

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Dimensionamiento de un sistema híbrido solar fotovoltaico y eólico para  
la iluminación de carreteras**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**Victor Josue Coronado Romero**

**ASESOR**

**Jony Villalobos Cabrera**

<https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>

**Chiclayo, 2023**

# **Dimensionamiento de un sistema híbrido solar fotovoltaico y eólico para la iluminación de carreteras**

PRESENTADA POR:

**Victor Josue Coronado Romero**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR:

Luis Alberto Gonzales Bazan

PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza

SECRETARIO

Jony Villalobos Cabrera

VOCAL

### **Dedicatoria**

A Dios por haberme dado a mi familia quien me ayudo en todo momento.

A mi padre por haberme guiado hasta donde pudo y a mi madre quien me dio la oportunidad de estudiar y haber estado desde el comienzo ahí pendiente de mí, apoyarme con tanto cariño, a mi abuela clara que pesé de no haber estado conmigo siempre la tuve presente en cada día para no darme por vencido.

### **Agradecimientos**

Un agradecimiento especial por todo el tiempo, la modalidad metodológica y profesional quien ayudo a mi orientación en el desarrollo de esta tesis a los ingenieros de la facultad, esta tesis no hubiera sido posible sin su participación. Asimismo, gracias por la gran cantidad y calidad de saberes brindados en este tiempo.

Así mismo agradecemos a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a mi escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y su docencia, por todas sus experiencias, asesoramientos durante nuestra creación profesional.

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

<b>17%</b>	<b>15%</b>	<b>2%</b>	<b>7%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

FUENTES PRIMARIAS

---

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>pirhua.udep.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repository.uamerica.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>lafisicayquimica.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to CONACYT</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>upcommons.upc.edu</b> Fuente de Internet	

## ÍNDICE

LISTA DE ILUSTRACIONES .....	8
LISTA DE CUADROS .....	9
Resumen .....	10
Abstract.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. OBJETIVO: .....	13
1.1.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
2. MARCO TEÓRICO .....	14
2.1 Antecedentes del problema.....	14
2.2 Bases Teóricas .....	15
2.2.1. Visión humana.....	15
2.2.2. La luz visible .....	17
2.2.3. Deslumbramiento .....	17
2.2.3.1. Deslumbramiento psicológico o molesto .....	18
2.2.3.2. Deslumbramiento perturbador.....	18
2.2.4. Unidades fotométricas .....	19
2.2.4.1. Flujo Luminoso .....	19
2.2.4.2. Intensidad luminosa.....	19
2.2.4.3. Iluminancia.....	20
2.2.5. Norma peruana de iluminación .....	20
2.2.5.1. Tipos de alumbrado.....	20
2.2.5.2. Estándares de calidad de alumbrado .....	21
2.2.6. DIALux evo .....	22
2.2.7. Sistemas de energía híbrida .....	22
2.2.8. Energía solar .....	23
2.2.9. Sistemas fotovoltaicos .....	23
2.2.10. Hora solar pico.....	25
2.2.11. Paneles solares .....	26
2.2.12. Energía eólica .....	26
2.2.13. Sistemas Eólicos .....	27
2.2.14. Ecuaciones .....	28
2.2.15. Tipos de aerogeneradores .....	30
2.1.15.1 Aerogenerador de eje horizontal.....	30
2.1.15.2 Aerogenerador de eje vertical.....	30

2.2.16.	Partes de una turbina eólica .....	30
2.2.17.	Ley Weibull .....	31
3.	METODOLOGIA.....	32
3.1.	Diseño de investigación.....	32
3.1.1	Tipo de investigación .....	32
3.1.2	Población y muestra.....	32
3.2.	Métodos y técnicas de recolección de datos .....	32
3.2.1.	Métodos .....	32
3.2.1.1.	Recolección de la Información .....	32
3.2.1.2.	Fotometría.....	32
3.2.1.3.	Climatológico .....	33
3.2.1.4.	Análisis estadístico e interpretación de datos .....	33
3.2.2.	Técnicas .....	33
3.2.3.	Operacionalización de variables .....	34
3.2.4.	Matriz de consistencia .....	34
4.	RESULTADOS .....	36
4.1	Ubicación.....	36
4.2	Dimensiones de la carretera de estudio .....	37
4.3	Resultados Fotométricos de la zona de estudio .....	38
4.3.1	Distribución de los postes:.....	38
4.3.2	Cuadro resumen de los resultados ya realizados .....	39
4.4	Comparación del estudio con la normativa peruana DGE “alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución” .....	43
4.5	Evaluar la capacidad de generación de energía solar y eólica.....	45
4.5.1	Evaluación del recurso Fotovoltaico .....	45
4.5.2	Características geográficas y meteorológicas de la zona.....	45
4.5.3	Análisis de radiación solar.....	45
4.5.4	Evaluación del recurso Sistema Eólico .....	47
4.5.4.1	Distribución de Weibull.....	49
4.6.	Dimensionamiento del sistema solar-eólico .....	51
4.6.1	Dimensionamiento del sistema eólico .....	52
4.6.1.1	Cálculo de la densidad del viento .....	53
4.6.1.2	Potencia de viento.....	53
4.6.1.3	Potencia mecánica del rotor.....	53
4.6.1.4	Cálculo de potencia eléctrica.....	54
4.6.1.5	Calculo de la energía del aerogenerador.....	55
4.6.2.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	55

4.6.2.1 Voltaje de la instalación .....	55
4.6.2.2 Calculo del número de paneles fotovoltaicos .....	55
4.6.2.3 Numero de módulos fotovoltaicos conectados en serie.....	56
4.6.2.5 Dimensionamiento del regulador de carga solar .....	56
4.6.2.6 Baterías .....	58
4.6.2.7 Numero de inversores.....	59
4.6.3 Determinar la evaluación económica .....	61
V. CONCLUSIONES .....	65
VI. RECOMENDACIONES .....	66
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	67
VIII ANEXO .....	69

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estructura de la visión .....	16
Ilustración 2 Perseccion visual .....	16
Ilustración 3 Deslumbramiento en calles por exceso de luz.....	17
Ilustración 4 Flujo luminosos de la lampara.....	19
Ilustración 5 Intensidad luminosa.....	19
Ilustración 6 Iluminancia .....	20
Ilustración 7 Clasificación de los sistemas híbridos .....	23
Ilustración 8 Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas.....	24
Ilustración 9 Esquema de un SFCR.....	25
Ilustración 10 Tipos de paneles monocristalinos.....	26
Ilustración 11 Turbinas eólicas.....	27
Ilustración 12 Área del barrido para turbina de eje horizontal .....	29
Ilustración 13 Área del barrido para turbina de eje vertical .....	29
Ilustración 14 Distribución de Weibull .....	31
Ilustración 15 Ubicación de Proyecto.....	36
Ilustración 16 Características de la carretera .....	38
Ilustración 17 Distribución de los mástiles y lámparas .....	39
Ilustración 18 Resultados fotométricos de la lampara de 70W de la zona de estudio....	41
Ilustración 19 Resultados fotométricos de la lampara de 80W de la zona de estudio....	42
Ilustración 20 Resultados fotométricos de la lampara de 99W de la zona de estudio....	42
Ilustración 21 Características de la lampara .....	44
Ilustración 22 RETScreen.....	46
Ilustración 23 Ubicación de la zona de estudio .....	48
Ilustración 24 Ubicación del sistema hibrido .....	51
Ilustración 25 H 10KW .....	52
Ilustración 26 Curva de potencia .....	52
Ilustración 27 Características del coeficiente de potencia y TSR .....	54
Ilustración 28 MPPT RS SmartSolar 450 100 y 450 200 - Aislado .....	58
Ilustración 29 600Ah 24V Ultracell UZS600.....	59
Ilustración 30 Victron Quattro 12/5000/220-100/100 230V VE.Bus.....	60
Ilustración 31 Características del inversor.....	60

## TABLA DE CUADROS

Tabla 1 Tipo de alumbrado.....	20
Tabla 2 Tipos de calzada .....	21
Tabla 3 Tipos de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento .....	21
Tabla 4 Equivalencia de luminancia.....	22
Tabla 5 Equivalencia media de iluminancia.....	22
Tabla 6 Dimensiones de la carretera de estudio .....	37
Tabla 7 Características de las lámparas .....	39
Tabla 8 Selección de distancias y pastorales según la lampara.....	40
Tabla 9 Comparación de análisis fotométrico por calzada de ida .....	41
Tabla 10 Comparación de análisis fotométrico por calzada de vuelta .....	41
Tabla 11 Comparaciones de estándares según la norma peruana.....	43
Tabla 12 Datos de ubicación y temperatura de la zona .....	45
Tabla 13 Radicación solar por mes .....	46
Tabla 14 Numero de datos de la velocidad de viento.....	48
Tabla 15 Frecuencia de WEIBULL.....	49
Tabla 16 Probabilidad de vientos .....	50
Tabla 17 Demanda energética .....	51
Tabla 18 Parámetros geográficos de la zona .....	53
Tabla 19 Componentes del sistema .....	61
Tabla 20 Costo del sistema hibrido .....	61
Tabla 21 Costo de reposición de equipos .....	62
Tabla 22 VAN Y TIR .....	64

## Resumen

El objetivo de la presente tesis fue dimensionar el sistema eólico- fotovoltaico para dar iluminación al tramo de 9,8 km que une las provincias de Chiclayo y Lambayeque, debido a que presente conflictos vehiculares por la carencia de tener una iluminación adecuada, obteniéndose que: Al realizar el estudio fotométrico de la zona en 3 escenarios diferentes permitió conocer la distancia adecuada de los mástiles, obteniendo la distribución de 290 postes con pastorales dobles de lámparas de 80W situados en la berma central, generando demanda energética de 614,14 kWh/día. Para cubrir la demanda energética se propuso utilizar un sistema eólico – solar para los cuales se tuvo en cuenta la radiación de 4,47 kWh/día en el mes más crítico y una velocidad del viento promedio de 6,62 m/s con un 54% probabilidad. El sistema contara con dos aerogeneradores de 10 kW, 294 paneles de 350 W, 92 baterías de 24 v, 9 controlares y 9 inversores. Por último, luego de realizar el dimensionamiento y evaluación económica se necesitará una inversión de S/784 924.13 contando con un VIR del 18%.

Palabras claves: sistema hibrido, sistema eólico, sistema fotovoltaico, dimensionamiento

### **Abstract**

The objective of this thesis was to size the wind-photovoltaic system to provide lighting to the 9.8 km section that joins the provinces of Chiclayo and Lambayeque, due to the fact that it presents vehicular conflicts due to the lack of adequate lighting, obtaining that: By carrying out the photometric study of the area in 3 different scenarios, it was possible to determine the appropriate distance from the masts, obtaining the distribution of 290 poles with double pastoral lamps of 80W located in the central berm, generating energy demand of 614.14 kWh/day. . To cover the energy demand, it was proposed to use a wind-solar system for which radiation of 4.47 kWh/day was taken into account in the most critical month and an average wind speed of 6.62 m/s with a 54% probability. The system will have two 10 kW wind turbines, 294 350 W panels, 92 24 V batteries, 9 controllers and 9 inverters. Finally, after carrying out the sizing and economic evaluation, an investment of S / 784 924.13 will be needed, with a VIR of 18%.

**Keywords:** hybrid system, wind system, photovoltaic system, sizing

## 1. INTRODUCCIÓN

El tema de la iluminación en carreteras se encuentra en permanente desarrollo a nivel internacional, en especial, en los países considerados como grandes potencias que tienen majestuosas obras de ingeniería que son avaladas por estudios realizados a su población que demuestran y permiten mejores estándares de calidad. Un ejemplo de ello es el estudio realizado por el Departamento de Transporte del Reino Unido que en el 2003 encontró que la seguridad vial se percibía como un beneficio clave para la mejora del alumbrado público; en este estudio, que el 63,8% de la población estuvo de acuerdo que "daría lugar a menos accidentes en las carreteras" [1]. Sin embargo, en las carreteras remotas que resultan tramos susceptibles a accidentes, la instalación de sistemas de iluminación está sujeta a una inversión y un costo de mantenimiento excesivo que conlleva a ser perjudicial para el presupuesto regular [2]. Por ejemplo, varias municipalidades de España, presentan una demanda de energía en el alumbrado público alcanzaría un 80 % de la demanda energética de dicha zona por la ineficiencia del alumbrado público; lo cual conlleva a que el 40 % del estudio de mercado energético sea destinada para el servicio público [3].

La Industria de la Electricidad en el Perú, en el 2015, indicó que el mayor índice de consumo de energía fue destinado hacia las minas y las industrias alcanzando un 56% del total de la demanda nacional, sucesivo que el 23% fue destinado al sector residencias, el 18% al sector comercial y el alumbrado público con un 2% alcanzando una energía de 956 GWh, en relación al año de 1995, el sector minero e industrial creció en un 466%, el residencia 191%, el comercial y el de alumbrado público llegaron a un 220% y 98% [4]. En el Perú, varios proyectos de electrificación han sido implementados por un grupo de Organizaciones No Gubernamentales (ONG) lideradas por Practical Action de Perú (PA), Ingeniería Sin Fronteras de España (EWF) y Green Empowerment de EE. UU. (GE); algunos de estos proyectos se ubicaron en la región de Cajamarca y tenían como objetivo promover el acceso universal y sostenible a los servicios energéticos como parte de un procedimiento interactivo de diseño e implementación para empoderar a las comunidades beneficiarias; los diseños de sistemas de los proyectos difieren en las tecnologías utilizadas para la generación de electricidad (fotovoltaica solar, eólica y microhidráulica) y distribución (sistemas individuales o microrredes) [5]. Durante el año 2018, las energías

renovables con mayor participación fueron las hidroeléctricas y a base de quema de leña, la cual incremento su uso en un 5,7% y un 0,4%, de igual manera sobresalió el crecimiento en la generación basada en la energía eólica y solar tenido un 67,5% y 40% respectivamente [6].

Tener carreteras y calles iluminadas correctamente, es prioritario para evitar accidentes en ellas o anticipar estos para la población vecina. Es por ello que se plantea la siguiente problemática de investigación, que señala ¿El dimensionamiento del sistema híbrido eólico-fotovoltaico permitirá iluminar la carretera Chiclayo- Lambayeque? Ante esta interrogante se ve la necesidad de dimensionar como alternativa un sistema híbrido eólico- fotovoltaico autónomo con la finalidad de aprovechar los recursos climatológicos de la zona y las energías aerodinámicas pérdidas de los vehículos en las carreteras; para el desarrollo de la presenta investigación se tomará como parámetro un tramo de la carretera Panamericana Norte anexa la provincia de Lambayeque con la provincia de Chiclayo, del departamento de Lambayeque, Perú. Para ello, se utilizará el Software DIALUX EVO con el fin de validar el estudio, obtener resultados y posteriormente concluir el trabajo de investigación.

## **1.1.OBJETIVO:**

### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Elaborar el dimensionamiento de un sistema híbrido utilizando energía solar fotovoltaica y eólica que brinde la suficiente energía para iluminar la carretera Chiclayo-Lambayeque

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ✓ Realizar el diagnostico fotométrico y energético de la iluminación de la carretera Chiclayo- Lambayeque.
- ✓ Estimar la capacidad de generación solar y eólica en la carretera Chiclayo-Lambayeque
- ✓ Calcular y seleccionar los componentes del sistema híbrido eólico-solar que satisfaga la demanda energética de la carretera Chiclayo- Lambayeque
- ✓ Determinar el presupuesto que involucra el diseño del sistema híbrido eólico- solar.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del problema

La fuente de energía eólica tiene un mayor potencial de recolección en el entorno de la carretera, debido a los flujos de tráfico de ida y vuelta de los vehículos, pudiendo ser una alternativa para proporcionar un equilibrio positivo para el sistema eléctrico especialmente en las carreteras, sin embargo los nuevos enfoques de captación de energía eólica que tienen como base las triboeléctricas y piezoeléctricas, no son adecuados para carreteras debido a su baja potencia y densidad energética, a diferencia de la turbina eólica electromagnética que tiene una salida de alta eficiencia, por lo que puede ser una buena solución para recoger la energía eólica de la calzada, debido a que su estructura de las palas y los ejes constituye un factor importante en el rendimiento de la generación de energía de la turbina eólica electromagnética, en general, la turbina eólica electromagnética se puede dividir en dos categorías: la turbina de eje horizontal y la turbina de eje vertical, la primera es adecuada para recolectar vientos de barlovento, mientras que la segunda exhibe una mejor eficiencia energética para los vientos paralelos y direccionales [7]. Las turbinas eólicas de eje vertical (VAWT) han atraído la atención como una tecnología eólica que se adapta bien para su implementación tanto en zonas urbanas como a lo largo de las medianas de las carreteras, a razón de que los carros que pasan crean turbulencias en el aire circundante, transfiriendo impulso en su dirección de movimiento; ello permite diferenciarlo de la turbina eólica de eje horizontal ya que los aerogeneradores de eje vertical (VAWT) no necesitan enfrentarse al viento predominante, lo que permite que estas turbinas en la mediana de la carretera generen energía de la turbulencia de los vehículos que transitan por esta [8]

Esta investigación se centra en un prototipo de alumbrado urbano independiente que también es factible conectarlo a la red eléctrica, permitiendo que el sistema sea compatible con los conceptos de Microred; la principal característica innovadora es la plena integración del rotor VAWT Savonius a lo largo de la estructura del poste de la lámpara, solución que permite la explotación de un área frontal considerable del rotor del viento, obteniendo un amplio potencial de productividad, por lo tanto, esta geometría cilíndrica adoptada ha mostrado un factor de potencia máximo de 0,21 y ante la sobre velocidad de la turbina se implementó un sistema de seguridad en condiciones extremas de viento [9]. [10]El Instituto de Ciencia y Tecnología, Departamento de Ingeniería Aeroespacial, Chennai, India, se centra en el diseño y desarrollo de una farola híbrida

solar-eólica que pueda utilizarse en los territorios de Dwarka, Gujarat; este estudio tomo diferentes parámetros de diseño utilizando técnicas de mallado para diseñar palas aerodinámicamente eficientes que, posteriormente, tendría una simulación en el software de MATLAB y SOLIDWORKS para obtener una potencia de salida real, obteniendo como resultado una rentabilidad del 25,11%, y una reducción alrededor de 580 rupias por año en el costo de electricidad de la farola de diseño. De la misma forma, en Zimbabwe por los cortes de energía e interrupciones erráticas el alumbrado público solar se ha implementado desde 2014, buscando solucionar las diferentes demandas energéticas, por lo cual se centra esta investigación en la optimización del diseño de un sistema híbrido de energía renovable (HRES) de energía solar y eólica para alimentar una farola de 160W, este sistema constaba de una turbina eólica, módulos fotovoltaicos, controlador de carga, banco de baterías y luces; asimismo, el dimensionamiento del sistema se realizó en Excel utilizando datos eólicos y solares obtenidos de la base de datos, el paquete de software HOMER y PVSyst; la farola en 3D se modeló con Inventor Professional y se fabricó un prototipo funcional, obteniendo como resultados que el HRES redujo los requisitos de almacenamiento de energía en un 38,75% con una reducción general del costo del 14,4%, en relación con una farola solar independiente, este efecto difusor de la turbina se evaluó experimentalmente, mostrando un aumento del 69,3% en la producción de potencia de la turbina y una disminución del 50% en los requisitos de almacenamiento de energía [11].

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1. Visión humana

La vista es el órgano primordial para el sentido de la perspectiva, la cual se generan variaciones de luz y transformándose en impulsos, permitiendo recopilar una gigantesca proporción de información acerca de lo cual nos circunda, en la distancia en que se hallan los objetos, la forma, la magnitud y el color de ellos, con una mejor velocidad que dichos objetos se mueven, este órgano garantiza que la población obtenga una presentación confiable en su entorno para producir elecciones con claridad.

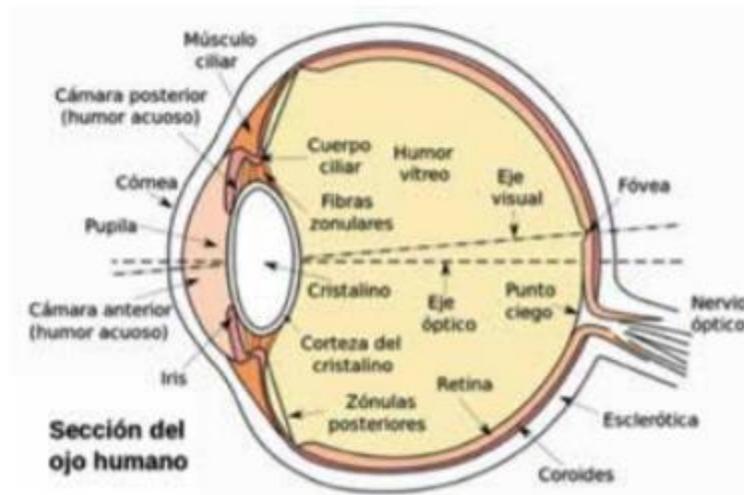


Ilustración 1 Estructura de la visión

Fuente: <https://hdl.handle.net/10983/23580>

En la Figura de la estructura de la visión se muestran las diferentes configuraciones que hacen posible la perspectiva, donde la luz se visualiza en objetos que son reflejados por la línea de visión a través de la córnea, encargada de visualizar la luz, así los rayos pasan por la pupila ubicada en la parte central del iris, y se proyectan sobre la retina. En la retina hay una gran cantidad de células fotorreceptoras llamadas bastones y conos, que producen el propósito de convertir la luz en señales eléctricas y transmitirlas a la corteza visual a través del nervio óptico; en la retina es la mácula, cuyo centro es la fovea y la fobia [12].

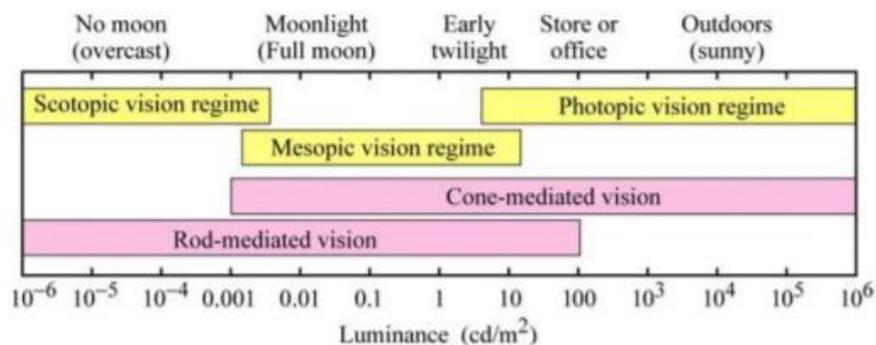


Ilustración 2 Perseccion visual

Fuente: <https://hdl.handle.net/10983/23580>

En la figura dos evidencian los tres tipos fundamentales de visual vialidad de los receptores primordiales para cada uno; la perspectiva fotópica se genera con bastante iluminación natural, empleando los conos; es así que corresponde a los valores de luminancia mayores a 3 cd/m, la perspectiva escotópica se genera en condiciones de

poca luz ambientales, dado que en estas situaciones los bastones son quien realiza viable notar la luz, no obstante, la definición de los colores básicamente se elimina a lo largo de esta clase de perspectiva; durante la noche es decir sin luna, los objetos tienen pérdidas en sus colores y únicamente se visualizan en diferentes gamas de grises, en el grado escotópico aplica para niveles de luminancia menores  $0,003 \text{ cd/m}^2$ .

### 2.2.2. La luz visible

Lo que se puede ver es el espectro electromagnético de la línea de visión humana, que es simplemente el rango de longitud de onda de la luz visible. Generalmente, el ojo humano puede reconocer longitudes de onda de 380 a 700 nanómetros. Toda la radiación electromagnética es luz, pero solo vemos una pequeña porción de esta radiación, a la que llamamos luz visible. Los conos de nuestros propios ojos actúan como receptores para modular las longitudes de onda en este espectro de banda estrecha. El otro número de longitudes de onda en el espectro son más o menos grandes y dinámicos para los límites biológicos de nuestra percepción. Cuando todo el espectro de luz visible pasa a través de un prisma, las longitudes de onda se dividen en colores del arco iris porque cada color tiene una longitud de onda diferente.[13].

### 2.2.3. Deslumbramiento

Fenómeno que produce fastidio a la vista y descenso de capacidad de la percepción de cosas, debido a una inadecuada distribución de luminancia; este fenómeno se da cuando hay un exceso de luz que recae en la visión, en la que se produce una enérgica reacción fotoquímica en las células de la retina que se obstruye el paso del impulso al nervio óptico.



Ilustración 3 Deslumbramiento en calles por exceso de luz

Fuente: <https://www.iluminet.com/manual-iluminacion-vial-sct>

El deslumbramiento durante la conducción se produce por los siguientes factores:

- ✓ Los faroles que tienen los vehículos van en sentido contrario.
- ✓ Los anuncios en los postes que van en las bermas con un excesivo e luz.
- ✓ Las lámparas con reflector y non-cut off.

El deslumbramiento se divide en dos tipos de deslumbramiento; el psicológico y el fisiológico.

#### 2.2.3.1. Deslumbramiento psicológico o molesto

Este deslumbramiento produce una sensación irritante y aunque desorienta la visión de las cosas, crea una sensación de fatiga al conductor, dado que la pupila se tiene que adecuar al cambio luminoso.

#### 2.2.3.2. Deslumbramiento perturbador

Un deslumbramiento de tipo fisiológico o perturbador, en donde se genera pérdidas el punto de vista; esto conlleva a que todos los deslumbramientos tienen que ser evitados, pues representa una agresión directa a la vista del conductor, que puede llegar a producir accidentes viales, este deslumbramiento se denomina como TI en donde carece de unidades y su expresión en funcionamiento de la luminancia de velo  $L_v$  entre la luminancia media de la calzada  $L_m$  que va entre 0,05 y 5 cd/m<sup>2</sup>, es la siguiente.

$$TI = 65x \frac{L_v}{(L_m)^{0,8}}$$

✓ Donde TI se denomina como el incremento de umbral donde se expresa en porcentaje,  $L_v$  es la luminancia de velo total y  $L_m$  es la luminancia media de la calzada donde sus unidades es la candela por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>)

✓ Cuando los niveles de luminancia de la vía alcanzan una superioridad de 5 cd/m<sup>2</sup>, la creciente del umbral de contraste es el siguiente [14]

$$TI = 95x \frac{L_v}{(L_m)^{1,05}}$$

## 2.2.4. Unidades fotométricas

### 2.2.4.1. Flujo Luminoso

Se expresa como la cantidad de flujo de luz radiada o emitida durante un lapso, donde su unidad es el lumen (lm).

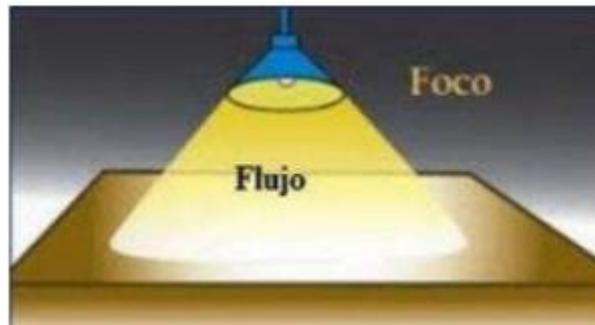


Ilustración 4 Flujo luminosos de la lampara

Fuente: <http://dspace.ucacue.edu.ec/handle/reducacue/8142>

$$\Phi = Q/t$$

Donde Q es los lúmenes emitidos por segundo y t es el tiempo en segundos.

### 2.2.4.2. Intensidad luminosa

Es la magnitud de la fuente de energía, es la dirección en que la radiación presente en el flujo luminoso está contenida en un ángulo sólido, cuyo eje se asimila a la dirección considerada, y el costo de ese ángulo sólido se expresa en estereorradián.



Ilustración 5 Intensidad luminosa

Fuente: <http://dspace.ucacue.edu.ec/handle/reducacue/8142>

$$I = \Phi/\omega$$

En la cual  $\omega$  es el ángulo sólido en estereorradianes

### 2.2.4.3. Iluminancia

Es la intensidad lumínica por metro cuadrado perpendicular a la dirección de luz.

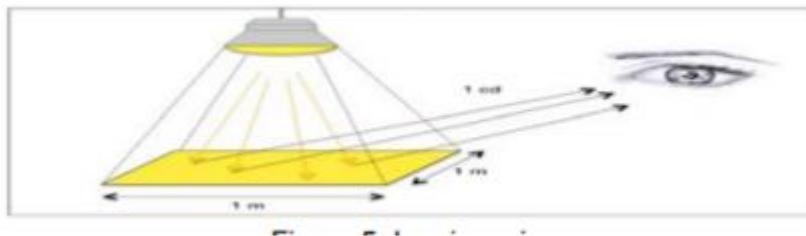


Ilustración 6 Iluminancia

Fuente: <http://dspace.ucacue.edu.ec/handle/reducacue/8142>

$$L=I/S$$

Donde L se le expresarse indistintamente en candelas sobre metro cuadrado(cd/m<sup>2</sup>) [15].

### 2.2.5. Norma peruana de iluminación

Instituye los estándares de iluminación mínima que tiene que llevar a cabo en la instalación de alumbrados de vías públicas a partir de su fase de diseño, así como también fijar la obligación de suministradores de alumbrados de vías públicas y la facultad de autoridad para la idónea operación, adecuada compostura y mantenimiento tipos de alumbrado

#### 2.2.5.1. Tipos de alumbrado

Los tipos de alumbrado se determinan de acuerdo con el tipo de vía, bajo el criterio funcional.

Tabla 1 Tipo de alumbrado

Tipo de vía	Tipo de alumbrado	Función	Características del tránsito y la vía
Expresa	I	-Une zonas de alta generación de tránsito con alta fluidez -Accesibilidad a las áreas urbanas adyacentes mediante infraestructura especial (rampas)	-Flujo vehicular ininterrumpido. - Cruces a desnivel. -No se permite estacionamiento. -Alta velocidad de circulación, mayor a 60 km/h. -No se permite paraderos urbanos sobre la calzada principal. -No se permite vehículos de transporte urbano, salvo los casos que tengan vía especial.
Arterial	II	-Une zonas de alta generación de tránsito con media o alta fluidez - Acceso a las zonas adyacentes mediante vías auxiliares.	-No se permite estacionamiento. -Alta y media velocidad de circulación, entre 60 y 30 km/h. -No se permiten paraderos urbanos sobre la calzada principal. -Volumen importante de vehículos de transporte público.
Colectora 1	II	Permite acceso a vías locales	-Vías que están ubicadas y/o atraviesan varios distritos. Se considera en esta categoría las vías principales de un distrito o zona céntrica. -Generalmente tienen calzadas principales y auxiliares. -Circulan vehículos de transporte público.
Colectora 2	III	Permite acceso a vías locales	-Vías que están ubicadas entre 1 o 2 distritos. -Tienen 1 o 2 calzadas principales pero no tienen calzadas auxiliares. -Circulan vehículos de transporte público.
Local Comercial	III	Permite el acceso al comercio local	-Los vehículos circulan a una velocidad máxima de 30 km/h. -Se permite estacionamiento. -No se permite vehículos de transporte público. - Flujo peatonal importante.
Local Residencial 1	IV	Permite acceso a las viviendas	-Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado reducido. -Vías con calzadas asfaltadas pero sin veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
Local Residencial 2	V	Permite acceso a las viviendas	-Vías con calzadas sin asfaltar. -Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
Vías peatonales	V	Permite el acceso a las viviendas y propiedades mediante el tráfico peatonal	- Tráfico exclusivamente peatonal.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas dirección general de electricidad

#### 2.2.5.2. Estándares de calidad de alumbrado

Todas las instalaciones de alumbrados públicos deben de cumplir, con el mínimo, de niveles de alumbrado para el tráfico vehicular, tráfico peatonal y áreas públicas de recreación, empleando los diseños de controles de las Normas Técnicas de Calidad de los Servicios Eléctricos.

Tabla 2 Tipos de calzada

Tipo de revestimiento	Modelo de calzada
Cubierta de Concreto	Clara
Cubierta de Asfalto	Oscuro
Superficie de Tierra	Clara

Fuente: Ministerio de Energía y Minas dirección general de electricidad

Tabla 3 Tipos de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento

TIPO DE ALUMBRADO	LUMINANCIA MEDIA REVESTIMIENTO SECO	ILUMINANCIA MEDIA (lux)		INDICE DE CONTROL DE DESLUMBRAMIENTO (G)
		Calzada clara	Calzada oscura	
I	Cd/m <sup>2</sup> 1.5-2.0	15 hasta 20	15 hasta 20	>=6
II	1.0-2.0	10 hasta 20	10 hasta 20	5 hasta 6
III	0.5-1.0	5 hasta 10	5 hasta 10	5 hasta 6
IV	X	2 hasta 5	2 hasta 5	4 hasta 5
V	X	1 hasta 3	1 hasta 3	4 hasta 5

Fuente: Ministerio de Energía y Minas dirección general de electricidad

La distribución de luminancia e iluminancia debería ser lo suficiente uniforme para que todo impedimento destaque por su silueta [16].

Tabla 4 Equivalencia de luminancia

TIPO DE ALUMBRADO	UNIFORMIDAD LONGITUDINAL	UNIFORMIDAD MEDIA
III	$\geq 0,70$	$\geq 0,70$
IV, V	$\geq 0,65$	$\geq 0,65$

Fuente: Ministerio de Energía y Minas dirección general de electricidad

Tabla 5 Equivalencia media de iluminancia

TIPO DE ALUMBRADO	UNIFORMIDAD MEDIA
III	0,25-0,35
IV, V	$\geq 0,15$

Fuente: Ministerio de Energía y Minas dirección general de electricidad

#### 2.2.6. DIALux evo

Es un programa independiente que se usa para diseñar, simular calcular y visualizar los límites fotométricos de manera profesional, aplicable en espacios libres, pisos completos, inmuebles, carreteras; de igual modo sus normativas de trabajo otorgan un eficiencia y bienestar adecuado para su diseño e instalaciones eléctricas la cual realza el valor de conservar una región iluminada como uno de los recursos más importantes en instalaciones [17].

#### 2.2.7. Sistemas de energía híbrida

Estos sistemas de generación donde cubren una demanda especifican; de forma económicamente variable, donde utiliza los más altos recursos disponible de la zona, el sistema híbrido son aquellas que producen electricidad por medio de dos o más fuentes generalmente de origen renovable compartiendo una misma conexión; estos sistemas se clasifican en dos grandes categorías:

- ✓ Sistemas Aislados o Stand Alone; son aquellos que se encuentran en zonas remotas, principalmente en zonas rurales, ya sea un suministro domiciliario o un grupo de telecomunicaciones, que maneja la carga estándar de energía y ni siquiera está conectado a la red.
- ✓ Conectados a la red o Electrical Utility Connected Systems; son las instalaciones interconectadas a la red, y estos robustos sistemas suelen estar ubicados en el perímetro de las ciudades donde intervienen el comercio y la industria. [18]

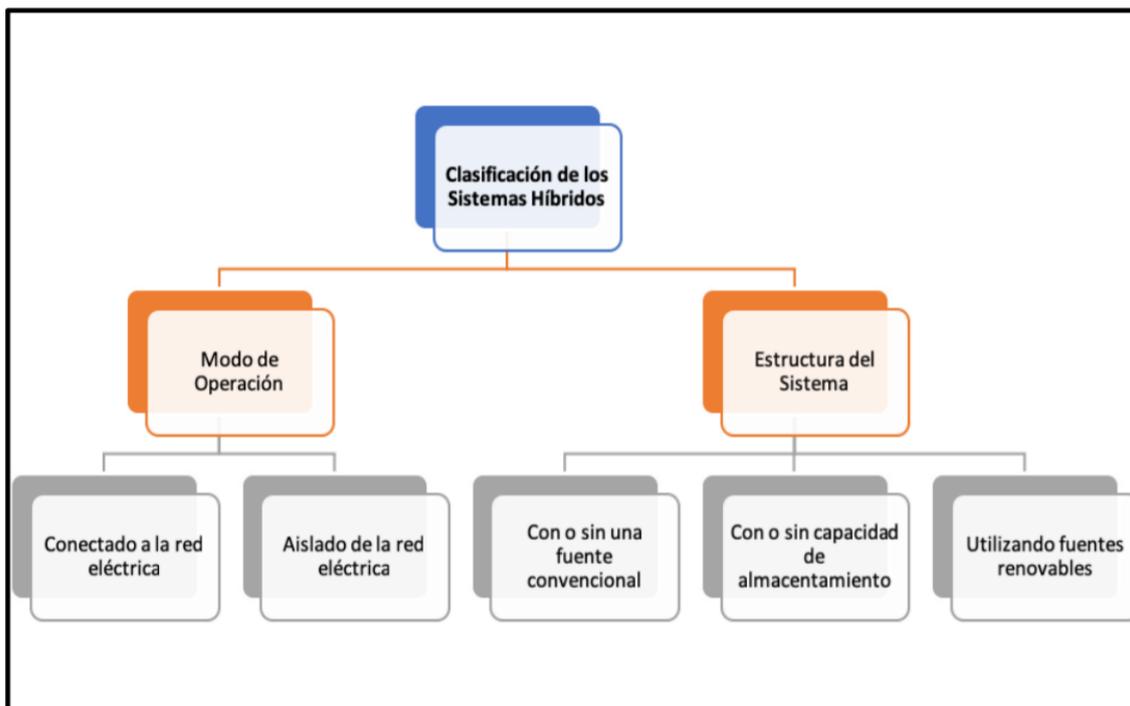


Ilustración 7 Clasificación de los sistemas híbridos

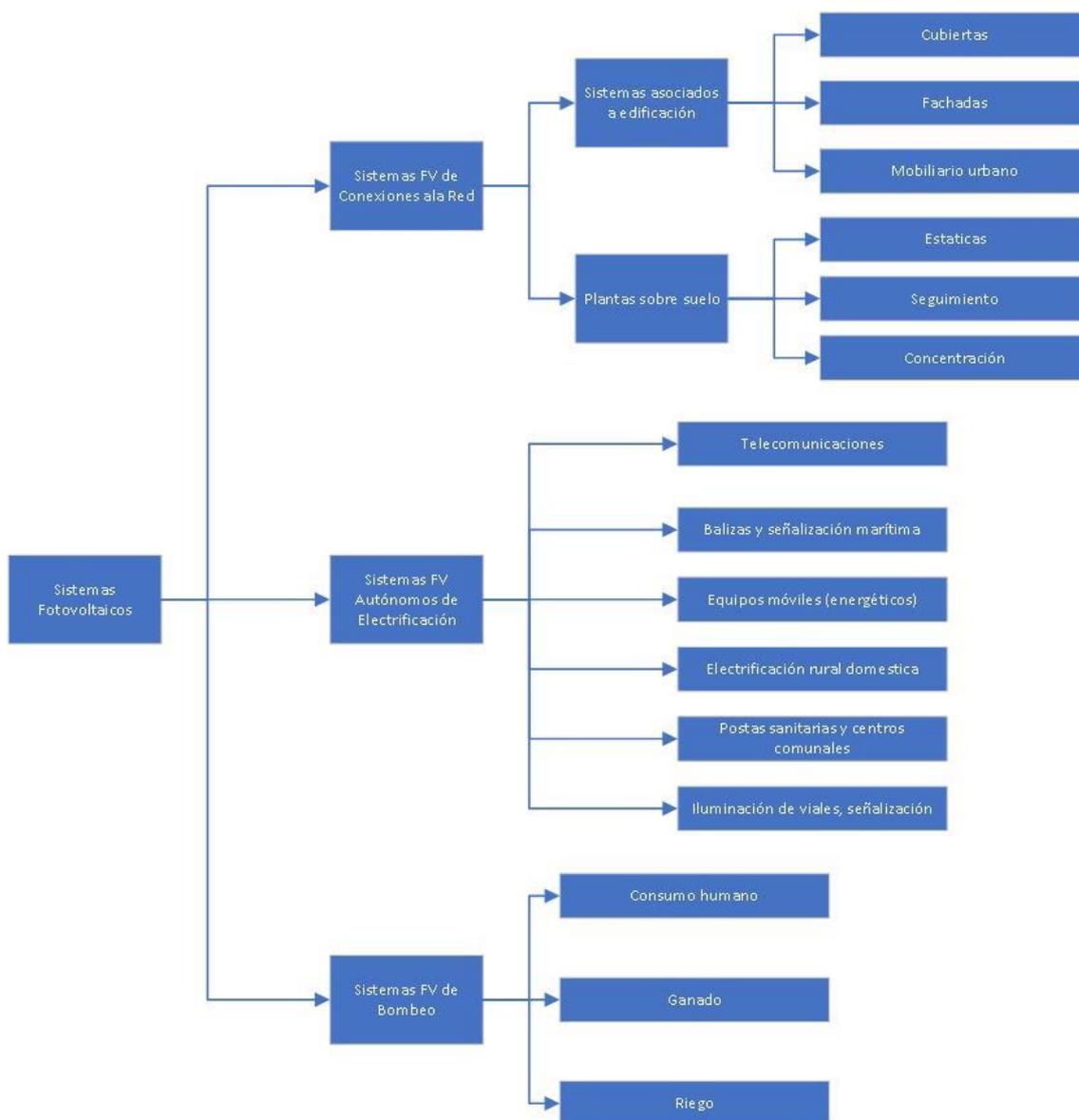
Fuente:<https://hdl.handle.net/20.500.11839/7810>.

### 2.2.8. Energía solar

La energía solar es una fuente de energía renovable capaz de generar calor, electricidad, gracias a la radiación electromagnética perteneciente a la radiación del sol, la ventaja de esta fuente de energía es que es una de las fuentes de energía renovable con mayor potencial, porque a nivel internacional, hay donde hay son altos niveles de radiación UV, esto permite que las personas pongan mayor énfasis en esta fuente de energía. [19]

### 2.2.9. Sistemas fotovoltaicos

Es un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que utilizan la radiación solar para generar electricidad, el elemento principal del sistema es un módulo fotovoltaico, el cual está compuesto por celdas paralelas que pueden convertir la energía lumínica incidente en corriente continua, otros dispositivos integrados en el fotovoltaico sistema están altamente integrados. Estos sistemas se dividen de acuerdo con sus aplicaciones específicas. para 3 tipos.



*Ilustración 8 Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas.*

Fuente: <http://oscarperpinan.github.io/esf/>.

- a) **Sistemas conectados a la red:** Su funcionamiento es generar electricidad en mejores condiciones para poder inyectar a la red convencional, los generadores fotovoltaicos utilizan SFCRs, los inversores DC/AC son un conjunto de protecciones eléctricas, esta energía es generada por el sistema, Se consumirá parcial o totalmente en las cercanías, y la energía sobrante se inyectará a la red para su distribución a otros puntos de consumo.

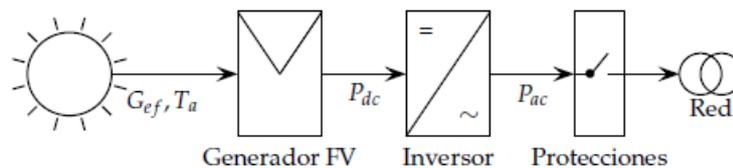


Ilustración 9 Esquema de un SFCR

Fuente: <http://oscarperpinan.github.io/esf/>.

- b) **Sistemas Fotovoltaicos Autónomos:** Sistema fotovoltaico autónomo (SFA) que satisface el consumo de cargas eléctricas no interconectadas a la red mediante la generación de energía eléctrica, utilizando un sistema de acumulación de energía para hacer frente a los períodos en que la generación de energía eléctrica está por debajo del consumo.
- c) **Sistema fotovoltaico de Bombeo:** Los sistemas de bombeo fotovoltaico (SFB) utilizan generadores fotovoltaicos para alimentar una bomba eléctrica y bombear agua de un pozo, almacenarla en un tanque o trasladarla de un espacio a otro, el sistema tiene dos características, lo que lo hace me gusta:
- ✓ En primera instancia, las curvas de generación y de consumo permanecen bien adaptadas, es decir que, en las épocas de más gran índice de radiación solar, la productividad es el más grande consumo de agua.
  - ✓ En segundo sitio, no se necesita utilizar acumuladores electroquímicos para guardar la energía y dotar de soberanía el sistema, en un depósito alto de agua se almacena energía potencial de manera más barata, así asegura la eficiencia y la viabilidad [20].

### 2.2.10. Hora solar pico

Se define como la energía equivalente recibido durante una hora a una irradiancia media de 1000 KW/m<sup>2</sup>, según la NASA la hora solar pico lo determina como la dosis de radiación emitida por el sol de una determinada zona de la tierra que llega en un día específico o la cantidad que llega en un año [21].

$$HSP = \frac{rad}{1000} \text{ horas}$$

Donde rad es la radiación promedio del día y se mide en KWh/m<sup>2</sup>/día.

### 2.2.11. Paneles solares

Son módulos en las cuales captan la radiación solar de una zona determinada para luego brindar energía eléctrica de una zona determinada, aprovechando el efecto fotoeléctrico; las cuales se dividen en tres tipos de módulos o paneles fotovoltaicos.

- ✓ Panel solar Monocristalino: Este panel está compuesta por un único cristal de silicio, este panel dota de un rendimiento preeminente al del resto de los materiales debido a que los átomos de silicio permanecen perfectamente alineados haciendo más fácil la conductividad.
- ✓ Panel solar Policristalino: Tiene un área y color irregular (el más común es el azulado), su composición totalmente cuadrada; este panel tiene un rendimiento menor al monocristalino y una forma cuadrada debido a que las esquinas forman un ángulo de  $90^\circ$ .
- ✓ Amorfo: son más económicos poseen una diferencia del 50% de espesor que el monocristalino y dado a esto proporcionan un menor rendimiento siendo un 16% en laboratorio y en prácticas un 10% [22].

		
Célula de Silicio Monocristalina	Célula de Silicio Policristalina	Célula Panel Silicio Amorfo

Ilustración 10 Tipos de paneles monocristalinos

Fuente: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/48999>

### 2.2.12. Energía eólica

Se determina como la energía cinética que traslada una proporción de viento la cual es captada por las palas aerodinámicas del aerogenerador sea vertical u horizontal para la transformación a energía eléctrica, estas energías de transformación se suelen almacenar en baterías o se interconectan a la red, la energía eólica se ha ido adquiriendo enormes

proporciones de conocimientos nuevos, y que se vino evaluando desde su creación para la captación de viento; siendo una tecnología que se ha ido explotando debido a su mantenimiento económico con respecto a otras fuentes de energía renovable [23].



Ilustración 11 Turbinas eólicas

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10538>

En 2019 fue un gran año para la industria eólica mundial con nuevas instalaciones que superaron el hito de 60 GW por segunda vez en la historia y mostraron un crecimiento interanual (interanual) del 19% [24].

En los últimos años, la energía eléctrica producida por el viento se ha incrementado significativamente, ya que la tecnología ha madurado hasta el punto de que es posible diseñar grandes aerogeneradores con una capacidad superior a 10 MW, debido a las condiciones de generación de energía, es decir, a lograr esto, debe haber un gran espacio y condiciones de viento constantes y una escala considerable [25].

#### 2.2.13. Sistemas Eólicos

Es el conjunto de aerogeneradores que captan la energía eólica mediante una hélices que están constituidas por unas palas aerodinámicas la cual al momento de girar transforman a energía eléctrica donde se pueden conectar a un convertidor de corriente continua a corriente alterna o interconectarla a la red; este sistema puede funcionar de manera autónoma o brindar la energía al sistema interconectado, sus aplicaciones más frecuentes

se orientan al área de telecomunicaciones y a sistemas aislados para casas; donde el aerogenerador de viento da una energía de corriente directa de 12 o 24 voltios DC [26].

#### 2.2.14. Ecuaciones

a) Energía cinética del viento

$$Ec = \frac{1}{2} * m * Vo^2$$

Donde Ec es la energía cinética del viento en julios (J), m es la masa en kg y  $V_0$  es la velocidad del aire donde se expresa en m/s.

b) Flujo másico del viento: El flujo másico de aire del cual se puede obtener la energía eléctrica.

$$m = \rho * Ab * Vo$$

El flujo masico del viento es la multiplicación de la Densidad del aire ( $\rho$ ) por el área del barrido ( $m^2$ ) y la velocidad del viento (m/s).

c) Potencia disponible del viento

$$Pw = \frac{1}{2} * \rho * Ab * Vo^3$$

Potencia disponible en el viento se expresa en *watio* (w).

d) Área del barrido para turbina eólica de eje horizontal

$$Ab = \pi(l + 2r)$$

Área de barrido es la suma de su longitud de las hélices más dos veces su radio por pi.

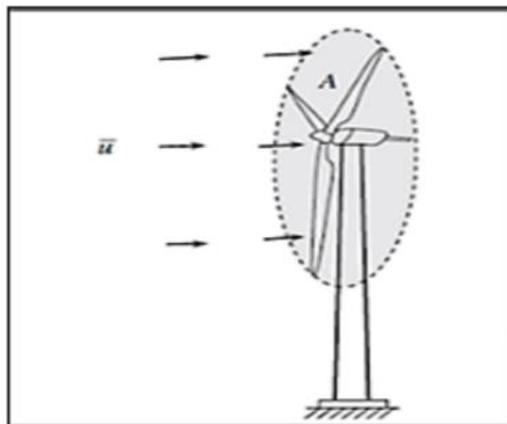


Ilustración 12 Área del barrido para turbina de eje horizontal

Fuente: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6654>

e) Área del barrido para turbina eólica de eje vertical

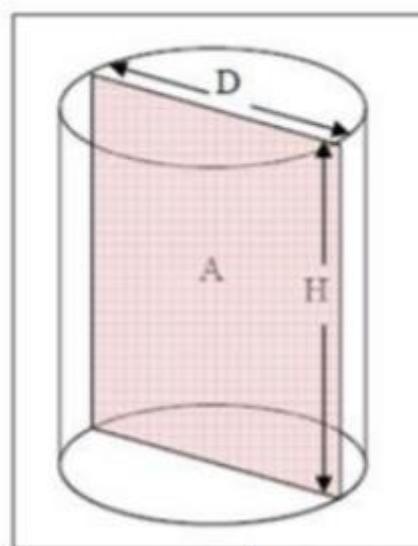


Ilustración 13 Área del barrido para turbina de eje vertical

Fuente: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6654>

$$Ab = D * H$$

Área de barrido es la multiplicación de diámetro que forma las hélices por la altura de estas [27]

## 2.2.15. Tipos de aerogeneradores

### 2.1.15.1 Aerogenerador de eje horizontal

Este tipo de aerogeneradores se distingue por su singularidad donde el rotor es paralelo a la corriente de viento, logrando tener una mayor eficiencia que otros generadores eólicos; sus aplicaciones se dan en la generación de pequeña y gran escala, para su captación de viento estos se dividen según a su posición; la turbina con rotor barlovento donde el flujo de viento fluye perpendicular al rotor y alas palas y la turbina con rotor a sotavento donde el flujo de viento es perpendicular a las palas del aerogenerador.

### 2.1.15.2 Aerogenerador de eje vertical

Este aerogenerador capta la velocidad de viento dependiendo de su alabe de diseño, ya que no requieren un dispositivo de orientación, este mecanismo puede hasta estar situado en el suelo, donde su obtención de generación de energía es menor y tiene algunos pequeños hándicaps como la necesidad tener que ser accionado, entre los más usados tenemos 3 tipos que son Savonius, Giromill y Darrieus.

- ✓Savonius: Su característica principal es los diseños de sus alabes que tiene forma de semicírculos desplazados horizontalmente con un espacio determinado, captando el aire de diferentes direcciones, este mecanismo desarrolla poca potencia
- ✓Giromill: Son mecanismos que poseen palas verticales unidas con dos barras en el eje, generando un rango generación que va ese los 10 a 20 kW.
- ✓Darrieus: Está constituido por dos o tres palas biconvexas unidas al eje vertical en la parte superior como inferior, este modelo permite aprovechar los vientos dentro de un campo más extenso de velocidades de viento, por lo contrario, no entra en funcionamiento por sí solo de la cual depende de un rotor Savonius.

## 2.2.16. Partes de una turbina eólica

Sea de eje vertical u horizontal las partes de estas máquinas poseen componentes básicos de las cuales se destacan:

- ✓Palas: Son los mecanismos aerodinámicos más importantes en los aerogeneradores, su función es captar la energía eólica, donde los cambios en parámetros como el ángulo de inclinación, el perfil aerodinámico, los materiales o la geometría interna afectan directamente la cantidad de electricidad producida.

- ✓Rotor: Es un grupo formado por palas y un acoplamiento con el eje principal. El diámetro de este grupo permite definir el área de barrido del aerogenerador.
- ✓Generador: Este elemento es el encargado de convertir la energía mecánica del eje en energía eléctrica. Dependiendo del tipo y potencia del aerogenerador, se puede conectar directamente al eje principal o multiplicador para aumentar su número de revoluciones.
- ✓Torre: Es la estructura encargada de soportar el aerogenerador [28]

### 2.2.17. Ley Weibull

Es un instrumento estadístico que con la recopilación de data representa la probabilidad de fallo después de un lapso transcurrido, la ley de probabilidad de viento conlleva un cálculo según la recopilación de datos de este, para luego determinar la velocidad de diseño para el dimensionamiento, diseño o proyecto eólicos, teniendo la función de gobierno  $p(v)$  [29].

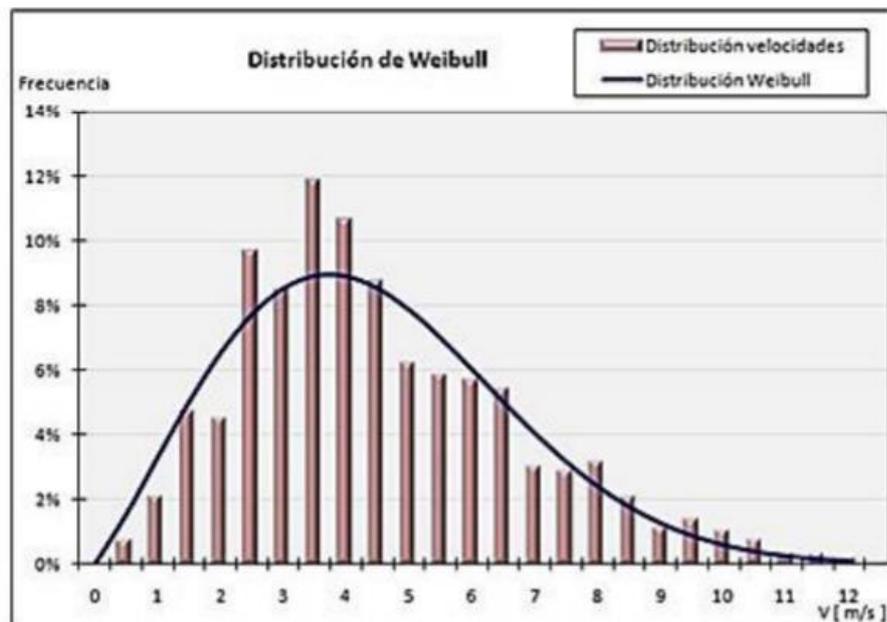


Ilustración 14 Distribución de Weibull

Fuente: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79526>

$$P(v) = \frac{k}{c} * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Donde  $p(v)$  se expresa como la densidad de probabilidad de Weibull,  $v$  es la velocidad del viento (m/s),  $c$  es el factor de escala en otras palabras a la velocidad media anual y  $k$  es el factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Diseño de investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo Cuantitativa descriptiva, donde se busca tener un contacto directo con la realidad problemática y las condiciones que presenta esta vía que uno dos provincias de Lambayeque y Chiclayo, Perú; para observarla, describirla y formular una alternativa de iluminación con recursos renovables de la zona. de estudio.

De acuerdo con el fin que se persigue es una propuesta que busca resolver un problema visual y así llevar a cabo los conocimientos obtenidos sobre el dimensionamiento de un sistema híbrido para la iluminación y usarlos en provecho de la sociedad.

##### 3.1.2 Población y muestra

- ✓ Población: Las carreteras con falta de iluminación.
- ✓ Muestra: La Carr. panamericana nte. de 9,8 km que une la provincia de Lambayeque y la provincia de Chiclayo departamento de Lambayeque, Perú.

#### 3.2. Métodos y técnicas de recolección de datos

##### 3.2.1. Métodos

###### 3.2.1.1. Recolección de la Información

Se recopila diversas tesis, artículos, aplicativos, software para tener una mejor información acerca del tema de investigación y sus diversas aplicaciones; una vez recopilado la información se comparará sus conceptos, aportes, los cuales ayudaran o completaran en nuestro tema de investigación, concluyendo con una idea única y clara de lo que se busca.

###### 3.2.1.2. Fotometría

Para determinar una iluminación idónea se realizará una simulación de la zona de estudio mediante el software DIALux evo, las cual nos permitirá determinar la potencia de las lámparas, la distribución de los postes, su distancia entre ellos y así determinar la potencia por poste.

### 3.2.1.3. Climatológico

El dimensionamiento se realizará a través del estudio climatológico de la zona propuesta con la ayuda del software POWER DATA ACCESS VIEWER y el parte fotovoltaico se usará el RETScreen para la recopilación de data y poder dimensionar el sistema, teniendo en cuenta se puede tener en cuenta tres fases que son:

- ✓ **Recolección de Información:** Se reúne, evalúa y analiza los documentos seleccionados de la zona climatológica del área de estudio.
- ✓ **Gabinete:** En esta fase se procesa la data, se analiza y determina los parámetros para luego determinar la potencia que generan estos.

### 3.2.1.4. Análisis estadístico e interpretación de datos

Para determinar los datos recolectados tanto del software POWER DATA ACCESS VIEWER y RETScreen, se evalúa la potencia que brindara el sistema híbrido mediante la selección del aerogenerador y el panel solar, por último, se estimara el costo que interviene en el dimensionamiento del sistema híbrido.

### 3.2.2. Técnicas

- ✓ **Visualización directa:** Mediante la observación se capta los problemas de la zona de proyecto determinando los estándares necesarios para desarrollar el proyecto.
- ✓ **Desarrollo:** Al desarrollar los diferentes parámetros recolectados se podrá dimensionar el sistema híbrido.
- ✓ **Análisis:** Sintetizando e interpretando los datos obtenidos podremos dimensionar de manera correcta el sistema propuesto con ayuda de Excel.

### 3.2.3. Operacionalización de variables

Tabla 06 Variables

VARIABLE	DEFINICION	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE DEPENDIENTE	Dado que la radicion solar y la velocidad de viento son recursos cuya intensidad s constante, el dimensionamiento de un sistema hibrido se debe realizar a partir de la energia requerida por la potencia consumida y la cantidad de horas de funcionamiento	Aprovechamiento de energia captada de los rayos del sol , la velocidad de viento y determinado la potencia necesaria para la iluminacion se realizara el dimensionamiento del sistema hibrido la cual permitira brindar la iluminacion idonea de los 9.8 Km de la carretera Chiclayo- Lambayeque	DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HIBRIDO	RADIACION SOLAR	Kwh/m2
Dimensionamiento de un sistema hibrido eólico- fotovoltaico				VELOCIDAD DEL VIENTO	m/s
				POTENCIA	Kw

VARIABLE	DEFINICION	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE INDEPENDIENTE	La iluminación proporcionara una vision rápida, precisa y confortable durante las horas de la noche o bajo condiciones de oscuridad	Obteniendo el flujo luminoso y teniendo el área de trabajo podremos determinar la luminancia necesaria para mantener iluminado el tramo de la carretera proyectada	ILUMINACIÓN	LUMINANCIA	Cd/m2
Iluminación del tramo proyectado					

Fuente: Autor

### 3.2.4. Matriz de consistencia

Tabla 7 Matriz de consistencia

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HIBRIDO SOLAR FOTOVOLTAICO Y EOLICO PARA LA ILUMINACION DE CARRETERAS				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
¿El dimensionamiento de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico permitirá iluminar la carretera Chiclayo-Lambayeque?	GENERAL	GENERAL	VARIABLE IMDEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTGACION
	Elaborar el dimensionamiento de un sistema híbrido utilizando energía solar fotovoltaica y eólica que brinde la suficiente energía para iluminar la carretera Chiclayo-Lambayeque	Si se realizó el dimensionamiento de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico, entonces, se iluminara los 9.8 Km de la carretera de Chiclayo- Lambayeque	Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico	El diseño de la presente investigación es de tipo cuantitativa descriptiva, dado que se busca establecer contacto con la realidad problemática de la zona de estudio y las condiciones que presenta la carretera que une las provincias de Lambayeque - Chiclayo del departamento de Lambayeque Perú
	ESPECIFICOS	ESPECIFICOS	INDICADORES	TECNICA DE RECOLECCION DE DATOS
	Realizar el diagnostico fotométrico y energético de la iluminación de la carretera Chiclayo-Lambayeque.	Si se determina los parametros fotometricos de la zona de estudio mediante la simulacion en el sotfware DIALUX EVO, comparando con la normativa DGE "alumbrado de vias publicas en zonas de concesión de distrbución" entonces, se podra obtener la demanda energetica, la distancia de mastil a mastil y validar los parametros minimos que dice la norma para iluminacion de carreteras	RADIACION SOLAR , VELOCIDAD DE VIENTO Y POTENCIA	En este proyecto de investigación se usará la recoleccion de información referido al tema, la fotometria de la zona de estudio para evaluar la fotometria de la zona para evaluar la íptencia de lampara, los datos climatologicos de la zona y la interpretación de datos
	Estimar la capacidad de generación solar y eólica en la carretera Chiclayo-Lambayeque	Si se evalua la capacidad de generación eólica- fotovoltaica, con el uso de la herramienta de distribucion de Weibull, entonces se podra validar el estudio si la zona es ideal para usar en los sistema hibridos	VARBLE INDEPENDIENTE	
	Calcular y seleccionar los componentes del sistema híbrido eólico-solar que satisfaga la demanda energética de la carretera Chiclayo- Lambayeque	Si se realiza el dimensionamiento y la seleecion de equipos, se validara el dimensionamiento y la cantidad de equipos que sadisfagan la demanda energetica	Iluminación del tramo proyectado	
	Determinar el presupuesto que involucra el diseño del sistema híbrido eólico- solar.	Si se realiza el presupuesta, entonces se podra obtener el LCOE de venta de energia y la viabilidad economica del proyecto	INDICADORES	Población: Las carreteras con falta de iluminación
			ILUMINACIÓN	Muestra: La Carr. Panamericana nte. De 9.8 Km que une la provincia de Lambayeque- Chiclayo departamento de Lambayeque, Perú

Fuente: Autor

## 4. RESULTADOS

La presente investigación se desarrolla un sistema híbrido de captación de energías renovables para la iluminación de un tramo de a carretera que conecta las provincias de Lambayeque y Chiclayo, mediante el dimensionamiento de un sistema híbrido de un panel solar y una turbina eólica vertical con la finalidad de obtener una alternativa autónoma que brinde la iluminación idónea del trazo de estudio.

### 4.1 Ubicación

El tramo de estudio es la Au. panamericana nte. /carr. panamericana nte. /carretera 1N que une la provincia de Chiclayo con la provincia de Lambayeque departamento de Lambayeque, Perú, ubicada a una altura de 18 m.s.n.m.

La carretera en mención tiene la siguiente ubicación:

- Departamento: Lambayeque
- Provincia: Chiclayo
- Distrito: Chiclayo

El área muestra un clima variado bastante arcado, en verano carencia presencia de lluvias, donde llega a temperaturas de 34° C, los demás meses del año se presenta un clima otoñal, con persistente viento y temperaturas que oscilan entre 17° y 25° C.

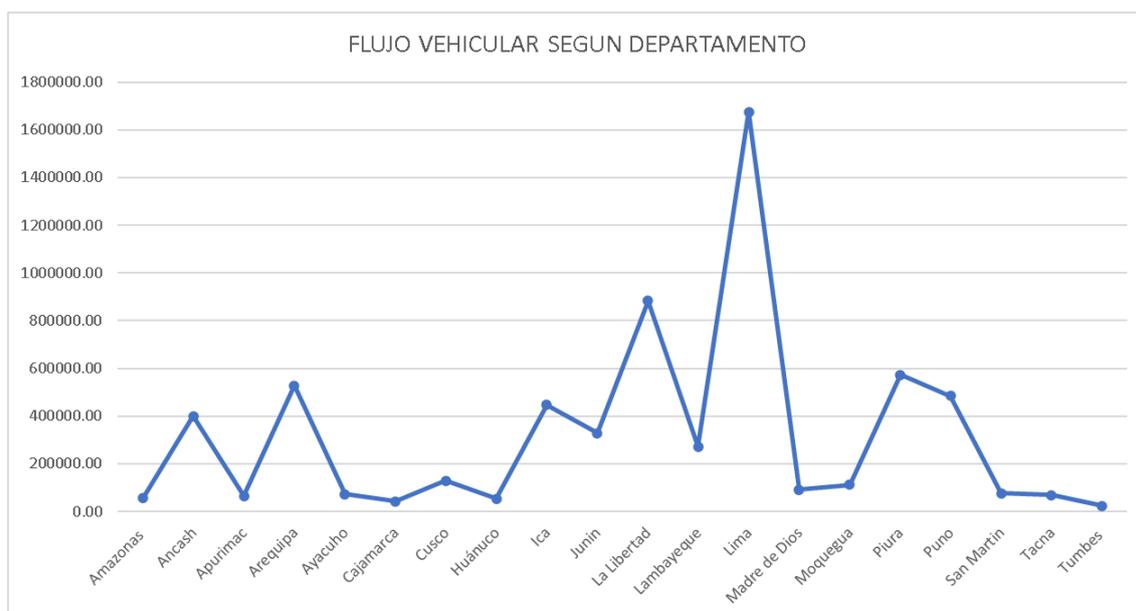


Ilustración 15 Ubicación de Proyecto

Fuente: Google Earth

## 4.2 Dimensiones de la carretera de estudio

Para determinar las dimensiones de la carretera de estudio, se tomó como referencia el Manual de Carreteras diseño geométrico DG-2014 del ministerio de transporte y comunicaciones del Perú. Y el informe N° 3 de la INEI 2021 donde nos muestra la cantidad de vehículos por departamento, para la selección de calzada y mediana.



Grafica 1 Flujo vehicular según el departamento

Fuente: <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/09-informe-tecnico-flujo-vehicular-jul-2021.pdf>

Considerando que en 2020 el Índice Nacional de Afluencia Vehicular aumentó 3,1% respecto a julio 2019, en los últimos 12 meses (agosto 2020 a julio 2021), el Índice Nacional de Afluencia Vehicular aumentó 7,8% en Lambayeque considerando este crecimiento. representa el volumen promedio de vehículos ligeros y pesados, donde alcanza los 4,3% del total de vehículos en el Perú.

Ya teniendo el número de vehículos en cada sector, se escogió el tipo de vía como de primera categoría por ser vías con IMDA (índice promedio diario anual) mayor a 6 000 vehículos/día, en el cual se encuentra el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014 de la Ministerio de Transporte Se recomienda que cada vía tenga dos o más carriles de al menos 3,60 m de ancho con controles completos de acceso (entrada y salida) que proporcionen un flujo continuo de vehículos.

Tabla 6 Dimensiones de la carretera de estudio

---

**CARRETERA PANAMERICANA NORTE**

---

Calzada	7,2 m
Carril	3,6 m
Mediana	4 m
Tipo de vía	Au. Primera clase

---

Fuente: Autor

### 4.3 Resultados Fotométricos de la zona de estudio

Ya obtenido las dimensiones de la calzada, la mediana de la zona de estudio y el tipo de vía, se realizó el croquis con las características y el tipo de iluminación que se recomienda en la zona de estudio, tomando como referencia el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público “RETILAP” que tiene como base de cálculo el software DIALUX EVO.

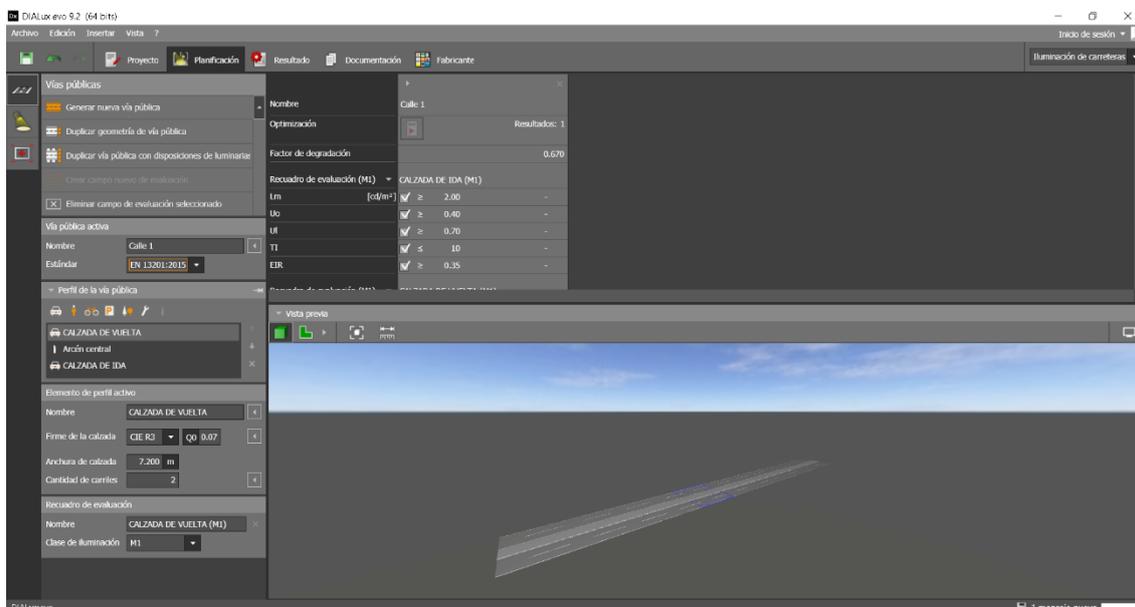


Ilustración 16 Características de la carretera

Fuente: Dialux evo

#### 4.3.1 Distribución de los postes:

Existen 3 tipos de distribución de los postes las cuales se clasifican en:

- ✓ Unilateral: Todas las lámparas se instalan a un lado de la calzada casi igual a la altura del poste, es decir, el poste solo se coloca a un lado de la calzada
- ✓ Central doble: es decir, la berma central no será menor de 1,5 m y constará de dos caminos en direcciones opuestas

- ✓ Bilateral alternada: Cuando la calzada es más ancha que la altura a la que están instaladas las lámparas, se recomienda utilizar esta distribución en zonas comerciales o de alto tránsito nocturno para una mejor iluminación en aceras y muros exteriores. Situado frente a la carretera.

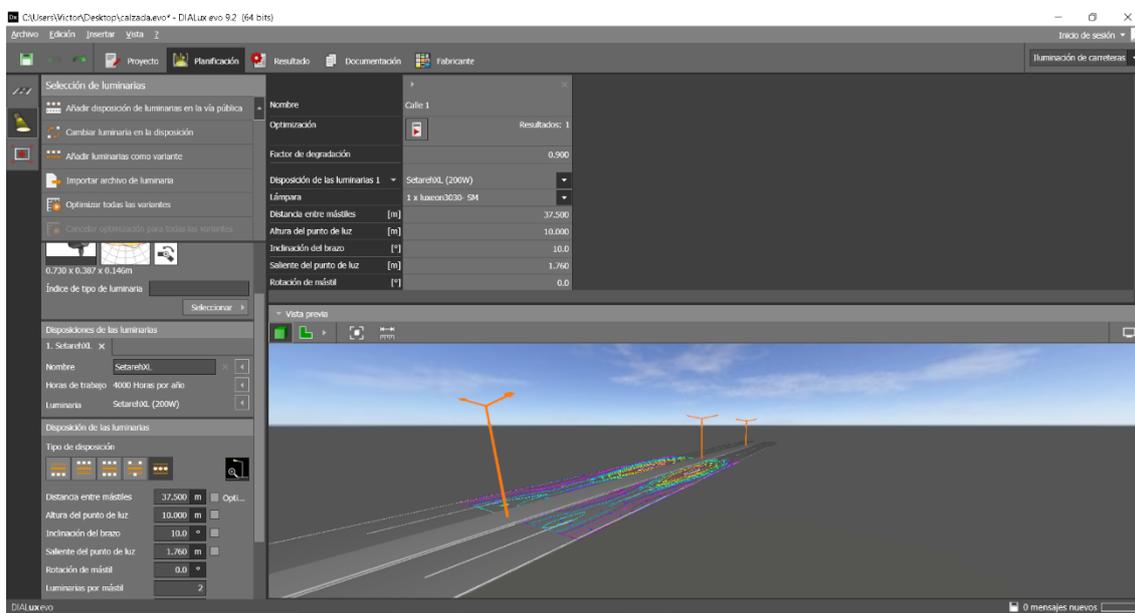


Ilustración 17 Distribución de los mástiles y lámparas

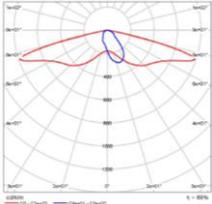
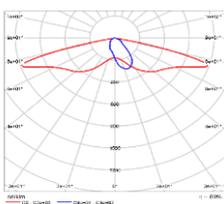
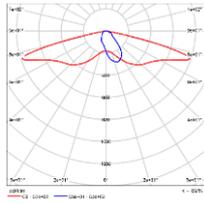
Fuente: Dialux evo

Teniendo una media mayor a 1,5 metros la distribución de los postes es de Central doble la cual permite obtener una mejor opción de iluminación y así se aprovecha el espacio de la berma central de la carretera de estudio.

#### 4.3.2 Cuadro resumen de los resultados ya realizados

En la siguiente tabla se detallan las características de las lámparas y su fotometría para posteriormente hacer las simulaciones correspondientes con un brazo saliente de luz de 1.76m con la variación de inclinación de 5° de los pastores parabólicos donde relacionaremos y comparemos los resultados.

Tabla 7 Características de las lámparas

ITEMS	LAMPARA		
FAMILIA	DigiStreet	DigiStreet	DigiStreet
MARCA	PHILIPS	PHILIPS	PHILIPS
POTENCIA	70	80	99
$\phi$ Lampara	9400 lm	11000 lm	14000 lm
$\phi$ Luminaria	8390 lm	9818 lm	12496 lm
$\eta$	89.25%	89.25%	89.95%
RENDIMIENTO LUMINICO	119.9 lm/W	122.7 lm/W	126.2 lm/W
CCT	4000 k	4000 K	4000 K
CRI	80	80	80
Fotometria			

Fuente: Dialux evo

Donde:

CRI se denomina generalmente como la reproducción cromática Ra (o CRI) y CCT es el color de luz, para la ciudad de Chiclayo se recomienda tener una luz de 4000 K donde es un blanco neutro.

Ya obtenido el cuadro de comparación de la lámpara se procederá a seleccionar las distancias de los mástiles por tipo de lámpara y pastoral. Luego se planteará un cuadro comparativo de las simulaciones fotométricas de los resultados ya mencionados y los parámetros mínimos para tener una iluminación idónea según lo establecido en la normativa EN 13 201 – 2015 que trabaja el programa DIALUX EVO.

Tabla 8 Selección de distancias y pastorales según la lámpara

Variables independientes del estudio	LAMPARA		
	PASTORAL SIMPLE 1,5mx1,76m/1,5"Ø/5°	PASTORAL SIMPLE 1,5mx1,76m/1,5"Ø/5°	PASTORAL SIMPLE 1,5mx1,76m/1,5"Ø/5°
Instalacion	Central	Central	Central
Lampara (W)	70	80	99
Altura(H)	11	11	11
Vano o Separacion (S)	23	27	31
Alcance Horizontal del pastoral	1,76	1,76	1,76
Angulo de inclinacion del pastoral	5	5	5

Fuente: Autor

Ya seleccionados las distancias de los mástiles, se realizó las simulaciones fotométricas donde cumplen las 3 lámparas, en la cual se comparó con los estándares mínimos recomendados por la normativa EN 13 201 – 2015, la cual da parámetros mínimos para

el tipo de iluminación M1 donde son de carreteras y autopistas según el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público “RETILAP”.

Tabla 9 Comparación de análisis fotométrico por calzada de ida

NORMATIVA NOMINAL PARA CLASE DE ILUMINANCIA MI	UNIDAD	CALZADA DE IDA			
		MINIMA	LAMPARA 70 W con PASTORAL SIMPLE 1.5mx1.76m/1.5"Ø/10°	LAMPARA 80W con PASTORAL SIMPLE 1.5mx1.76m/1.5"Ø/10°	LAMPARA 99W con PASTORAL SIMPLE 1.5mx1.76m/1.5"Ø/10°
Luminancia promedio (Lm)	cd/m2	2	2,04	2,04	2,26
Factor de uniformidad (U0)		>=0.4	0,59	0,58	0,56
Incremento de umbral (TI) - no debe exceder	%	<=10	8	9	10
Factor de uniformidad longitudinal de luminancia (U1)		>=0.7	0,82	0,86	0,85
Relación de alrededores (REI)		>=0.35	0,7	0,7	0,7
Altura del poste	m		11	11	11
Distancia de los mástiles	m		23	27	31

Fuente: Autor

Tabla 10 Comparación de análisis fotométrico por calzada de vuelta

NORMATIVA NOMINAL PARA CLASE DE ILUMINANCIA MI	UNIDAD	CALZADA DE VUELTA			
		MINIMA	LAMPARA 70 W con PASTORAL SIMPLE 1.5mx1.76m/1.5"Ø/10°	LAMPARA 80W con PASTORAL SIMPLE 1.5mx1.76m/1.5"Ø/10°	LAMPARA 99W con PASTORAL SIMPLE 1.5mx1.76m/1.5"Ø/10°
Luminancia promedio (Lm)	cd/m2	2	2,04	2,04	2,26
Factor de uniformidad (U0)		>=0.4	0,59	0,58	0,56
Incremento de umbral (TI) - no debe exceder	%	<=10	8	9	10
Factor de uniformidad longitudinal de luminancia (U1)		>=0.7	0,82	0,86	0,85
Relación de alrededores (REI)		>=0.35	0,7	0,7	0,7
Altura del poste	m		11	11	11
Distancia de los mástiles	m		23	27	31

Fuente: Autor

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
CALZADA DE VUELTA (M1)	L <sub>m</sub>	2.04 cd/m <sup>2</sup>	≥ 2.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>0</sub>	0.59	≥ 0.40	✓
	U <sub>1</sub>	0.82	≥ 0.70	✓
	TI	8 %	≤ 10 %	✓
	R <sub>EI</sub>	0.70	≥ 0.35	✓
CALZADA DE IDA (M1)	L <sub>m</sub>	2.04 cd/m <sup>2</sup>	≥ 2.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>0</sub>	0.59	≥ 0.40	✓
	U <sub>1</sub>	0.82	≥ 0.70	✓
	TI	8 %	≤ 10 %	✓
	R <sub>EI</sub>	0.70	≥ 0.35	✓

Ilustración 18 Resultados fotométricos de la lampara de 70W de la zona de estudio

Fuente: Dialux evo

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
CALZADA DE VUELTA (M1)	L <sub>m</sub>	2.04 cd/m <sup>2</sup>	≥ 2.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.58	≥ 0.40	✓
	U <sub>i</sub>	0.86	≥ 0.70	✓
	TI	9 %	≤ 10 %	✓
	R <sub>EI</sub>	0.70	≥ 0.35	✓
CALZADA DE IDA (M1)	L <sub>m</sub>	2.04 cd/m <sup>2</sup>	≥ 2.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.58	≥ 0.40	✓
	U <sub>i</sub>	0.86	≥ 0.70	✓
	TI	9 %	≤ 10 %	✓
	R <sub>EI</sub>	0.70	≥ 0.35	✓

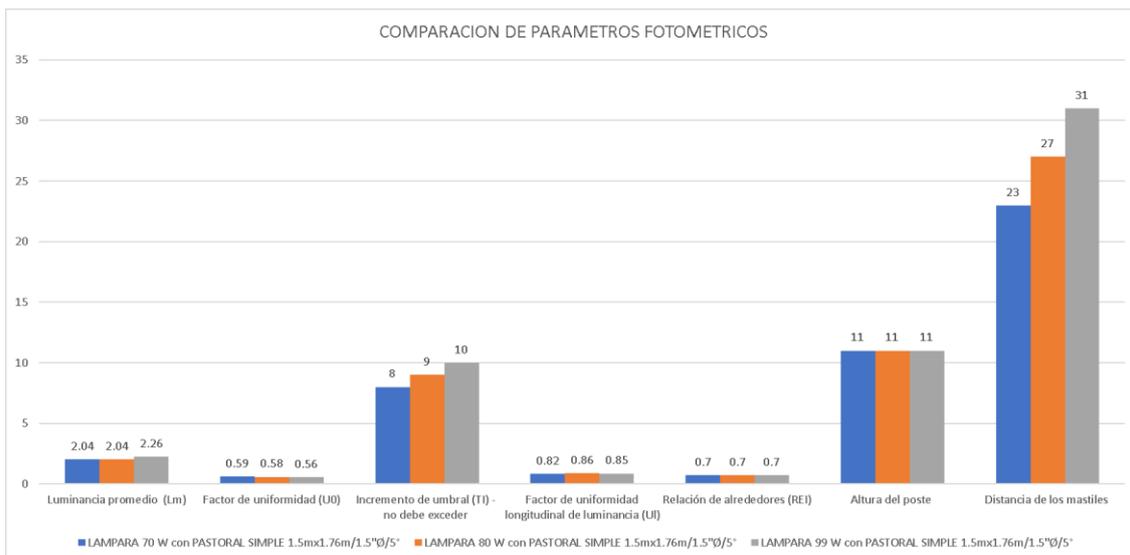
Ilustración 19 Resultados fotométricos de la lampara de 80W de la zona de estudio

Fuente: Dialux evo

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
CALZADA DE VUELTA (M1)	L <sub>m</sub>	2.26 cd/m <sup>2</sup>	≥ 2.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.56	≥ 0.40	✓
	U <sub>i</sub>	0.85	≥ 0.70	✓
	TI	10 %	≤ 10 %	✓
	R <sub>EI</sub>	0.70	≥ 0.35	✓
CALZADA DE IDA (M1)	L <sub>m</sub>	2.26 cd/m <sup>2</sup>	≥ 2.00 cd/m <sup>2</sup>	✓
	U <sub>o</sub>	0.56	≥ 0.40	✓
	U <sub>i</sub>	0.85	≥ 0.70	✓
	TI	10 %	≤ 10 %	✓
	R <sub>EI</sub>	0.70	≥ 0.35	✓

Ilustración 20 Resultados fotométricos de la lampara de 99W de la zona de estudio

Fuente: Dialux evo



Grafica 2 Comparación de lámparas

Fuente: Autor

Las tablas 11, 12, las imágenes y gráfica W, se muestra los niveles fotométricos de cada lampara donde la diferencia entre ellos es mínima y cumplen con los estándares mínimos recomendados por la normativa de trabajo del DIALUX evo.

#### 4.4 Comparación del estudio con la normativa peruana DGE “alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución”.

Para la comparación de las lámparas se tuvo en cuenta las características de estas y con la norma técnica DGE “alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución” del ministerio de energía y minas; para posteriormente encontrar la potencia necesaria para el estudio de trabajo y la energía que generara al transcurrir la noche.

Tabla 11 Comparaciones de estándares según la norma peruana

ITEMS	NORMA TÉCNICA DGE “ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS EN ZONAS DE CONCESIÓN DE DISTRIBUCIÓN”	ENSAYOS REALIZADOS		
		LAMPARA DE 70 W	LAMPARA DE 80W	LAMPARA DE 90W
TIPO DE ALUMBRADO	I	M1	M1	M1
LUMINANCIA MEDIA	2	2,04	2,04	2,26
UNIFORMIDAD LONGITUDINAL >=	0,7	0,82	0,86	0,85
UNIFORMIDAD MEDIA >=	0,4	0,59	0,58	0,56

Fuente: Autor

En el cuadro 11 observamos que las 3 lámparas presentan una eficiencia idónea ante la normativa DGE que nos brinda el ministerio de energía y minas, para la selección de la lámpara se seleccionará dependiendo potencia de captación del sistema híbrido.

Como las tres lámparas cumplen con los estándares mínimos de la normativa DGE, el estudio tendrá tres escenarios posibles de demanda energética, donde se tendrá en cuenta las pérdidas de los conductores por efecto joule, la eficiencia de los reguladores, etc. Ante esta situación se dividirá la energía por un factor de protección del 25%.

Tabla 14 Demanda energética.

ITEMS/ LAMPARAS	70	80	99
Distancia de la zona (m)	9800	9800	9800
Cantidad de postes	341	290	253
Potencia total (kW)	54,88	53,43	57,59
Horas de trabajo (h)	12	12	12
Energía diaria kWh	658,56	641,14	691,03

Fuente: Autor

Ya determinado los escenarios de demanda energética probables, la lámpara que se usará será de 80W donde la potencia total es un promedio aceptable para que el sistema híbrido satisfaga dicha demanda.

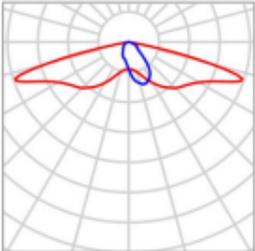
			
<b>Fabricante</b>	PHILIPS	<b>P</b>	80.0 W
<b>Nombre del artículo</b>	BGP762 T25 1 xLED110-4S/840 DN50	$\Phi_{\text{Lámpara}}$	11000 lm
<b>Lámpara</b>	1x LED110-4S/840	$\Phi_{\text{Luminaria}}$	9818 lm
		$\eta$	89.25 %

Ilustración 21 Características de la lámpara

Fuente: Dialux evo

#### 4.5 Evaluar la capacidad de generación de energía solar y eólica

Ya obtenidos el estudio fotométrico de la zona de estudio, la distribución, las lámparas se podrá determinaremos la generación que nos puede llegar a entregar el sistema híbrido con las condiciones de la zona de estudio.

##### 4.5.1 Evaluación del recurso Fotovoltaico

El sistema fotovoltaico proyectado para la carretera que une las dos provincias se ubicara en la mediana de estas (berma ventral). Se hace el estudio para el dimensionamiento de los componentes del sistema.

##### 4.5.2 Características geográficas y meteorológicas de la zona

Es importante determinar las condiciones ambientales y la ubicación ya que condiciona los componentes que se utilizara.

Tabla 12 Datos de ubicación y temperatura de la zona

Datos	Medida
Latitud	6,73
Longitud	79,88
Temperatura	21,87

Fuente: Autor

##### 4.5.3 Análisis de radiación solar

El análisis de la radiación solar depende de la inclinación de los módulos solares, dado que esto influye según la zona geográfica. La inclinación de los módulos solares para una instalación autónoma, teniendo en cuenta que la latitud de la zona de estudio es de  $-6.7346^\circ$ , puede calcularse empleando la siguiente expresión.

$$\text{Inclinación óptima} = 3,7 + (L * 0,69)$$

$$\text{Inclinación óptima} = 8,3468^\circ$$

Donde L es la latitud de la zona de estudio.

Con el software RETScreen se determinan la radiación por meses

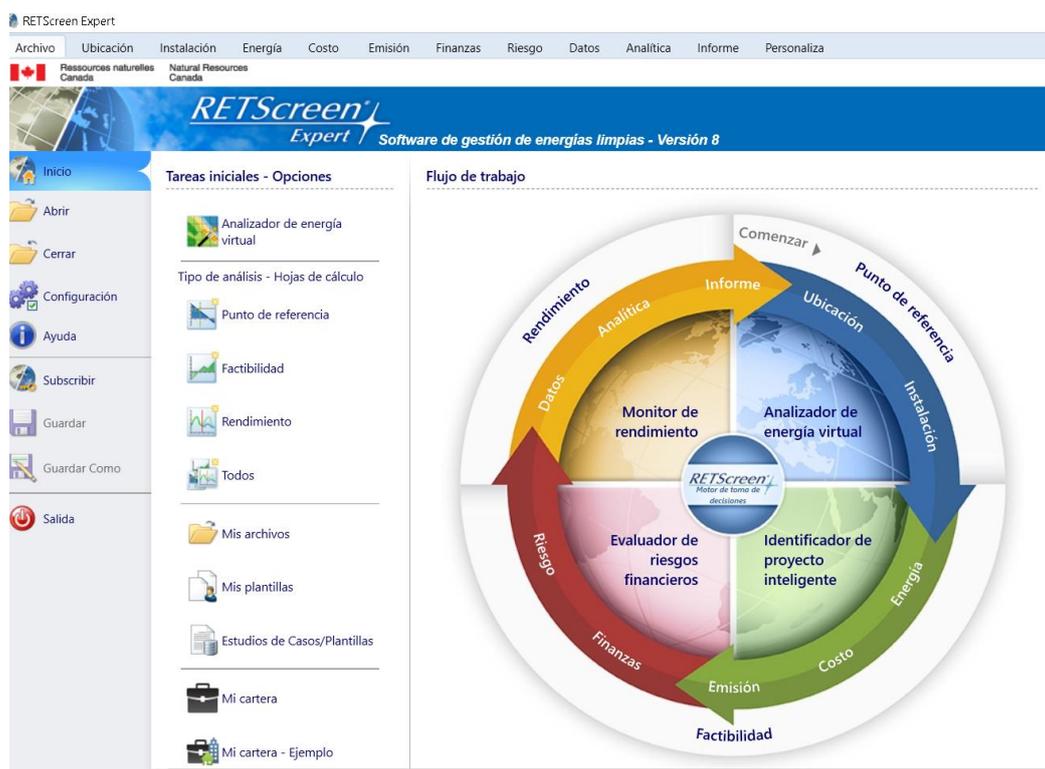


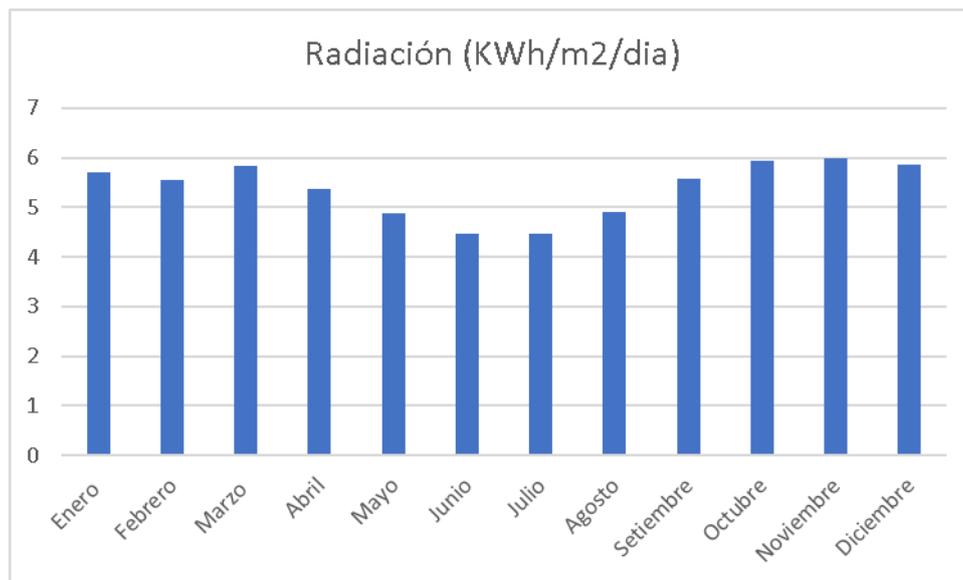
Ilustración 22 RETScreen

Fuente: RETScreen

Tabla 13 Radicación solar por mes

Mes	Radiación (KWh/m <sup>2</sup> /día)	Temperatura
Enero	5,7	24,2
Febrero	5,55	25,6
Marzo	5,84	25,5
Abril	5,38	23,5
Mayo	4,89	21,7
Junio	4,47	20,5
Julio	4,48	19,6
Agosto	4,91	19,2
Setiembre	5,59	19,3
Octubre	5,95	19,9
Noviembre	5,98	20,9
Diciembre	5,86	22,6

Fuente: Autor



Grafica 3 Radiación solar por mes

Fuente: Autor

Para el tamaño fotovoltaico debemos elegir el mes de peor radiación para que el sistema funcione con normalidad en el siguiente mes de mayor radiación, este valor es de 4,47 KWh/m2día.

Definimos bajo estas condiciones las horas pico de sol al día bajo dicha radiación.

$$HSP = \frac{\text{radiación solar}}{1\,000 \frac{W}{m^2}}$$

$$HSP = 4,47$$

#### 4.5.4 Evaluación del recurso Sistema Eólico

Para determinar el sistema eólico se tuvo en cuenta el programa POWER DATA ACCESS VIEWER, la cual se recopiló las velocidades de viento de los años 2020 y 2021.

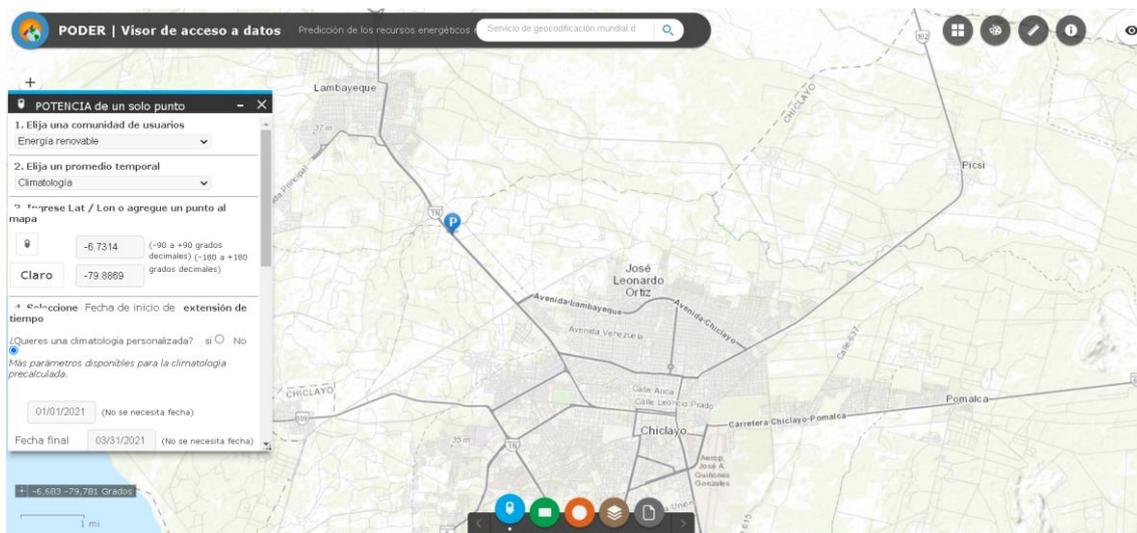
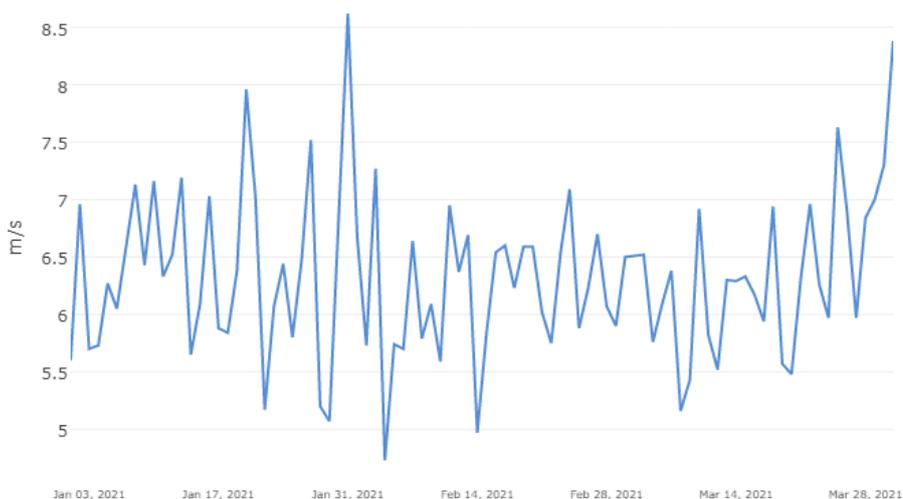


Ilustración 23 Ubicación de la zona de estudio

Fuente: POWER DATA ACCESS VIEWER

Una vez ingresado las coordenadas se obtuvo 456 datos donde se aplicará la distribución de Weibull para determinar la velocidad de diseño para el sistema eólico.



Grafica 4 Frecuencia de viento durante los meses

Fuente: POWER DATA ACCESS VIEWER

Tabla 14 Numero de datos de la velocidad de viento

Número de datos	456
Valor maximo	8,8
Valor minimo	3,86
Numero de intervalos	9,83
Amplitud de intervalos	0,50

Fuente: Autor

## 4.5.4.1 Distribución de Weibull

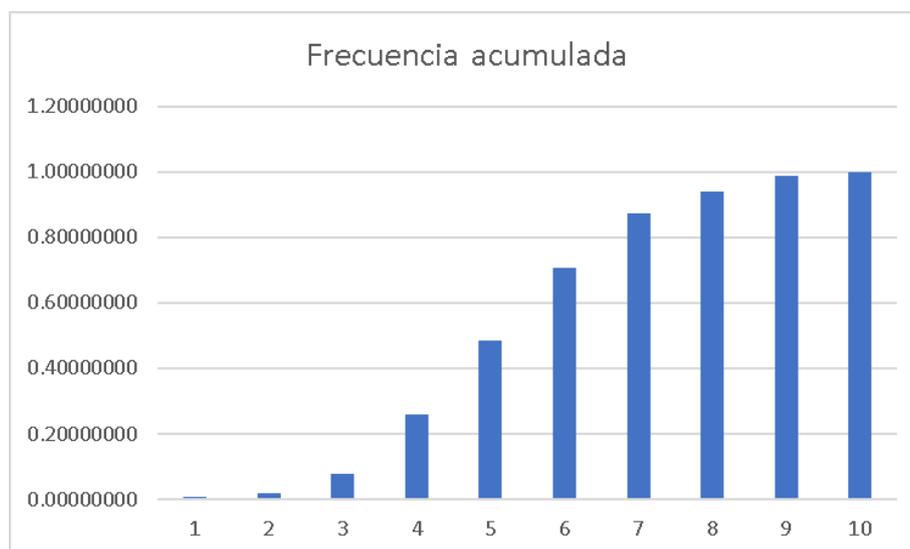
Elaboramos la tabla de distribución de frecuencia acumulado para determinar los parámetros “k” y “C” obteniendo los siguientes valores  $k=9,7516$  y  $C= 6,6742$ .

Tabla 20 cálculo de la función lineal.

Tabla 15 Frecuencia de WEIBULL

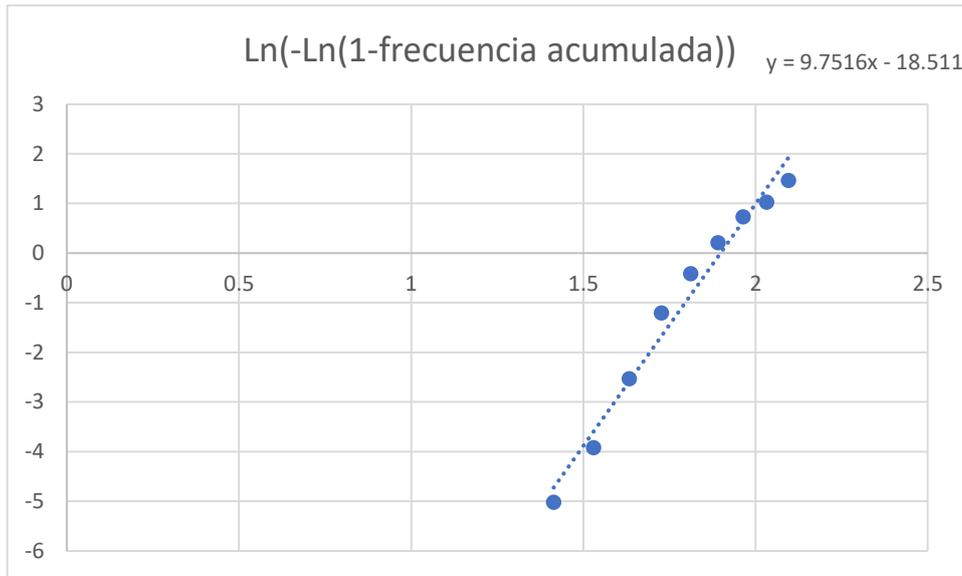
INTERVALOS						X	Y
MIN	MAX	Velocidad promedio	FRECUENCIA	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Ln(V)	Ln(-Ln(1-frecuencia acumulada))
3,86	4,36	4,11	3,00	0,00658	0,00658	1,41371	-5,02058
4,36	4,86	4,61	6,00	0,01316	0,01974	1,52900	-3,91532
4,86	5,37	5,12	26,00	0,05702	0,07675	1,63237	-2,52748
5,37	5,87	5,62	83,00	0,18202	0,25877	1,72604	-1,20582
5,87	6,37	6,12	103,00	0,22588	0,48465	1,81168	-0,41112
6,37	6,87	6,62	102,00	0,22368	0,70833	1,89057	0,20876
6,87	7,38	7,13	76,00	0,16667	0,87500	1,96368	0,73210
7,38	7,88	7,63	29,00	0,06360	0,93860	2,03181	1,02614
7,88	8,38	8,13	22,00	0,04825	0,98684	2,09560	1,46574
8,38	8,88	8,63	6,00	0,01316	1,00000	2,15555	#¡NUM!

Fuente: Autor



Grafica 5 Frecuencia acumulada

Fuente Autor



Grafica 6 Ajuste lineal

Fuente: Autor

Ya obtenidos los parámetros c y k podemos obtener la probabilidad de densidad de la función de Weibull a cuál se define.

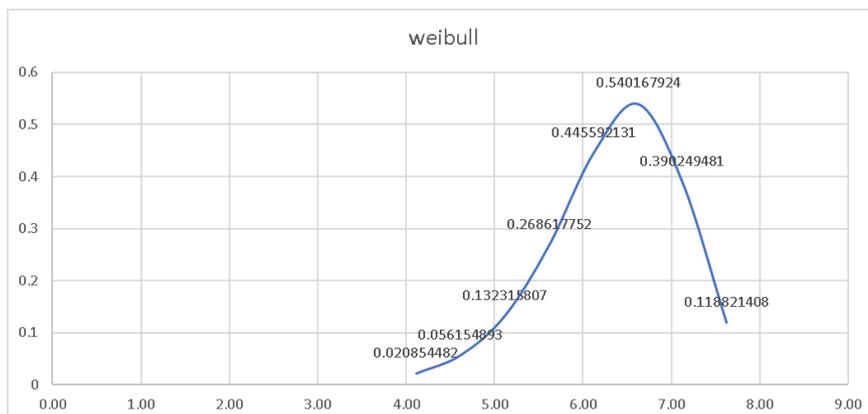
$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k}$$

Donde x es la velocidad de viento, c es el factor de escala y k es factor de forma.

Tabla 16 Probabilidad de vientos

velocidad promedio	factor de forma	P(v)	FUNCION DE WEIBULL F(x)
4,11	6,67422	0,02085	0,00883
4,61	6,67422	0,05615	0,02693
5,12	6,67422	0,13232	0,07208
5,62	6,67422	0,26862	0,17013
6,12	6,67422	0,44559	0,34943
6,62	6,67422	0,54017	0,60457
7,13	6,67422	0,39025	0,84934
7,63	6,67422	0,11882	0,97473

Fuente: Autor



## Grafica 7 Función de Weibull

Fuente: Autor

Ya determinado las probabilidades de viento, se pasó a seleccionar el viento de diseño la cual es de 6,62, esto nos ayudara a seleccionar el aerogenerador más idóneo para la zona de estudio.

## 4.6. Dimensionamiento del sistema solar-eólico

Debido que el sistema debe suministrar la energía necesaria para dar una iluminación ininterrumpida la minicentral hibrida se tiene que colocar en el medio de la carretera para evitar caídas de tensión, teniendo un área 70 m ancho por 90 m de largo con coordenadas de  $-6^{\circ}.73$  latitud,  $-79^{\circ}.88$  longitud.



Ilustración 24 Ubicación del sistema hibrido

Fuente: Google Earth

Tabla 17 Demanda energética

<b>ITEMS/ LAMPARAS</b>	<b>80</b>
Distancia de la zona (m)	9800
Cantidad de postes	290
Potencia total (kW)	53,43
Horas de trabajo (h)	12
Energía diaria kWh	641,14

Fuente: Autor

#### 4.6.1 Dimensionamiento del sistema eólico

Para el sistema eólico se propone utilizar un aerogenerador H 10KW de la empresa AEOLOS WIND TURBINE. (ANEXO 01).



Ilustración 25 H 10KW

Fuente: Empresa AOLOS WIND TURBINE

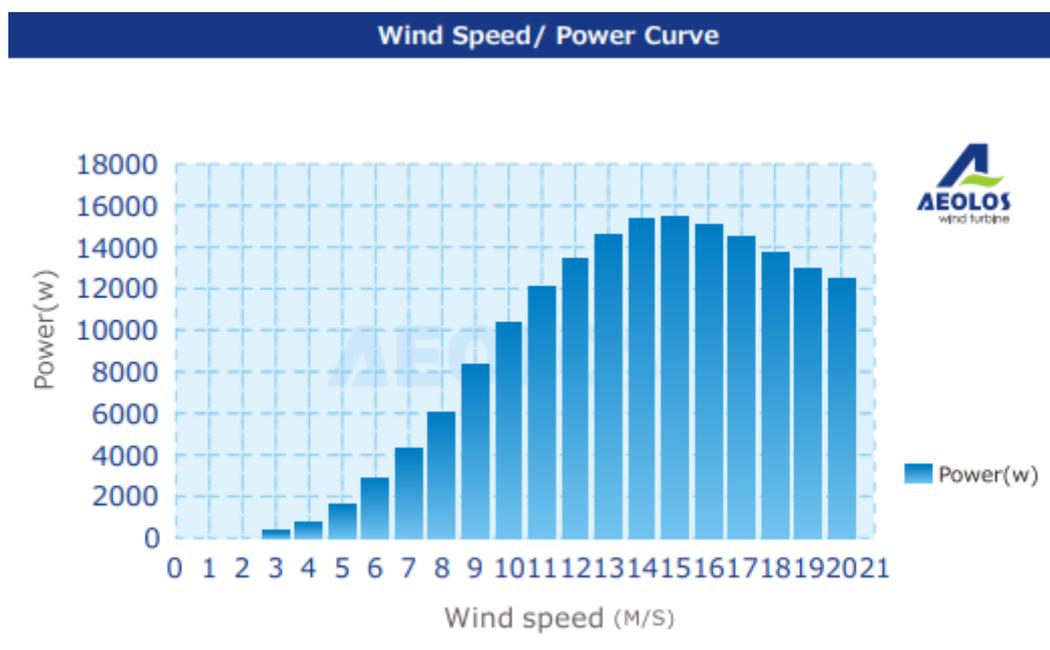


Ilustración 26 Curva de potencia

Fuente: Empresa AOLOS WIND TURBINE

Ya obteniendo la velocidad promedio mediante Weibull la cual fue 6,62 m/s se procede a calcular cuanta energía brinda el viento.

#### 4.6.1.1 Cálculo de la densidad del viento

Para obtener la densidad del viento se tendrá en cuenta las condiciones de la zona de estudio en la cual es un factor necesario para determinar cuanta potencia nos brinda el viento en una velocidad promedio ya calculada.

Tabla 18 Parámetros geográficos de la zona

Parámetros para el diseño del prototipo eólico		
Altura sobre el nivel del mar	18	msnm
Presión atmosférica	101600	Pa
Promedio del viento	6,62312169	m/s
Temperatura Promedio	21,875	°C
Densidad del aire	287,058	J/°kg*°K

Fuente: Autor

$$p = \frac{P. \text{atmosferica}}{p_{\text{aire}} * (T + 273)}$$

$$P=1,20 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.6.1.2 Potencia de viento

Teniendo la densidad de la zona de estudio se procede a calcular la potencia que brinda el viento con la velocidad ya establecido que tiene la zona de estudio.

$$P_V = \frac{1}{2} * V^3 * A * \rho$$

$$P_V = \frac{1}{2} * 6,62^3 * (\pi * 4^2) * 1,20$$

$$P_V = 8,75 \text{ kW}$$

#### 4.6.1.3 Potencia mecánica del rotor

Teniendo la potencia del viento en la velocidad promedio se procede a obtener el coeficiente de potencia para obtener la potencia del rotor del aerogenerador.

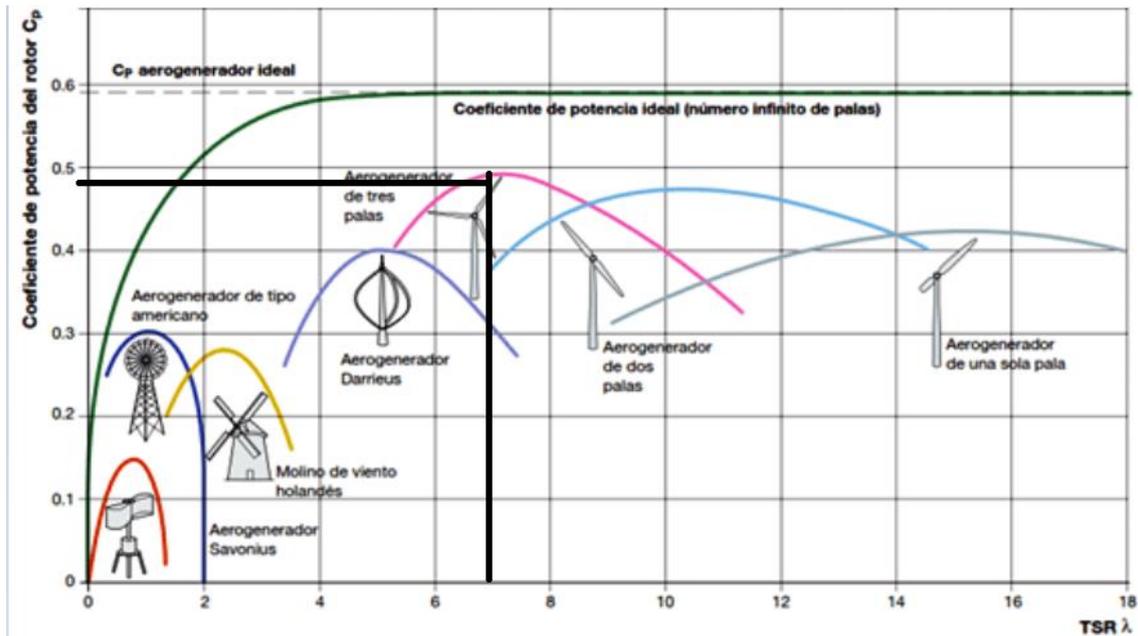


Ilustración 27 Características del coeficiente de potencia y TSR

Fuente:

[https://www.researchgate.net/publication/321807468\\_Sistema\\_de\\_Control\\_para\\_Aerogenerador\\_es\\_Empleando\\_Logica\\_Difusa](https://www.researchgate.net/publication/321807468_Sistema_de_Control_para_Aerogenerador_es_Empleando_Logica_Difusa)

$$C_p = 0.48$$

$$P_m = C_p * P_e$$

$$P_m = 0,48 * 8,75$$

$$P_m = 4,20 \text{ kW}$$

#### 4.6.1.4 Cálculo de potencia eléctrica

$$P_e = R_{sm} * P_m$$

Donde el  $R_{sm}$  es el rendimiento del sistema mecánico donde por las especificaciones técnicas del aerogenerador es de 0.95.

$$P_e = 0,95 * 4,20 \text{ kW}$$

$$P_e = 3,99 \text{ kW}$$

#### 4.6.1.5 Calculo de la energía del aerogenerador

Para obtener la mayor captación el aerogenerador trabajara las 24 h del día, y la eficiencia del sistema eléctrico es de 0.95.

$$P_a = P_e * H_t * R_{se}$$

$$P_a = 3,99 * 0,95 * 24$$

$$P_a = 90,97 \text{ kWh}$$

El número de aerogeneradores será de 2 con una energía 181.93 kWh teniendo el 27.41 % de la demanda energética.

#### 4.6.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Como la demanda energética es de 641,14 kWh y la energía que suministra el sistema eólico es de 181,93 kWh, entonces la energía que debe suministrar el sistema fotovoltaico es de 459,20 kWh.

##### 4.6.2.1 Voltaje de la instalación

La tensión de funcionamiento del dispositivo fotovoltaico será de 48V debido a que operar a este voltaje se colocan más paneles en serie, reduciendo así la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico.

##### 4.6.2.2 Calculo del número de paneles fotovoltaicos

Para determinar la potencia y el número de paneles se utilizará el panel solar 350W 24V policristalino de la empresa era solar Perú y la radiación as critica de la zona de estudio ya calculado. (ANEXO 02)

$$E_p = P_{panel} * HSP$$

$$E_p = 350 * 4,47$$

$$E_p = 1\,564,5 \text{ Wh}$$

Con la energía ya obtenida se calcula el número de paneles fotovoltaicos.

$$N^{\circ}_{modulos} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Energia}}$$

$$N^{\circ}_{modulos} = \frac{459.20}{0.1564}$$

$$N^{\circ}_{modulos} = 294 \text{ paneles}$$

#### 4.6.2.3 Numero de módulos fotovoltaicos conectados en serie

Ya teniendo el número de paneles y el voltaje de trabajo se procede a calcular cuantos irán conectadas en serie ( $N_{sf}$ ).

$$N_{sf} = \frac{V_s}{V_p}$$

Donde  $V_p$  es voltaje de panel y  $V_s$  es el del sistema.

$$N_s = \frac{48}{24} = 2$$

#### 4.6.2.4 Calculo de ramas conectadas en paralelo

$$N_p = \frac{N_{modulos}}{N_s}$$

$$N_p = \frac{294}{2} = 147 \text{ paneles}$$

#### 4.6.2.5 Dimensionamiento del regulador de carga solar

Para el regulador de carga se debe tener en cuenta un factor para evitar posibles daños donde el factor de seguridad es considerado de 1,20.

$$I_{reg} = 1,20 * I_{ccpf} * N_P$$

Donde  $I_{reg}$  es la corriente máxima que soporta el regulador, el  $I_{ccpf}$  es la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico.

$$I_{reg} = 1,20 * 147 * 9,38 = 1\ 654,63\ A$$

Ya teniendo la tensión máxima del regulador se procederá a tener cuantos reguladores es necesario para este caso se propone utilizar un regulador de MPPT RS SmartSolar 450|100 y 450|200 – Aislado de la empresa VICTRON ENERGY donde la tensión máxima que presenta es de 200 A. (ANEXO 03)

$$N_{P\ reg} = \frac{I_{reg}}{I_{reg\ S.}}$$

Donde  $N_{preg}$  es el número de reguladores para el sistema y la  $I_{reg\ S.}$  es la corriente máxima que soporta el regulador seleccionado.

$$N_{P\ reg} = \frac{1\ 654,63}{200} = 8\ reguladores$$



Ilustración 28 MPPT RS SmartSolar 450|100 y 450|200 - Aislado

Fuente: <https://www.victronenergy.com.es/inverters>

#### 4.6.2.6 Baterías

Para el dimensionamiento de las baterías se debe tener en cuenta la profundidad máxima de descarga (PD<sub>max</sub>) que va desde 0.6 - 0.8 y el número de autonomía (ND) será de 2.

$$CT = \frac{(N_D * E_{elec})}{P_{Dmax} * V_T}$$

Donde CT es la capacidad del banco de baterías expresado en Ah y VT es el voltaje del sistema que es 48 V.

$$CT = \frac{459,20 * 1\,000 * 2}{0,7 * 48} = 27\,333,3\,Ah$$

Ya teniendo la capacidad del banco de baterías se calculará las baterías que deben conectarse en serie donde para el sistema se tomó batería estacionaria de 600 Ah de 24 voltios Ultracell UZS600. (ANEXO 04)



Ilustración 29 600Ah 24V Ultracell UZS600

Fuente: <https://autosolar.pe/acumuladores-estacionarios/bateria-estacionaria-600ah-24v-ultracell-uzs600>

$$N_{baterias} = \frac{V_T}{V_{bat.}}$$

$$N_{baterias} = \frac{48}{24} = 2$$

Donde  $V_{bat}$  es el voltaje de la batería.

Se procede a calcular las baterías en paralelo ( $N_p$  bat.) donde es la división de la capacidad del banco de baterías entre la capacidad individual de la batería ( $C_{bat.}$ ).

$$N_{p\ bat} = \frac{C_T}{C_{bat.}}$$

$$N_{p\ bat} = \frac{27\ 333,3}{600} = 46\ und.$$

#### 4.6.2.7 Numero de inversores

El inversor que se utilizará será un inversor de onda pura Victron Quattro 12/5 000/220-100/100 230 VE. Bus. (ANEXO 05)



**Quattro**  
**48/5000/70-100/100**

Ilustración 30 Victron Quattro 12/5000/220-100/100 230V VE.Bus

Fuente: <https://www.rasuni.com/collections/victron-quattro/products/victron-quattro-12-5000-220-100-100-230v-ve-bus>

Quattro	12/3000/120-50/50 24/3000/70-50/50	12/5000/220-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/8000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
PowerControl / PowerAssist	Yes				
Integrated Transfer switch	Yes				
AC inputs (2x)	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz Power factor: 1				
Maximum feed through current (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
INVERTER					
Input voltage range (VDC)	9,5 – 17V		19 – 33V	38 – 66V	
Output (1)	Output voltage: 230 VAC ± 2%		Frequency: 50 Hz ± 0,1%		
Cont. output power at 25°C (VA) (3)	3000	5000	8000	10000	15000
Cont. output power at 25°C (W)	2400	4000	6500	8000	12000
Cont. output power at 40°C (W)	2200	3700	5500	6500	10000
Cont. output power at 65°C (W)	1700	3000	3600	4500	7000
Peak power (W)	6000	10000	16000	20000	25000
Maximum efficiency (%)	93 / 94	94 / 94 / 95	94 / 96	96	96
Zero load power (W)	20 / 20	30 / 30 / 35	60 / 60	60	110
Zero load power in AES mode (W)	15 / 15	20 / 25 / 30	40 / 40	40	75
Zero load power in Search mode (W)	8 / 10	10 / 10 / 15	15 / 15	15	20

Ilustración 31 Características del inversor

Fuente: <https://www.rasuni.com/collections/victron-quattro/products/victron-quattro-12-5000-220-100-100-230v-ve-bus>

Para determinar la potencia del inversor se tendrá en cuenta la potencia del sistema y la eficiencia del inversor.

$$\text{Potencia de entrada del inversor} = \frac{\text{maxima demanda de carga}}{\text{eficiencia del inversor}}$$

Como se tiene 294 paneles y su potencia es de 350 W se tendrá una máxima demanda de 102,9 kW.

$$\text{Potencia de entrada del inversor} = \frac{102,9 \text{ kW}}{0,96} = 107,18 \text{ kW}$$

Ya teniendo la entrada de potencia del inversor se calcula cuantos inversores necesitara el sistema.

$$\text{Numero de inversores} = \frac{107,18 \text{ kW}}{15 \text{ kW}} = 8 \text{ und}$$

Ya determinado los componentes se procede a hacer un cuadro resumen de los componentes que conformaran el sistema.

Tabla 19 Componentes del sistema

COMPONENETES	UND	CANTIDAD
25 H 10KW AOLOS WIND TURBINE	UND	2
Panel solar 350W 24V policristalino	UND	294
Regulador de MPPT RS SmartSolar 450 100 y 450 200	UND	8
Bateria 29 600Ah 24V Ultracell UZS600	UND	96
Inversor onda pura Victron Quattro 12/5 000/220- 100/100 230 VE. Bus	UND	8

Fuente: Autor

#### 4.6.3 Determinar la evaluación económica

Para determinar la evaluación económica el proyecto se estimará a 20 años durará el proyecto, donde primero se determina los costos que involucra su instalación.

Tabla 20 Costo del sistema hibrido

SISTEMA HIBRIDO EOLICO SOLAR				
EQUIPOS	UND	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO (S/.)
Aeolos-H 10KW	UND	2	S/ 10 878,41	S/ 21 756,83
Panel solar 350W 24V policristalino	UND	294	S/ 704,50	S/ 207 122,94
Controlador MPPT RS SmartSolar 450 100 y 450 200	UND	9	S/ 9 168,93	S/ 82 520,33
Bateria Ultracell UZS600	UND	92	S/ 7 665,16	S/ 705 194,87
Inversor Victron Quattro 12/5000/220-100/100 230 VE. Bus	UND	9	S/ 12 401,68	S/ 111 615,12
LED110-4S/840	UND	580	S/ 850,00	S/ 493 000,00
Torre de 12 m, incluyendo de accesorios	UND	2	S/ 7 203,80	S/ 14 407,60
Estructura para 147 paneles solares	UND	2	S/ 8 935,10	S/ 17 870,20
Intalacion del sistema con accesorios	CJ	-	S/ 25 000,00	S/ 25 000,00
TOTAL				S/ 1 678 487,88
Transporte 5%				S/ 83 924,39
Costos indirectos 5%				S/ 83 924,39
Nuevo subtotal				S/ 1 846 336,67
				IGV
				1,18
				TOTAL
				S/ 2 178 677,27

Fuente: Autor

El gasto de mantenimiento será 5% de la total de inversión donde S/21 786.77 soles y habrá un reemplazo de equipos después de diez años por su vida de duración por equipo.

Tabla 21 Costo de reposición de equipos

CAMBIO DE EQUIPOS	10 años
Controlador MPPT RS SmartSolar 450 100 y 450 200	S/ 82 520,33
Inversor Victron Quattro 12/5000/220-100/100 230 VE. Bus	S/ 111 615,12
MONTAJE	S/ 5 000,00
TOTAL	S/ 199 135,45
	S/ 199 135,45
TRANSPORTE	S/ 9 956,77
IGV	1,18
SUBTOTAL	S/ 246 728,82

Fuente: Autor

También se tendrá en cuenta que las lámparas led por vida de duración se cambiará cada 5 años.

Ya teniendo la inversión y el costo de reemplazo se estimará a cuando se venderá la energía donde se aplicará el LCOE para estimar la venta de energía.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}}$$

Donde t es la vida estimada de la instalación, i es la inversión inicial, Mt es el costo de operación, E energía generada y r es la tasa de descuento.

i	2 178 677,27
M*t	21 786,77
E	4 680 305,78

A		B	
	1 964 700,04		4 178 844,44
	1 754 196,46		3 731 111,11
	1 566 246,84		3 331 349,21
	1 398 434,68		2 974 418,93
	1 248 602,39		2 655 731,19
	1 114 823,57		2 371 188,56
	995 378,18		2 117 132,65
	888 730,52		1 890 297,01
	793 509,39		1 687 765,18
	708 490,53		1 506 933,20
	632 580,83		1 345 476,07
	564 804,31		1 201 317,92
	504 289,57		1 072 605,29
	450 258,54		957 683,29
	402 016,55		855 074,37
	358 943,35		763 459,26
	320 485,14		681 660,05
	286 147,44		608 625,04
	255 488,79		543 415,22
	228 114,99		485 192,16
Suma Total=	16 436 242,13	Suma Total=	34 959 280,15

LCOE	SUMA(A)/SUMA(B)	0,47
------	-----------------	------

El costo que tendrá la energía por kWh es de 0,47 Nuevos Soles, ya teniendo el LCOE se procederá a determinar el VAN Y TIR.

Tabla 22 VAN Y TIR

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>EGRESOS</b>	-S/ 2 178 677,27	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 138 728,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 385 457,68
<b>INVERSIÓN</b>	-S/ 2 178 677,27										
<b>REPOSICION DE EQUIPOS</b>						-S/ 29 795,00					-S/ 276 523,82
<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>		-S/ 108 933,86									
<b>INGRESOS</b>		S/ 537 470,54									
<b>VENTA DE ENERGIA</b>		S/ 537 470,54									
<b>BENEFICIO</b>	-2 178 677,27	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 398 741,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 152 012,86

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 138 728,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 108 933,86	-S/ 385 457,68
				-S/ 29 795,00					-S/ 276 523,82
-S/ 108 933,86									
S/ 537 470,54									
S/ 537 470,54									
S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 398 741,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 428 536,68	S/ 152 012,86

Fuente: Autor

TASA DE INTERES	12%
-----------------	-----

VAN	S/ 787 681,94
TIR	18%

El resultado obtenido a partir del VAN vemos que es positivo con un valor de S/ 784 924.13 y un TIR positivo siendo mayoral 12 % en esta ocasión del 18% por consiguiente se puede asegurar que el sistema es rentable.

## V. CONCLUSIONES

- ✓ El estudio fotométrico de la zona permitió conocer los parámetros de iluminación adecuada para la carretera, donde los estudios de las tres lámparas dieron los resultados de una luminancia mayor a los parámetros establecidos por la normativa DGE y permitió conocer la distancia de los mástiles que van de 23 metro a 31 metros, de acuerdo con el cuadro de comparación se pudo verificar que la lámpara de 80 W es la mejor opción para la iluminación de la zona de estudio.
- ✓ Al estimar la capacidad solar y eólica con el software RETScreen y DATA POWER Access se encontró que la radiación es óptima para la instalación de paneles teniendo una radiación en el mes más crítico de 4,47 KW-h/m<sup>2</sup> y mediante la distribución de Weibull se estimó la probabilidad de viento la cual es de 6,62 m/s con una probabilidad del 54% siendo muy beneficio para la instalación de aerogeneradores.
- ✓ Al realizar el dimensionamiento se seleccionó un terreno donde podría se situar el sistema, estando este ubicado en el centro de la carretera que une las dos provincias de Chiclayo y Lambayeque. Para el sistema eólico se seleccionó dos aerogeneradores de la empresa Aeolos-H 10KW, los cuales cubrirán el 28,38% de la demanda, por último, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se trabajó con 294 paneles de 350W 24V policristalino de la empresa ERA SOLAR Perú, los cuales serán puestos en pares y paralelo cubriendo el 71,62% de la demanda restante, así mismo para completar el sistema de generación se contará con 9 controladores, 92 baterías y 8 inversores de onda pura.
- ✓ En la estimación de costos del sistema híbrido eólico-solar, se estimó que para la implementación de este sistema se necesita una inversión de S/ 2 178 677,27 soles con un mantenimiento anual de S/ 21 786,77 soles siendo el 5% de la inversión total y un reemplazo de equipos transcurrido los 10 años por vida de estos es de S/ 857 555,82 soles. Con estos datos se estimó los indicadores de VAN y TIR obteniendo un van de S/ 784 924,13 soles y un TIR superando el 12% en este caso siendo del 18%, por lo que se concluye dando una veracidad que este sistema híbrido será beneficioso.

## VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda hacer un estudio de tendido eléctrico de los vanos existentes en la zona de estudio para lograr que la distribución de intensidad luminosa sea mejor.
- ✓ Se recomienda hacer un análisis de fotometría con lámparas led solares para ver si es viable trabajar con ese tipo de lámparas y así reducir costo de equipamiento.
- ✓ Se propone realizar un estudio de un sistema portátil desplegable basado en sistema fotovoltaico-eólica ubicando en la mediana de las carreteras y ver su viabilidad en la captación de energía.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ROSPA , «Road Safety Information Street Lighting and Road Safety,» Birmingham, 2020.
- [2] M. A. Rahman, M. Y. Mukta, A. Yousuf, A. T. Asyhari, M. Z. Alam Bhuiyan y C. Y. Yaakub, «IoT based Hybrid Green Energy Driven Highway,» *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 1, n° 1, pp. 587-594, 2019.
- [3] C. Vargas , J. Guamán , K. Rodríguez y A. Ríos , «Sistema de Iluminación Fotovoltaico en el Alumbrado Público Gestionado a través de una Plataforma Cloud/GIS,» *Politécnica* , vol. 39, n° 1, pp. 59-66, 2017.
- [4] Osinergmin, «La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país,» LIMA , 2016.
- [5] M. Juanpera, B. Domenech, L. Ferrer-Martí, A. Garzón y R. Pastor, «Renewable-based electrification for remote locations. Does short-term success endure over time? A case study in Peru,» ELSEVIER, Barcelona, 2021.
- [6] Ministerio de Energía y Minas , «Balance Nacional de Energía 2018,» Lima, 2020.
- [7] L. Qi, P. Zheng, X. Wu, W. Duan, L. Li y Z. Zhang, «A hybrid wind-photovoltaic power generation system based on the foldable umbrella mechanism for applications on highways,» *ElSevier*, vol. 208, pp. 368-378, 2020.
- [8] L. C. Kunkel y D. M. Hall, «Improving site assessment tools in emerging technologies: The case of highway vertical-axis wind turbines in the United States,» *ElSevier*, vol. 64, pp. 1-10, 2020.
- [9] R. Ricci, D. Vitali y S. Montelpare, «An innovativewind–solar hybrid street light:development and early testing of a prototype,» *Int. J. Low Carbon Technol.*, pp. 420-429, 2014.
- [10] O. Singhal, S. Kanuparth, S. Hajare, A. Vishwakarma, K. Dev y K. K. Shaw, «Design and optimization of standalone,» *AIP Conference Proceedings*, pp. 2-17, 2021.
- [11] W. R. Nyemba, S. Chinguwa, I. Mushanguri y C. Mbohwa, «Optimization of the design and manufacture of a solar-wind hybrid street light,» *ElSevier*, vol. 35, pp. 285-290, 2019.
- [12] C. Gutiérrez-de Piñeres Botero, Condiciones para el diseño y el registro de estudios con el eye tracker Mobile eye XG, Colombia : Universidad Católica de Colombia, 2019.
- [13] N. s. Website, «NASA SCIENCE SHARE THE SCIENCE,» 10 Agosto 2016. [En línea]. Available: [https://science.nasa.gov/ems/09\\_visiblelight](https://science.nasa.gov/ems/09_visiblelight). [Último acceso: 28 Noviembre 2021].
- [14] G. RUIZ ESPARZA, R. MURRIETA CUMMINGS, Y. MASCOTT PÉREZ, M. ASPE BERNAL, R. RAMÍREZ REYES y C. POON HUNG, MANUAL DE ILUMINACIÓN VIAL, México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2015.
- [15] E. A. Alivés Pérez , Modelación Tridimensional de la Intensidad de Luminarias, Cuenca: Universidad Católica de Cuenca , 2018.

- [16] M. D. E. Y. M. D. G. D. ELECTRICIDAD, «NORMA TÉCNICA DGE “ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS EN ZONAS DE CONCESIÓN DE DISTRIBUCIÓN”,» *MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS*, pp. 1-22, 2002.
- [17] J. Zuleta Gómez, Metodología de diseño de sistemas residenciales de iluminación considerando aspectos técnico-económicos empleando el software especializado DIALUX evo, Lima: INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO, 2015.
- [18] C. A. Salinas Luna, Evaluación de la factibilidad del cambio del sistema de Generación eléctrica actual, por un sistema híbrido solar fotovoltaico y GLP en el cluster PS1, Bogota: Fundación Universidad de América, 2020.
- [19] . D. E. Díaz Avello, Factibilidad de un sistema híbrido de energías renovables solar y eólica para control de temperatura, Santiago de Chile: Universidad Andrés Bello, 2018.
- [20] O. PERPIÑÁN LAMIGUEIRO, ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica, España: Creative Commons, 2020.
- [21] M. Pérez Martínez, I. C. Morales Rodríguez y E. Castro, «The hour equivalent solar pick, definition and interpretation,» *Revista de Ingeniería Energética*, vol. 38, pp. 124-131, 2017.
- [22] M. Obispo Alonso , Estudio de la rentabilidad de la reutilización de paneles solares en pequeñas plantas fotovoltaicas, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2021.
- [23] L. V. Cueva Barraqueta , Diseño y construcción de un generador eólico de eje vertical tipo Savonius para producir 20 watts, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [24] F. . Z. Joyce Lee, «GWEC | GLOBAL WIND REPORT 2019,» *GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL*, pp. 1-78, 2019.
- [25] O. A. Morfín Garduño, A. E. Quezada Carreón, . M. . I. Castellanos García, A. Gándara Fernández, A. Castro Vázquez y J. H. N. Padilla Franc, «Diseño de un Sistema de Control Descentralizado de un sistema Eólico emulado con un grupo MOTOR CD-GENERADOR CA,» *Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*, vol. 16, nº 1, pp. 1-34, 2015.
- [26] F. Eraso Checa, E. Escobar Rosero, D. Fernando Paz y C. Morales, «Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres - Nariño,» *La Científica*, vol. 31, nº 1, pp. 19-31, 2017.
- [27] D. E. MOYANO CAMARGO y C. . E. PINZÓN CASALLAS, DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE TURBINA EÓLICA DE EJE VERTICAL PARA PRUEBAS DE LABORATORIO, Bogota: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA , 2018.
- [28] M. Molina Galindo, Diseño de un aerogenerador que permita generar energía eléctrica en el colegio Ofelia Uribe de Acosta, comunidad de Yomasa, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2016.
- [29] H. . E. Burbano Rodríguez, Impacto de la generación eléctrica con fuentes de energía eólica interconectadas a la red eléctrica, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2020.
- [30] HOMER® Energy, HOMER® Pro Version 3.7, Boulder: All rights reserved, 2016.

## VIII ANEXO

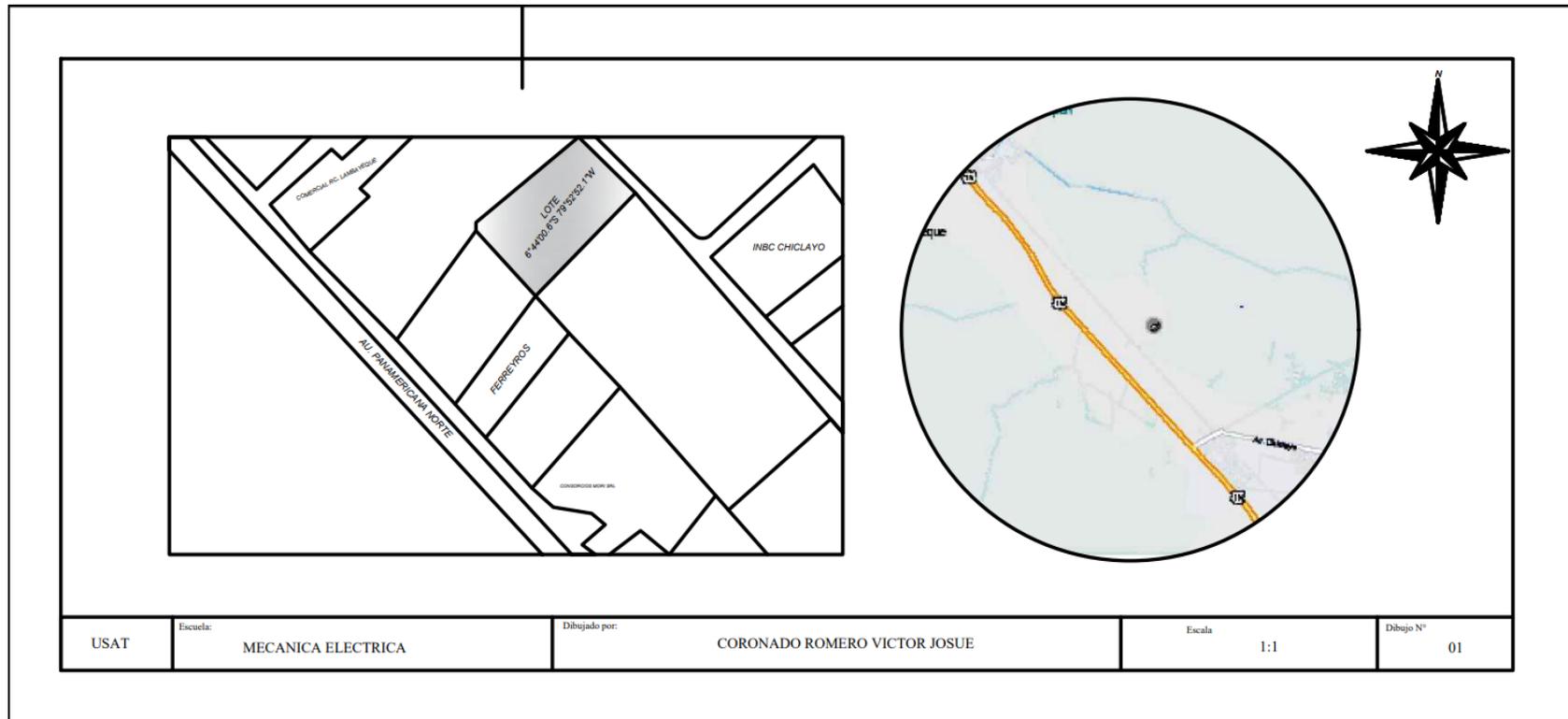


FIGURA 01 ANEXO 01- Plano de ubicación

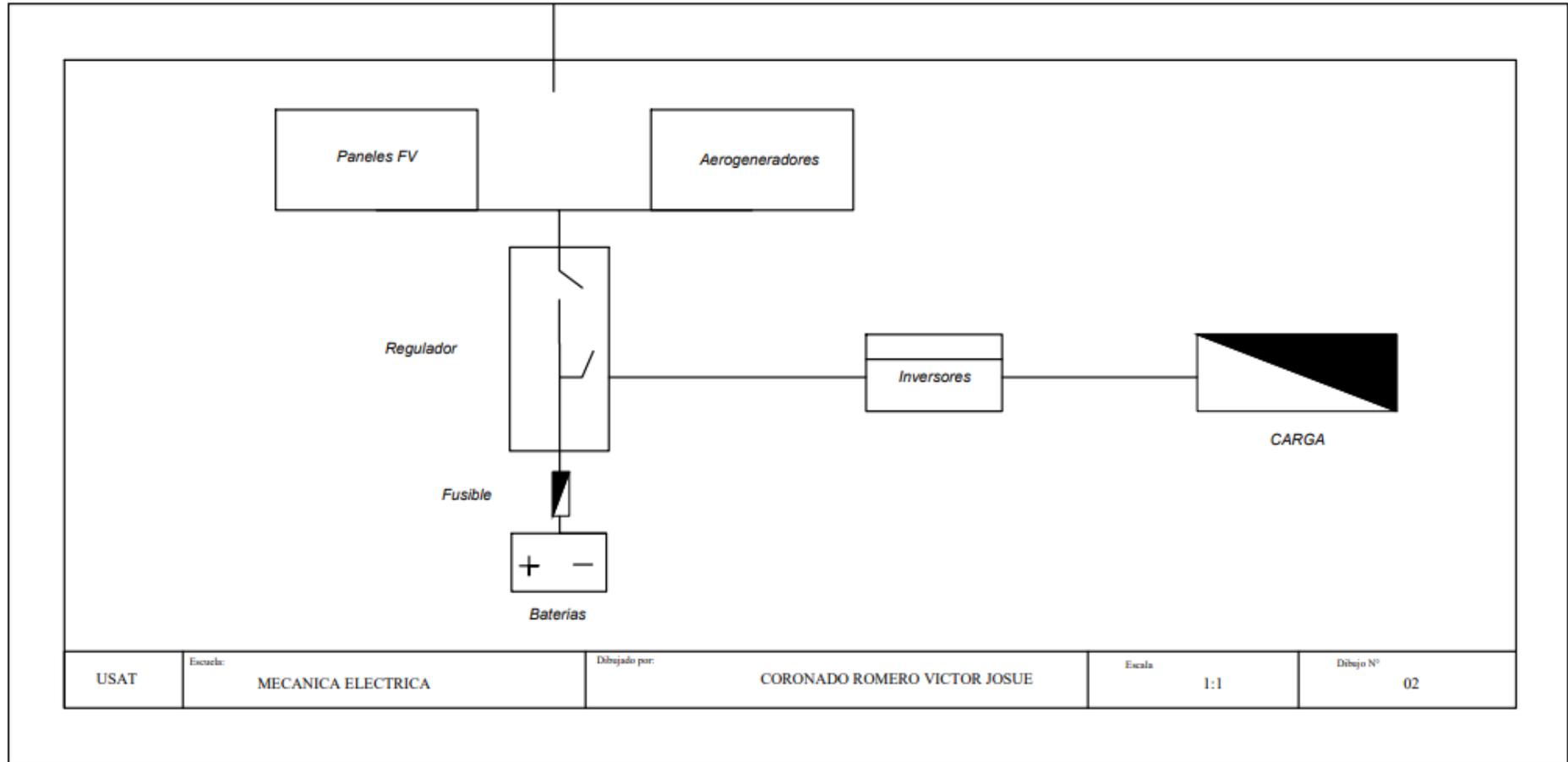


FIGURA 02 ANEXO 02- Diagrama del sistema hibrido

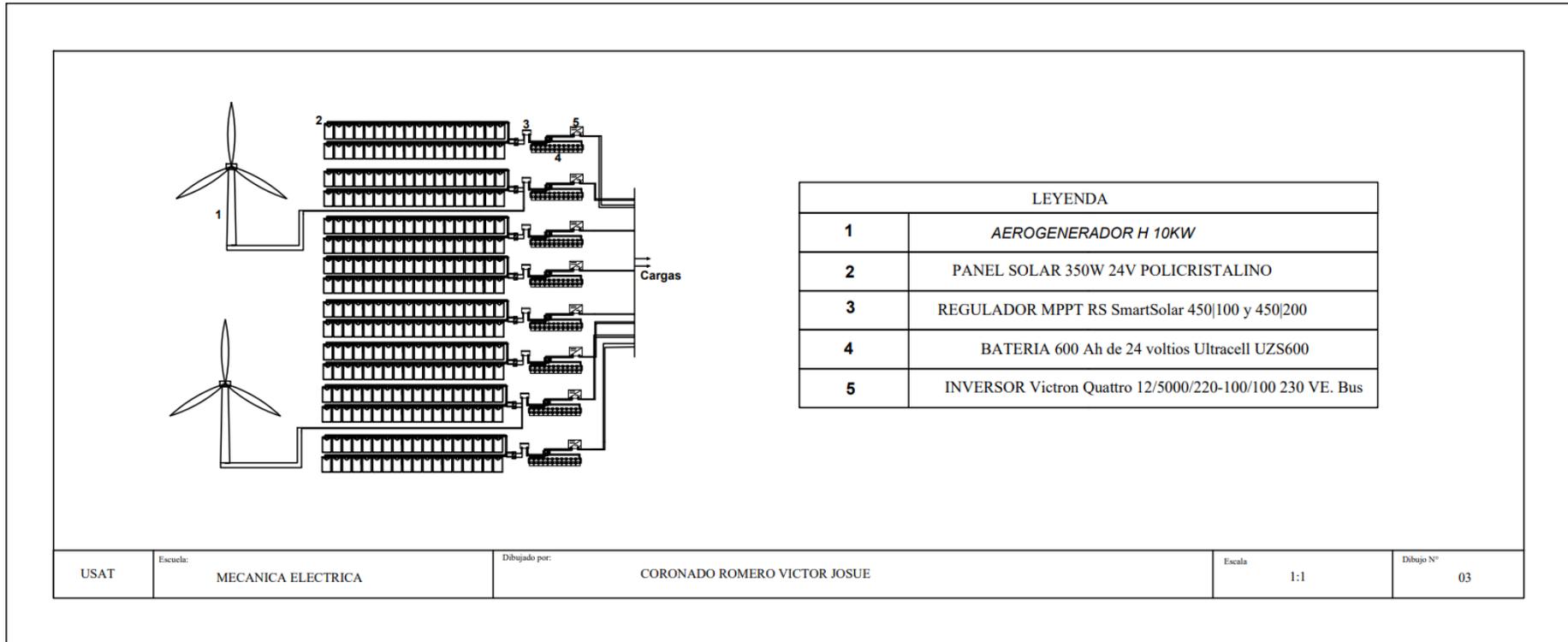


FIGURA 03 ANEXO 03- Diagrama del sistema hibrido

**ELECTRICAL DATA AT STC\***

Power output (Pmax)	330 W	335 W	340 W	345 W	350 W
Power tolerance	0-+5 W				
Module efficiency	17.01 %	17.27 %	17.52 %	17.78 %	18.04 %
Maximum power voltage (Vmp)	37.93 V	38.15 V	38.42 V	38.68 V	38.93 V
Maximum power current (Imp)	8.70 A	8.78 A	8.85 A	8.92 A	8.99 A
Open circuit voltage (Voc)	46.11 V	46.32 V	46.58 V	46.85 V	47.12 V
Short circuit current (Isc)	9.10 A	9.16 A	9.23 A	9.31 A	9.38 A

\*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m<sup>2</sup> • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

**ELECTRICAL DATA AT NMOT\***

Power output (Pmax)	244.13 W	247.83 W	251.53 W	255.23 W	258.92 W
Maximum power voltage (Vmp)	35.03 V	35.23 V	35.48 V	35.72 V	35.96 V
Maximum power current (Imp)	6.96 A	7.02 A	7.08 A	7.14 A	7.19 A
Open circuit voltage (Voc)	42.80 V	43.00 V	43.24 V	43.49 V	43.74 V
Short circuit current (Isc)	7.39 A	7.44 A	7.49 A	7.56 A	7.61 A

\*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m<sup>2</sup> • Ambient temperature: 20°C  
• AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

**MECHANICAL CHARACTERISTICS**

Cell type	Polycrystalline (156.75x156.75mm)
Number of cells	72
Dimensions	1956x992x40mm
Weight	22.8 kg
Glass	3.2 mm tempered glass, High transmission (>94%), Anti-Reflective Coating
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68 rated (3 by pass diodes)
Cable	4mm <sup>2</sup> , 900mm (+) 900mm (-); Length can be customized
Connector	MC4 or MC4 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.396%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

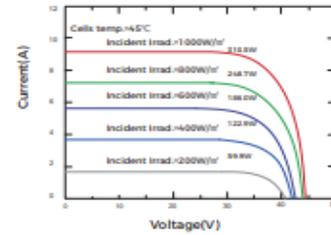
**MAXIMUM RATINGS**

Operating temperature range	-45 °C --+85 °C
Maximum system voltage	1500V/DC(IEC) 1500V/DC(UL)
Max series fuse rating	25 A

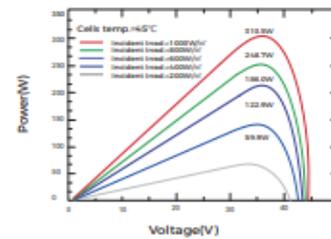
**PACKAGING (1956x992x40mm)**

Type	Pcs	Weight
Per Pallet	27 pcs	650 kg
40ft HQ Container	720 pcs	17.3 t

**PV MODULE : EGE-350W-72M**



**PV MODULE : EGE-350W-72M**



**Dimension of PV Module (mm)**

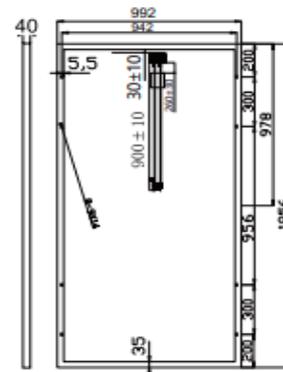


Figura 04 Anexo 04- Características del panel solar



**Aeolos-H 10KW**  
windturbinestar.com



**Turbine**

Rated power: 10 kW  
 Max Power: 13kW  
 Cut-in wind speed: 3 m/s (6.7 mph)  
 Rated Wind speed: 10m/s (22.3 mph)  
 Survival wind speed: 45m/s (100.7 mph)  
 Design lifetime: 20 years  
 Overall weight: 420kg (925.9 lbs)

**Rotor**

Rotor diameter: 8.0 m (26.2 ft)  
 swept area: 50.2m<sup>2</sup> (538.9 ft<sup>2</sup>)  
 Rotor speed: 180 rpm  
 Blade material: Glass Fiber

**Generator**

Drive Type: Direct Drive (Without Gearbox )  
 Generator Type: Permanent Magnet Generator  
 Generator Voltage: 200V-450V  
 Efficiency: 95%

**Controller**

Control System: PLC with Touch Screen  
 Remote Monitoring: Optional

**Safety**

Main Brake System: Yaw Control & Electronic Brake  
 Secondary Brake System: Mechanical Hydraulic Brake

**Tower**

Monopole Tower: 12m 18m 24m 30m  
 Hydraulic Tower: 12m 18m 24m

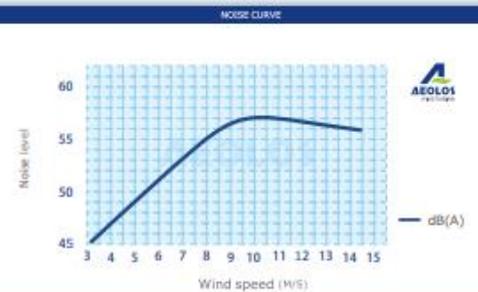
**Warranty**

Standard warranty: 5 years

**Wind Speed/ Power Curve**



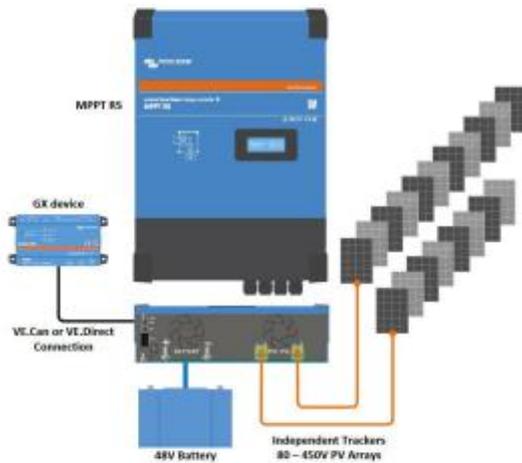
**NOISE CURVE**



Aeolos-H 10kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	342	920	1860	2926	4200	6000	8200	10080
Annual Energy Output(kwh)	2996	8059	16294	25632	36792	52560	71832	88301

**5 YEAR WARRANTY**  

Figura 05 Anexo 05- Características del aerogenerador



**Diagrama de ejemplo de sistema**  
El MPPT RS de 100 A combinado con un dispositivo GX, cargando una batería de 48 V con dos cadenas FV solares separadas.

**Portal VRM**

Cuando el MPPT RS esté conectado a un dispositivo GX con conexión a Internet, o al GlobalLink 520 con conectividad 4G integrada, podrá acceder a nuestro sitio web gratuito de seguimiento a distancia (VRM). Le mostrará todos los datos de su sistema en un completo formato gráfico. Se pueden recibir alarmas por correo electrónico.



MPPT RS SmartSolar aislado		
	-450/100	-450/200
<b>CARGADOR</b>		
Tensión de la batería	48 V	
Corriente de carga nominal	100 A	200 A
Potencia de carga máxima	5,8 kW a 57,6 V	11,5 kW a 57,6 V
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 57,6 V (regulable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 55,2 V (regulable)	
Rango de tensión programable	Mínima: 36 V Máxima: 60 V <sup>(1)</sup>	
Algoritmo de carga	Adaptativo multifase (regulable)	
Sensor de temperatura de la batería	Incluido	
Eficiencia máxima	96 %	
Autoconsumo	15 mA	
<b>SOLAR</b>		
Tensión FV CC máxima	450 V	
Tensión de arranque	120 V	
Rango de tensión de trabajo del MPPT	80 – 450 V <sup>(1)</sup>	
Número de rastreadores	2	4
Máxima corriente de entrada operativa FV	18 A por rastreador	
Máxima corriente de corto circuito FV <sup>(2)</sup>	20 A por rastreador	
Máxima potencia de carga de salida CC	4000 W por rastreador 5760 W total	4000 W por rastreador 11520 W total
Tamaño máximo del conjunto FV por rastreador <sup>(3)</sup>	7200 Wp (450 V x 20 A) <sup>(4)</sup>	
Nivel de fallo del aislamiento FV <sup>(5)</sup>	100 kΩ	
<b>GENERAL</b>		
Funcionamiento en paralelo sincronizado	Sí, hasta 25 unidades con VE.Can	
Relé programable <sup>(6)</sup>	Sí	
Protección	Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida Sobretensión	
Comunicación de datos	Puerto VE.Direct, puerto VE.Can y Bluetooth (6)	
Frecuencia Bluetooth	2402 – 2480 MHz	
Potencia Bluetooth	4 dBm	
Puerto de entrada analógico/digital de uso general	Sí, 2	
On/Off remoto	Sí	
Rango de temperatura de trabajo	-40 a +60°C (refrigerado por ventilador)	
Humedad (sin condensación)	máx. 95%	
<b>CARCASA</b>		
Material y color	acero, azul RAL 5012	
Grado de protección	IP21	
Conexión de la batería	Pernos M8	
Terminales de conexión entrada FV	2,5...16 mm <sup>2</sup>	
Peso	7,9 kg	13,7 kg
Dimensiones (al x an x p) en mm	440 x 313 x 126	487 x 434 x 146
<b>NORMAS</b>		
Seguridad	EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2	
País de origen	Diseñado en los Países Bajos Fabricado en India	

- 1) El rango de funcionamiento del MPPT está limitado por la tensión de la batería - VOC FV no debe superar la tensión de flotación de la batería multiplicada por 8. Por ejemplo, para una tensión de flotación de 52,8 V, sería una VOC FV máxima de 422,4 V. Para más información, consulte el manual del producto.
- 2) Una corriente de cortocircuito más alta podría dañar el controlador en caso de que el conjunto FV se haya conectado con polaridad inversa.
- 3) Máximo de 450 VOC resulta en 360 Wmp aprox., por lo que el conjunto FV máximo es de aprox. 360 V x 20 A = 7200 Wp.
- 4) El MPPT RS comprobará si hay suficiente aislamiento relativo entre FV+ y GND y FV- y GND. En caso de resistencia inferior al umbral, la unidad dejará de cargar, mostrará el error y enviará la señal de error al dispositivo GX (si está conectado) para que se envíe una notificación sonora y por correo electrónico.
- 5) Relé programable que puede configurarse como alarma general, subtensión CC o función de arranque/parada del generador. Capacidad nominal CC: 4 A hasta 35 VCC y 1 A hasta 70 VCC.
- 6) Actualmente el MPPT RS no es compatible con las redes VE.Smart.
- 7) El punto de referencia del cargador (flotación y absorción) puede fijarse en un máximo de 60 V. La tensión de salida en los terminales del cargador puede ser mayor, debido a la compensación de temperatura y a la compensación por la caída de tensión en los cables de la batería. La máxima corriente de salida se reduce de forma lineal de corriente completa a 50 V a 5 A a 62 V. La tensión de equalización puede fijarse en un máximo de 62 V y el porcentaje de corriente de equalización puede fijarse en un máximo del 6 %.

Figura 06 Anexo 06- Características del controlador

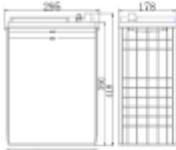
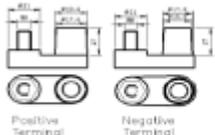
UZS600-6		Physical Specification		
		Part Number	UZS600-6	
		Length	295 ± 2 mm	
		Width	178 ± 2 mm	
		Container Height	405 ± 2 mm	
		Total Height (with terminal)	408 ± 2 mm	
		Without Electrolyte	34.5 kg	
		With Electrolyte	52.0 kg	
Specifications				
	Nominal Voltage	6V		
	Nominal Capacity (120HR)	600AH		
<b>Terminal Type</b>	Standard Terminal	F22		
<b>Container Material</b>	Standard Option	ABS		
<b>Rated Capacity</b>	120hr, 1.80V/cell, 25°C	600.0 AH/ 5.00A		
	100hr, 1.80V/cell, 25°C	550.0 AH/ 5.50A		
	10hr, 1.80V/cell, 25°C	360.0 AH/ 36.0A		
	5hr, 1.75V/cell, 25°C	324.0 AH/ 64.8A		
	1hr, 1.60V/cell, 25°C	202.0 AH/ 202A		
<b>Max Discharge Current</b>	1300A (5s)			
<b>Internal Resistance</b>	Approx 2.5m Ω			
<b>Discharge Characteristics</b>	Operating Temp. Range	Discharge: -15°C~50°C(5°F~122°F)		
		Charge: -10°C~50°C(14°F~122°F)		
		Storage: -20°C~50°C(-4°F~122°F)		
	Nominal Operating Temp. Range	25±3°C		
	Float Charging Voltage (25°C)	6.60 ~ 6.72V at 25°C Temp. Coefficient -18mV/°C		
	Cycle Charging Voltage (25°C)	7.05 ~ 7.20V at 25°C Temp. Coefficient -30mV/°C		
	Capacity affect by Temperature (10HR)	40°C	102%	
		25°C	100%	
		0°C	85%	
		-15°C	65%	
<b>Design Floating Life at 20°C</b>	20 Years			
<b>Self Discharge</b>	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.			
Dimensions				
<b>F22 Terminal</b> 				
				

Figura 07 Anexo 07- Características de baterías

Quattro	12/3000/120-50/50 24/3000/70-90/90	12/5000/220-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/8000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
PowerControl / PowerAssist	Yes				
Integrated Transfer switch	Yes				
AC inputs (2x)	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz Power factor: 1				
Maximum feed through current (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
<b>INVERTER</b>					
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Output (1)	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1%				
Cont. output power at 25°C (VA) (3)	3000	5000	8000	10000	15000
Cont. output power at 25°C (W)	2400	4000	6500	8000	12000
Cont. output power at 40°C (W)	2200	3700	5500	6500	10000
Cont. output power at 65°C (W)	1700	3000	3600	4500	7000
Peak power (W)	6000	10000	16000	20000	25000
Maximum efficiency (%)	93 / 94	94 / 94 / 95	94 / 95	96	96
Zero load power (W)	20 / 20	30 / 30 / 35	60 / 60	60	110
Zero load power in AES mode (W)	15 / 15	20 / 25 / 30	40 / 40	40	75
Zero load power in Search mode (W)	8 / 10	10 / 10 / 15	15 / 15	15	20
<b>CHARGER</b>					
Charge voltage 'absorption' (V DC)	14,4 / 28,8	14,4 / 28,8 / 57,6	28,8 / 57,6	57,6	57,6
Charge voltage 'float' (V DC)	13,8 / 27,6	13,8 / 27,6 / 55,2	27,6 / 55,2	55,2	55,2
Storage mode (V DC)	13,2 / 26,4	13,2 / 26,4 / 52,8	26,4 / 52,8	52,8	52,8
Charge current house battery (A) (4)	120 / 70	220 / 120 / 70	200 / 110	140	200
Charge current starter battery (A)	4 (12V and 24V models only)				
Battery temperature sensor	Yes				
<b>GENERAL</b>					
Auxiliary output (A) (5)	25	50	50	50	50
Programmable relay (6)	3x	3x	3x	3x	3x
Protection (2)	a-g				
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration				
General purpose com. port	2x	2x	2x	2x	2x
Remote on-off	Yes				
Common Characteristics	Operating temp.: -40 to +65°C Humidity (non-condensing): max. 95%				
<b>ENCLOSURE</b>					
Common Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection category: IP 21				
Battery-connection	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)				
230 V AC-connection	Screw terminals 13 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Bolts M6	Bolts M6	Bolts M6	Bolts M6
Weight (kg)	19	34 / 30 / 30	45 / 41	51	72
Dimensions (boxed in mm)	362 x 258 x 218	470 x 350 x 280 444 x 328 x 240 444 x 328 x 240	470 x 350 x 280	470 x 350 x 280	572 x 488 x 344
<b>STANDARDS</b>					
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1				
Emission, Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3				
Road vehicles	12V and 24V models: ECE R10-4				
Anti-islanding	See our website				
1) Can be adjusted to 60 Hz; 120 V 60 Hz on request					
2) Protection key:	3) Non-linear load, crest factor 3:1				
a) output short circuit	4) At 25 °C ambient				
b) overload	5) Switches off when no external AC source available				
c) battery voltage too high	6) Programmable relay that can a.s. be set for general alarm,				
d) battery voltage too low	DC under voltage or genset start/stop function				
e) temperature too high	AC rating: 230 V / 4 A				
f) 230 VAC on inverter output	DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1 A up to 60 VDC				
g) input voltage ripple too high					



**Digital Multi Control Panel**  
A convenient and low cost solution for remote monitoring, with a rotary knob to set PowerControl and PowerAssist levels.



**VE.Bus Smart Dongle**  
Measures battery voltage and temperature and allows monitoring and control of Multis and Quattros with a smartphone or other Bluetooth enabled device.



#### Computer controlled operation and monitoring

Several interfaces are available:



**Color Control GX and other GX devices**  
Monitoring and control. Locally, and also remotely on the [VRM Portal](#).



**MK3-USB (VE.Bus to USB interface)**  
Connects to a USB port [\(see 'A guide to VECConfigure'\)](#)



**VE.Bus to NMEA 2000 interface**  
Connects the device to a NMEA2000 marine electronics network. See the [NMEA2000 & MFD integration guide](#)



#### BMV-712 Smart Battery Monitor

Use a smartphone or other Bluetooth enabled device to:

- customize settings,
- monitor all important data on single screen,
- view historical data, and to
- update the software when new features become available.

Figura 08 Anexo 08- Características del inversor de carga