,25		
<b>Coef. Electrificacion</b>				
Inicial	(#)	1		
Final	(#)	1		
Crecimiento anual	(%)	0		
<b>Tarifas</b>				
Cargo Unico por conexión Total	(US\$)	2142,86	26,79	(US\$/domicilio)
Cargo fijo domiciliario Total	(US\$/añual)	3257,14	4,64	(US\$/domicilio)
Cargo uso general Total	(US\$/añual)	1028,57	10,71	(S\$/uso comun)
<b>OyM</b>				
OyM	(US\$/añual)	1154,25		
Otros				
Tipo de cambio	(S/. / US\$)	2,8		
Perdidas	(%)	1		
Tasa de descuento	(%)	12		

**FLUJO DE CAJA**  
**EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO SIN FINANCIAMIENTO FONDO NO RETORNABLE**  
**INSTALACION DE UN SHEFV EN EL CASERIO LA LIMA**

Descripción	Periodo de Evaluación (Años)									
	0	1	2	3	4	5	6	....17	18	19
<b>Ingresos (I)</b>										
Pago unico de conexión		2.142,90								
Venta de Energía a domicilios(Incluye uso común)		3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14
Financiamiento Fondo No Retornable	0									
<b>TOTAL INGRESOS</b>	0	5.400,04	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14	3.257,14
<b>Gastos (G)</b>										
Operación y mantenimiento		1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30
Costo de reposicion de inversores							4.087,20			
<b>TOTAL GASTOS</b>		1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	5.241,50	1.154,30	1.154,30	1.154,30
Margen $M = I - G$		4.245,74	2.102,84	2.102,84	2.102,84	2.102,84	-1.984,36	2.102,84	2.102,84	2.102,84
Depreciación $D$		5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30
Utilidad de part. de trab. $UAPT = M - D$		-1.525,56	-3.668,46	-3.668,46	-3.668,46	-3.668,46	-7.755,66	-3.668,46	-3.668,46	-3.668,46
Particip. de Trabaja. $PT = 5\% * UAPT$		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad desp. de part. trab. $UDPT = UAPT - PT$		-1.525,50	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-7.755,60	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40
Impuestos $IM = 30\% * UDPT$		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad desp. Impuestos $UDI = UDPT - IM$		-1.525,50	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-7.755,60	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40
Inversión $Io$	57712,5									
Valor residual $VR$										0
Ahorro Pago de Imp. $APIM = -0,335 * UAPT$		511	1.228,90	1.228,90	1.228,90	1.228,90	2.598,10	1.228,90	1.228,90	1.228,90
Flujo de caja neto $FCN = M - PT - IM - Io$	-57.712,50	4.245,80	2.102,90	2.102,90	2.102,90	2.102,90	-1.984,30	2.102,90	2.102,90	2.102,90
Tasa de descuento	6,00%	7,00%	8,00%	9,17%	10,00%	11,00%	12,00%			
VAN	-28.847,80	-32.094,20	-34.730,70	-37.224,20	-38.691,20	-40.196,60	-41.470,90			
TIR	1,52%									

Tabla III.2: Análisis económico del proyecto – Con Financiamiento de Fondos No Retornable

**FLUJO DE CAJA**

**EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO CON FINANCIAMIENTO FONDO NO RETORNABLE  
INSTALACION DE UN SHEFV EN EL CASERIO LA LIMA**

Descripción	Periodo de Evaluación (Años)										
	0	1	2	3	4	5	6	....17	18	19	
<b>Ingresos (I)</b>											
Pago unico de conexión		2.142,90									
Venta de Energía a domicilios (Incluye uso comun)		3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	
Financiamiento Fondo No Retornable	46.170,00										
<b>TOTAL INGRESOS</b>	46.170,00	5.400,00	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	3.257,10	
<b>Gastos (G)</b>											
Operación y mantenimiento		1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	
Costo de reposicion de inversores							4.087,20				
<b>TOTAL GASTOS</b>		1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	1.154,30	5.241,50	1.154,30	1.154,30	1.154,30	
Margen $M = I - G$		4.245,80	2.102,90	2.102,90	2.102,90	2.102,90	-1.984,30	2.102,90	2.102,90	2.102,90	
Depreciación $D$		5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	5.771,30	
Utilidad de part. de trab. $UAPT = M - D$		-1.525,50	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-7.755,60	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	
Particip. de Trabaj. $PT = 5\% * UAPT$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad desp. de part. trab. $UDPT = UAPT - PT$		-1.525,50	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-7.755,60	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	
Impuestos $IM = 30\% * UDPT$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad desp. impuestos $UDI = UDPT - IM$		-1.525,50	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	-7.755,60	-3.668,40	-3.668,40	-3.668,40	
Inversión $Io$	57712,5										
Valor residual $VR$											
Ahorro Pago de Imp. $APIM = -0,335 * UAPT$		511	1.228,90	1.228,90	1.228,90	1.228,90	2.598,10	1.228,90	1.228,90	1.228,90	
Flujo de caja neto $FCN = M - PT - IM - Io$	-11.542,50	4.245,80	2.102,90	2.102,90	2.102,90	2.102,90	-1.984,30	2.102,90	2.102,90	2.102,90	
<b>Tasa de descuento</b>	6,00%	7,00%	8,00%	9,17%	10,00%	11,00%	12,00%				
<b>VAN</b>	9.145,80	7.775,30	6.558,50	5.301,90	4.505,00	3.635,50	2.852,80				
<b>TIR</b>	16,80%										

**Tabla III.2: Análisis económico del proyecto – Con Financiamiento de Fondos No Retornables**

## ANEXO IV

### ESTIMACION DE LA CARGA TOTAL ACTUAL

ESTIMACION DE CARGA DE CADA VIVIENDA				Factor de		Horas
				simultaneidad		
Uso común	Cantidad	Potencia (W)	F.U	Día	Noche	Utiliz.
Lámpara (sala)	76	20	1	0,1	0,9	6
Lámpara (dormitorio)	76	20	1	0,1	0,9	3
Lámpara (cocina)	76	20	1	0,1	0,9	2
TV Color	76	40	0,25	0,2	0,8	5
Radio receptor	76	10	0,4	0,6	0,4	10
<b>TOTAL (76 viviendas)</b>	<b>76</b>	<b>4834</b>				
<b>TOTAL ENERGIA (kwh)</b>	<b>76</b>	<b>17601,6</b>				
ESTIMACION DE CARGAS ESPECIALES USO COMUN				Factor de		Horas
				simultaneidad		
Uso común	Cantidad	Potencia (W)	F.U	Día	Noche	Utiliz.
<b>Posta medica</b>	<b>1</b>	<b>298</b>				
Refrigerador de vacunas	1	180	0,6	1	1	24
Comunicación Radio VHF	1	32	1	1	1	24
Ventilador	1	40	1	1	1	10
TV Color	1	60	1	1	1	12
Radio receptor	1	10	1	1	1	10
Lamparas	3	20	1	0,8	0,8	14
<b>Local comunel</b>	<b>1</b>	<b>366</b>				
TV Color	1	60	1	1	1	9
Radio receptor	1	10	1	1	1	10
Equipo de sonido	1	200	1	1	1	5
Lamparas	6	20	1	0,8	0,8	9
<b>Escuela</b>	<b>1</b>	<b>396</b>				
Computador	1	300	1	1	1	12
Lámparas	6	20	1	0,8	0,8	10
<b>Alumbrado Publico</b>	<b>1</b>	<b>950</b>				
Lámparas	19	50	1	0	1	11
<b>TOTAL (usos comunes)</b>	<b>4</b>	<b>2010</b>				
<b>TOTAL ENERGIA (kwh)</b>	<b>5</b>	<b>31650</b>				
<b>TOTAL (La Lima)</b>		<b>7250</b>	<b>W</b>	<b>49,25 kWh</b>		

**Tabla IV.1: Estimación de la carga Total**

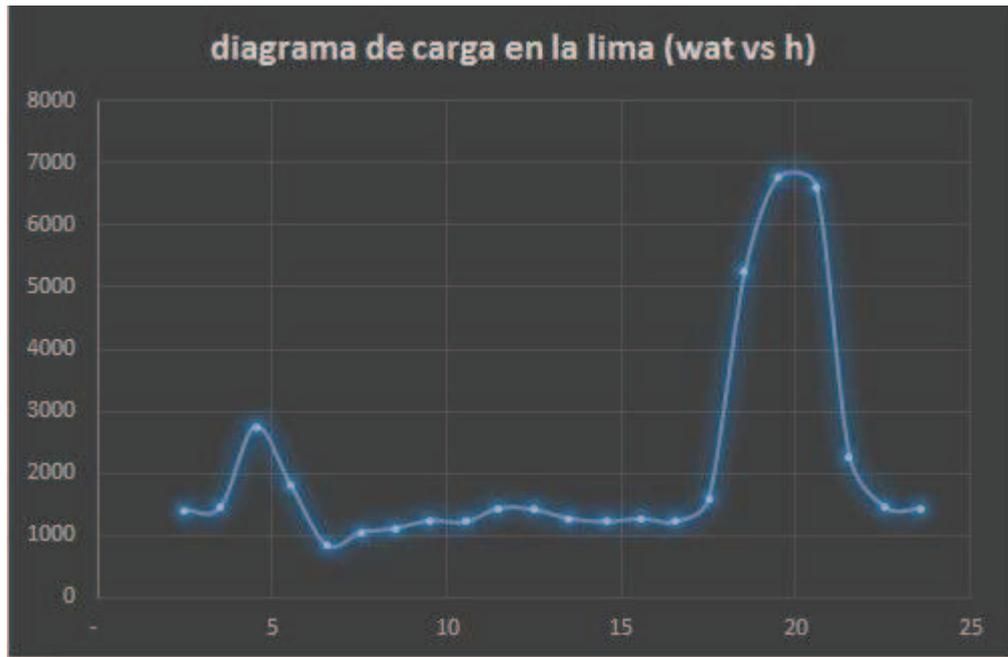


Figura IV.1 Carga actual

	Energía (Wh)	0:00 6:00	7:00 18:00	19:00 24:00	Energía (wh)	Criterio de diseño	Particip
DEMANDA	carga viviendas	2736	1733	13133	17602		
	carga uso común	7678	13350	10622	31650		
	<b>Demanda total</b>	<b>10414</b>	<b>15083</b>	<b>23755</b>	<b>49252</b>		
OFERTA	Generación Eólica	2736	1733	13133	17602	Alimenta carga viviendas	36%
	Generación Solar	7678	13350	10622	31650	Alimenta carga uso común	64%
	Acumulación Batería	7678	13350	10622	31650	Respaldo carga uso común	64%
	<b>Oferta total</b>	<b>10414</b>	<b>15083</b>	<b>23755</b>	<b>49252</b>		

Tabla IV.2 Aporte de energía renovable en sistema híbrido

# ANEXO V

## PLIEGO TARIFARIO MÁXIMO DEL SERVICIO DE ELECTRICIDAD

Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad



[Regresar al Mapa...](#)

**Empresa: Electronorte**

Pliego	Vigencia	Sector	Interconexion
CUTERVO	4/Nov/2016	4	SEDN
<b>MEDIA TENSION</b>			
<b>TARIFA MT2:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>TARIFA Sin IGV</b>
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	14.12
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	22.82
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	19.09
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S/./kW-mes	60.38
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S/./kW-mes	13.93
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S/./kW-mes	12.23
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	4.35
<b>TARIFA MT3:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	12.86
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	22.82
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	19.09
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	56.55
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	36.49
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	14.11
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	13.29
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	4.35
<b>TARIFA MT4:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	12.86
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	20.06
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	56.55
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	36.49
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	14.11
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	13.29
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	4.35
<b>BAJA TENSION</b>			
<b>TARIFA BT2:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>TARIFA Sin IGV</b>
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	14.12
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	24.48
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	20.48
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S/./kW-mes	57.11
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S/./kW-mes	58.61
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S/./kW-mes	44.65
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	4.35
<b>TARIFA BT3:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	12.86
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	24.48
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	20.48
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	36.96
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	39.62
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	56.82
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	56.90
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	4.35
<b>TARIFA BT4:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	12.86
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	21.52
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	36.96
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	39.62
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	56.82
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	56.90
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	4.35
<b>TARIFA BT5A:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 2E</b>		
	<b>a) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20kW en HP y HFP</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	12.86
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	156.32
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	20.48
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S/./kW-mes	54.35
	<b>b) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20kW en HP y 50kW en HFP</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	12.86
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	185.45
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	20.48
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S/./kW-mes	54.35
<b>TARIFA BT5B:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E</b>		
	<b>No Residencial</b>		
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Mensual	S/./mes	3.76
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Semestral	S/./mes	2.03
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	66.91
<b>TARIFA BT5B:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E</b>		
	<b>Residencial</b>		
	<b>a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes</b>		
	0 - 30 kW.h		
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Mensual	S/./mes	3.48
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Semestral	S/./mes	1.98
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	29.41
	31 - 100 kW.h		
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Mensual	S/./mes	3.48
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Semestral	S/./mes	1.98
	Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kW.h	S/./mes	8.82
	Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kW.h	ctm. S/./kW.h	58.82
	<b>b) Para usuarios con consumos mayores a 100 kW.h por mes</b>		
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Mensual	S/./mes	3.57
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Semestral	S/./mes	2.03
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	60.41
<b>TARIFA BT5C:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E - Alumbrado Público</b>		
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Mensual	S/./mes	3.66
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Semestral	S/./mes	0.00
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	58.40
<b>TARIFA BT6:</b>	<b>TARIFA A PENSIÓN FIJA DE POTENCIA 1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Mensual	S/./mes	3.76
	Cargo Fijo Mensual-Lectura Semestral	S/./mes	0.00
	Cargo por Potencia	ctm. S/./W	20.41
<b>TARIFA BT7:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E</b>		
	<b>No residencial</b>		
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga por códigos	S/./mes	2.87
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga por tarjetas	S/./mes	2.57
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	65.87
<b>TARIFA BT7:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E</b>		
	<b>Residencial</b>		
	<b>a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes</b>		
	0 - 30 kW.h		
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga por códigos	S/./mes	2.79
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga por tarjetas	S/./mes	2.50
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	29.41
	31 - 100 kW.h		
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga por códigos	S/./mes	2.79
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga por tarjetas	S/./mes	2.50
	Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kW.h	S/./mes	8.82
	Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kW.h	ctm. S/./kW.h	58.82
	<b>b) Para usuarios con consumos mayores a 100 kW.h por mes</b>		
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga por códigos	S/./mes	2.87
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga por tarjetas	S/./mes	2.57
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	60.41

Nota: Las empresas no deben aplicar precios superiores a los consignados en el presente cuadro.