



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad educativa al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“Análisis Técnico - Económico de un sistema híbrido de baja
potencia eólico solar conectado a la red”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: GEOVANNY MARTIN PESANTEZ NARVAEZ

DIRECTOR: ING. JAVIER BERNARDO CABRERA MEJÍA MGS.

MATRIZ CUENCA

2020

DECLARACIÓN

Yo, Geovanny Martin Pesantez Narváez declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



Geovanny Martin Pesantez Narváez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Geovanny Martin Pesantez Narváez bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'J' followed by 'Cabrera M. Mgs.' in a cursive script.

Ing. Javier Cabrera M. Mgs.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios, por todas las bendiciones que me ha regalado en el transcurso de mi vida y poner en mi camino a todas las personas que colocaron su granito de arena para concluir esta meta.

A la Universidad Católica de Cuenca Facultad de Ingeniería eléctrica, en especial al Ing. Javier Cabrera M. que a más de ser el tutor y amigo con el apoyo y comprensión brindado.

DEDICATORIA

A mi esposa que ha estado allí en todo momento de mi vida apoyándome desde nuestra unión ante Dios, y para ti mi hijo/a que te estamos esperando con todo el amor del mundo para disfrutar nuestra nueva labor de padres.

A mis padres Marcelo y Mariana que con su ejemplo aprendí que el esfuerzo y paciencia se puede lograr todo en esta vida.

A mis hermanas Marcela y Sara que siempre ha estado en mi caminar en los buenos y malos momentos, a mis sobrinos Idania, David, Matías y Ariana que son la luz de mis ojos.

INDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA.....	v
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEn	xiv
ABSTRACT	xv
Capítulo 1: marco teórico.....	1
1.1 Sistemas híbridos.	1
1.1.1 Sistema hibrido autónomo.	2
1.1.2 Sistemas híbridos conectados a la red eléctrica.....	3
1.1.2.1 Características.....	4
1.1.2.2 Normativa y marco legal nacional de un sistema conectado a la red.	4
1.2 Los aerogeneradores.....	5
1.2.1 Componentes de los aerogeneradores	6
1.2.2 Parámetros característicos de un aerogenerador.....	7
1.3 Los paneles fotovoltaicos.....	8
1.3.1 Parámetros característicos de los paneles fotovoltaicos	8
1.3.2 Factores de pérdida de un panel fotovoltaico	9
1.4 Los reguladores o controladores de carga.....	10
1.5 Inversores	12
1.6 Medidores de energía	14
CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL.....	16
2.1 Cálculo de la demanda de energía.	16
2.1.1 Zona de estudio.....	16
2.1.2 Determinación de la demanda energética.	17
2.1.2.1 Características del lugar y cargas presentes.....	17
2.1.2.2 Determinación de la demanda de potencia y energía.	20
2.2 Evaluación del recurso energético.	25
2.2.1 Evaluación del recurso eólico.....	25
2.2.1.1 Evaluación de datos de velocidad de viento.....	25
2.2.1.2 Análisis estadístico.	35
2.2.1.3 Determinación de parámetros estadísticos.....	36
2.2.2 Evaluación del recurso solar.....	37
CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	51
3.1 Tratamiento de excedentes energéticos	51

3.2 Dimensionamiento del sistema híbrido	51
3.3 Selección de equipos del sistema híbrido	56
3.4 Montaje de equipos.....	67
3.5 Presupuesto del sistema híbrido.....	69
3.5.1 Presupuesto de equipos principales (tabla 40)	69
3.5.2 Presupuesto del sistema eléctrico (Tabla 41).....	70
3.5.3 PRESUPUESTO DE ESTRUCTURAS (TABLA 42)	71
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
4.1 Conclusiones	75
4.2 Recomendaciones.	76
REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS	77
Anexos	82

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Potencial eólico en el Ecuador.....	2
Figura 2: Potencial Solar Ecuador.....	2
Figura 3: Sistema hibrido eólico fotovoltaico autónomo.....	3
Figura 4: Sistema hibrido conectado a la red eléctrica.....	3
Figura 5: Principales componentes de un aerogenerador.....	7
Figura 6: Esquema eléctrico de un panel fotovoltaico.....	8
Figura 7: Curva tensión, corriente y potencia de un módulo fotovoltaico.....	9
Figura 8: Diagrama de conexión controlador Tristar TS-60 para un sistema de generación híbrida.....	12
Figura 9: Tipos de onda de salida de inversores comerciales.....	13
Figura 10: Medidor bidireccional.....	14
Figura 11: Medidor bidireccional diagrama de conexión.....	15
Figura 12: Ubicación de la zona de estudio.....	16
Figura 13. Comportamiento del viento en la zona de estudio.....	18
Figura 14. Comportamiento de la radiación solar en la zona de estudio.....	18
Figura 15. Consumo de carga promedio-lunes.....	22
Figura 16. Consumo de carga promedio-martes.....	22
Figura 17. Consumo de carga promedio-miércoles.....	22
Figura 18. Consumo de carga promedio-jueves.....	23
Figura 19. Consumo de carga promedio-viernes.....	23
Figura 20. Consumo de carga promedio-sábado.....	24
Figura 21. Consumo de carga promedio-domingo.....	24
Figura 22. Comportamiento anual de la velocidad máxima del viento (m/s) en el centro de Investigación.....	27
Figura 23. Comportamiento promedio de la velocidad promedio del viento diario en los meses de enero a agosto.....	27
Figura 24. Comportamiento promedio de la velocidad de viento promedio diario en el mes de enero.....	28
Figura 25. Comportamiento promedio de la velocidad de viento promedio diario en el mes de febrero.....	28
Figura 26. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de marzo.....	29
Figura 27. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de abril.....	29

Figura 28. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de mayo.....	30
Figura 29. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de junio.....	30
Figura 30. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de julio.....	31
Figura 31. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de agosto.....	31
Figura 32. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de enero.....	32
Figura 33. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de febrero.....	32
Figura 34. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de marzo.....	33
Figura 35. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de abril.....	33
Figura 36. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de mayo.....	34
Figura 37. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de junio.....	34
Figura 38. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de Julio.....	35
Figura 39. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de agosto.....	35
Figura 40. Comportamiento mensual del viento	37
Figura 41. Comportamiento mensual de la turbulencia del viento	37
Figura 42. Comportamiento de Irradiancia global diaria, enero 2019.....	39
Figura 43. Comportamiento de Irradiancia global diaria, febrero 2019.....	40
Figura 44. Comportamiento de Irradiancia global diaria, marzo 2019.....	41
Figura 45. Comportamiento de Irradiancia global diaria, abril 2019.....	42
Figura 46. Comportamiento de Irradiancia global diaria, mayo 2019.....	43
Figura 47. Comportamiento de Irradiancia global diaria, junio 2019.....	44
Figura 48. Comportamiento de Irradiancia global diaria, julio 2019.....	45
Figura 49. Comportamiento de Irradiancia global diaria, agosto 2019.....	46
Figura 50. Comportamiento de las HSP, enero 2019	46
Figura 51. Comportamiento de las HSP, febrero 2019.....	47
Figura 52. Comportamiento de las HSP, marzo 2019	47
Figura 53. Comportamiento de las HSP, abril 2019	48

Figura 54. Comportamiento de las HSP, mayo 2019	48
Figura 55. Comportamiento de las HSP, junio 2019.....	49
Figura 56. Comportamiento de las HSP, julio 2019.....	49
Figura 57. Comportamiento de las HSP, agosto 2019	50
Figura 58. Dimensionamiento de un sistema híbrido.....	52
Figura 59. Curva de generación del aerogenerador.....	53
Figura 60. Datos de placa del módulo fotovoltaico ECO GREEN ENERGY 350 W.....	60
Figura 61. Datos de placa del Aerogenerador Zonhan de 600W.....	62
Figura 62. Datos de placa de las Baterías Sunbright.	66
Figura 63. Ubicación del aerogenerador en la azotea del edificio.	68
Figura 64. Ubicación de los paneles solares en la azotea del edificio.	68
Figura 65.Laboratorio de simulación de tiempo real distribución de tomacorrientes.....	85
Figura 66. Laboratorio de simulación de tiempo real CIITT distribución de iluminación.....	86
Figura 67.Diagrama unifilar del sistema de generación híbrido.	87
Figura 68.lugar de instalación del aerogenerador y sistema de generación híbrida.....	88
Figura 69. Instalación y medición del controlador de aerogenerador.....	88
Figura 70. Instalación de tablero del sistema híbrido.....	89
Figura 71. Montaje e instalación del tablero de sistema de generación híbrida.....	89
Figura 72. Instalación de banco de baterías.....	90
Figura 73. Conexión del aerogenerador al tablero del sistema híbrido.....	90
Figura 74: Medición de Voltaje en AC del sistema de generación híbrido	91
Figura 75: Medición de la corriente AC del sistema de generación híbrida.....	91
Figura 76. Medición de voltaje en CD del sistema de generación híbrido.....	92
Figura 77: Medición de corriente DC en el sistema de generación híbrido.	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios de Clasificación de aerogeneradores.	5
Tabla 2. Datos geográficos del Centro de Investigación, Innovación y transferencia tecnológica (CITT)	17
Tabla 3. Áreas de trabajo del Laboratorio de Simulación en Tiempo Real	18
Tabla 4. Cargas presentes en el Área 1.....	19
Tabla 5. Cargas presentes en el Área 2.....	19
Tabla 6. Cargas presentes en el Área 3.....	20
Tabla 7. Información detallada de las cargas presentes en el Laboratorio de Simulación en Tiempo Real CIITT.....	20
Tabla 8. Consumo diario de las cargas bajo estudio en kWh	21
Tabla 9. Potencia máxima y potencia promedio de consumo.....	25
Tabla 10. Velocidad del viento de enero a agosto [m/s]	26
Tabla 11. Determinación de parámetros estadísticos del viento.....	36
Tabla 12. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m ²], enero 2019.....	38
Tabla 13. Irradiancia global diaria máxima [W/m ²], enero 2019,.....	38
Tabla 14. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m ²], febrero 2019.....	39
Tabla 15. Irradiancia global diaria máxima [W/m ²], febrero 2019,.....	39
Tabla 16. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m ²], marzo 2019.	40
Tabla 17. Irradiancia global diaria máxima [W/m ²], marzo 2019,.....	40
Tabla 18. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m ²], abril 2019.	41
Tabla 19. Irradiancia global diaria máxima [W/m ²], abril 2019,	41
Tabla 20. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m ²], mayo 2019.	42
Tabla 21. Irradiancia global diaria máxima [W/m ²], mayo 2019,	42
Tabla 22. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m ²], junio 2019.....	43
Tabla 23. Irradiancia global diaria máxima [W/m ²], junio 2019,	43
Tabla 24. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m ²], julio 2019.....	44
Tabla 25. Irradiancia global diaria máxima [W/m ²], julio 2019,	44
Tabla 26. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m ²], agosto 2019.	45
Tabla 27. Irradiancia global diaria máxima [W/m ²], agosto 2019,	45
Tabla 28. Determinación de la energía producida mediante el método de distribución de Weibull.....	54
Tabla 29. Resumen de Generación vs Consumo energético	55
Tabla 30. Numero de aerogeneradores y paneles solares necesarios para cubrir toda la demanda del laboratorio de simulación en tiempo real.....	55
Tabla 31. Consumo energético mensual.....	57
Tabla 32. Equipos utilizados en el sistema hibrido.	58
Tabla 33. Datos Generales del módulo fotovoltaico ECO GREEN ENERGY 350 W.....	58

Tabla 34. Datos Generales del Aerogenerador Zonhan de 600W.....	61
Tabla 35. Datos generales del Inversor Zonhan 500W.....	63
Tabla 36. Datos Generales del controlador Tristar	64
Tabla 37. Datos Generales de las Baterías Sunbright.....	65
Tabla 38. Característica Técnicas de los paneles LED marca LEDEX 650x650	66
Tabla 39 . Mediciones del sistema híbrido.	69
Tabla 40. Presupuesto de los equipos principales del sistema híbrido.....	69
Tabla 41. Presupuesto de los materiales que conforman el sistema Híbrido.....	70
Tabla 42. Presupuesto de las estructuras de soporte de los equipos.....	71
Tabla 43. Costo de Inversión del sistema híbrido bajo estudio.....	72
Tabla 44. Validación económica del proyecto	73

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Normativa y Marco legal.	82
Anexo 2: laboratorio de simulación en tiempo real CIITT circuitos de tomacorrientes e iluminación.....	85
Anexo 3: Diagrama unifilar del sistema hibrido bajo estudio.	87
Anexo 4: Montaje de equipos.....	88
Anexo 5. Mediciones de Corrientes y voltajes del sistema de generación hibrido	91

RESUMEN

Esta investigación se enfoca en realizar un análisis técnico-económico de un sistema de generación híbrido mediante el uso de recursos energéticos renovables y con conexión directa a la red. El estudio es realizado en el Centro de investigación, innovación y transferencia de tecnología (CIITT) con dos tipos de recursos renovables, para este caso energía eólica y solar.

En el CIITT se instaló la estación meteorológica en la cual se realiza la toma de datos de radiación solar arrojando como resultados una radiación promedio de 319.25 W/m² y una hora solar pico alrededor de 4 horas, con respecto a la velocidad del viento se obtuvo un promedio de 1.59 m/s. En base a los valores obtenidos del recurso primario se realiza el cálculo de la energía que entregará los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador, de las cuales se obtiene 17.96% y 13.98% de la energía producida.

El siguiente proceso es el cálculo del consumo total del laboratorio 2 del CIITT dando como resultado una carga de 6246.24 kWh anuales, esta demanda será cubierta por 3 aerogeneradores y 8 paneles fotovoltaicos con una potencia nominal de 600W y 350W respectivamente. En el caso de estudio se realiza el análisis para el 22.44% de la demanda total la cual es abastecida con un aerogenerador y 2 paneles fotovoltaicos con la potencia mencionada anteriormente.

Después de seleccionar los componentes de la instalación en base a cálculos de la energía producida se procede a realizar una evaluación económica de la cual se obtuvo que el costo de la inversión del sistema es de \$3169.3. En base a la energía producida del sistema híbrido y en función de costo de energía que según la normativa nacional dispuesta por el ARCONEL es de \$ 0.0933 se obtiene un ingreso de 119.95 a esto se le resta los costos de operación y mantenimiento que según la normativa internacional IRENA es de 0.0142 \$/kWh dando un egreso de \$18.256, en función a estos resultados se obtiene un valor actual neto (VAN) de \$-2002.3 con lo cual el proyecto no es viable económicamente.

Desde el punto vista ambiental el proyecto es totalmente viable ya que se evita la emisión de 892.86 toneladas de CO₂ al año.

Palabras clave: GENERACION EOLICA, GENERACION SOLAR, DEMANDA ENERGETICA, ENERGIAS RENOVABLES, SISTEMA HIBRIDO

ABSTRACT

This research addresses a technical and economic analysis of a hybrid power supply system based on a direct link to the grid and using renewable energy resources. The study was carried out at the Research, Innovation and Technology Transfer Institute (CIITT) with two kinds of renewable resources, such as wind and solar energy.

At CIITT, a weather station was set up to record solar radiation data, giving an average radiation of 319.25 W/m² and a solar peak hour of about 4 hours, regarding wind speed obtaining an average of 1.59 m/s. Based on the values taken from the main resource, calculating the energy that will be delivered by the photovoltaic panels and the wind turbine, obtaining 17.96% and 13.98% of the generated energy.

The subsequent process is to calculate the total consumption of the CIITT's number 2 laboratory producing a load of 6246.24 kWh per year, this demand will be supplied by 3 wind turbines and 8 photovoltaic panels with a nominal power of 600W and 350W each. In the case study, 22.44% of the total demand is supplied by a wind turbine and 2 photovoltaic panels with the above-mentioned power.

After selecting the components of the facility based on calculations of the generated energy, an economic assessment is done which resulted in an investment cost of the plant of \$3169.3. Based on the energy generated by the hybrid system and in terms of energy cost, which according to national regulations established by ARCONEL is 0.0933 USD obtaining an income of 119.95 and subtracting the operation and maintenance costs, which according to IRENA's international regulations is 0.0142 \$/kWh, resulting in an estimated outflow of \$18.256, based on these results, a net present value (NPV) of \$-2002.3 which makes the project financially impossible.

This project is totally viable from an environmental point of view as it prevents 892.86 tons of CO₂ emissions per year.

Keywords: WIND GENERATION, SOLAR GENERATION, ENERGY DEMAND, RENEWABLE ENERGY, HYBRID SYSTEM

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Sistemas híbridos.

Se consideran a la combinación de dos o más fuentes de energía, dichas fuentes se asocian para generar energía eléctrica a fin de proveer a una determinada carga o integrarse a la red eléctrica (Farfán, 2018).

Es importante en un sistema eléctrico garantizar la continuidad del servicio de energía eléctrica, por lo que estos sistemas híbridos normalmente se componen de un sistema convencional y uno que utilice fuentes renovables (Farfán, 2018).

Considerando que en nuestro país el Ecuador específicamente en la sierra, durante el verano el viento es intenso y la radiación solar es media, y durante el invierno ocurre lo contrario, estas condiciones de variación climáticas permiten la operación de sistemas eólicos y fotovoltaicos, formando un sistema híbrido por estas dos fuentes energéticas como una excelente opción para cubrir todos los requerimientos de energía que un sistema de consumo le pueda demandar. Esta característica de suplemento de las fuentes energéticas durante el año es la principal ventaja que ofrece un sistema híbrido eólico-solar, en comparación si se lo hiciera en forma individual, esto lo convierte en la alternativa adecuada para proyectos destinados a la electrificación de zonas carentes de la red eléctrica (Chumo, 2018) (TECH4CDM, 2008).

A continuación, en la figura 1 se indica el potencial eólico en siete provincias de nuestro país consideradas como de mayor potencia de energía eólica, así mismo en la figura 2 la radiación solar en ciudades como Quito y sus alrededores consideradas como buenas ubicaciones para energía solar.



Figura 1: Potencial eólico en el Ecuador.

Fuente: (Mediascape, 2013).

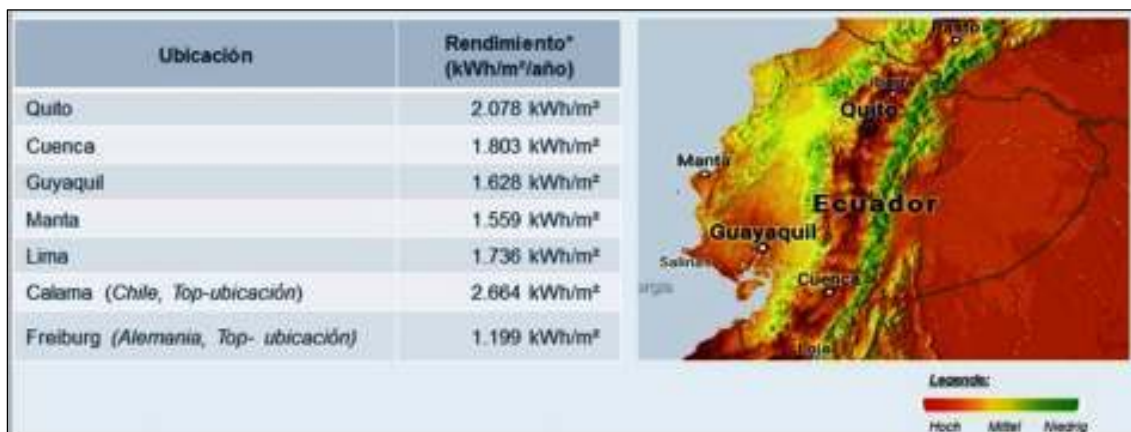


Figura 2: Potencial Solar Ecuador

Fuente: (solutions, 2018).

1.1.1 Sistema híbrido autónomo.

Los sistemas híbridos son autónomos cuando operan sin estar conectados a un sistema de distribución de energía eléctrica, cuando los sistemas de generación eólico o solar no generan energía eléctrica, el sistema de almacenamiento de energía (baterías) y/o un generador de motor alimentado por combustibles convencionales proporcionaran la energía eléctrica necesaria (Galván, 2018).

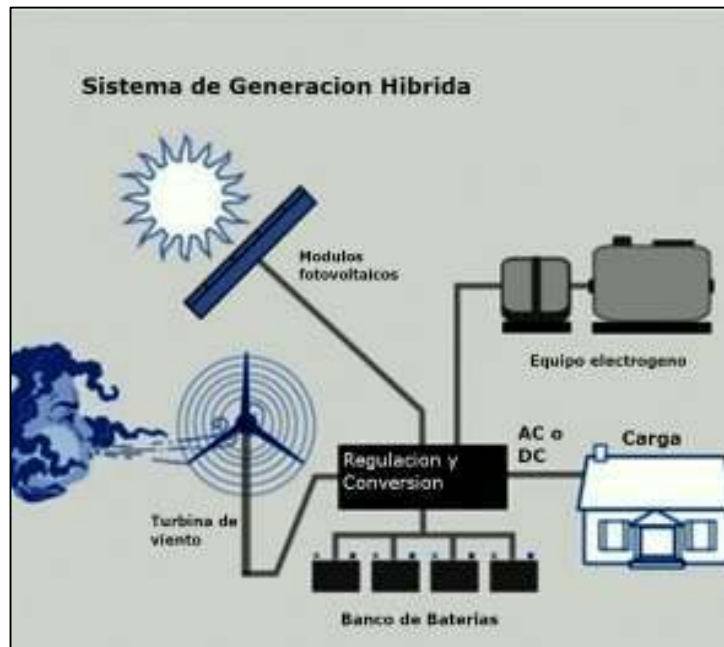


Figura 3: Sistema híbrido eólico fotovoltaico autónomo

Fuente: (energy.gov, s.f.)

1.1.2 Sistemas híbridos conectados a la red eléctrica.

Un sistema híbrido conectado a la red eléctrica es aquel que, en lugar de estar conectado a un grupo de baterías o un grupo electrogeno, para garantizar el suministro de energía a la carga, utiliza el suministro de energía de la red eléctrica, como se aprecia en la figura 4 (GALLEGO, 2016).

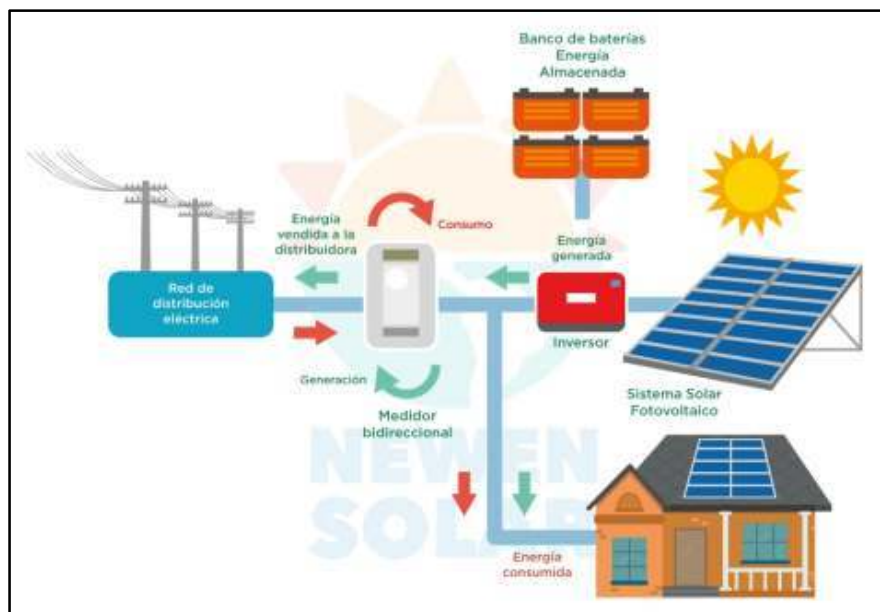


Figura 4: Sistema híbrido conectado a la red eléctrica.

Fuente: (Hueichapan, s.f.)

1.1.2.1 Características.

Hay que considerar algunas características cuando un sistema se conecta a la red:

El propósito principal es abastecer en paralelo a una determinada carga, y a la vez exportar energía a la red eléctrica obteniendo así un aumento en la eficiencia del sistema interconectado, ya que la energía al ser producida cercana a la carga de consumo, las pérdidas en la red eléctrica se ven disminuidas (Serván-Sócola, 2014).

Cuando se genera una corriente alterna por el sistema híbrido, esta deberá poseer una serie de características propias de la red, esta va a depender del tipo de inversor instalado. En nuestro país la tensión de salida deberá mantenerse estable en un valor de 120V en monofásica con una corriente variable en función de la radiación y velocidad del viento, con una frecuencia de 60Hz que sincronice con la red (Herrera, 2011).

Los costos por el servicio se verán reducidos no así en su inversión inicial, los costos de operación y mantenimiento también se reducirán (Serván-Sócola, 2014).

En este tipo de instalación ya no se requieren ningún tipo de acumuladores de energía como son las baterías de esta forma también se evita la contaminación ya que las mismas poseen componentes tóxicos, optimizando de este modo también espacios (Serván-Sócola, 2014).

Una de las principales características es la protección del medioambiente, estos sistemas no emiten dióxido de carbono u óxidos de nitrógeno durante su funcionamiento (Pagán, 2016).

1.1.2.2 Normativa y marco legal nacional de un sistema conectado a la red.

La Constitución de la República del Ecuador con Registro Oficial N° 449, entre sus articulados considera el desarrollo y uso de las energías renovables, dichos artículos se transcriben en el Anexo 1.

La ley de régimen del sector eléctrico, suplemento-registro oficial n° 43, contiene las normas relacionadas con la estructura del sector eléctrico y de su funcionamiento, vigente desde el 10 de octubre de 1996. Anexo 1.

Reglamento para la administración del fondo de electrificación rural y urbana marginal suplemento registro-oficial n° 373 este reglamento incentiva las energías renovables en el ecuador. Anexo 1.

El reglamento general de la ley de régimen del sector registro oficial n° 401 establece las normas y procedimientos para cumplir con la ley de régimen del sector eléctrico, tanto para la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. Anexo 1.

Política de estado para la adaptación y mitigación al cambio climático, Decreto Ejecutivo N° 1815, Registro Oficial N° 636.

Se declara como política de estado la adaptación y mitigación al cambio climático, dicho decreto establece en su artículo numero dos que todos los proyectos ejecutados en el sector público, tendrán la obligación de contemplar en su ingeniería financiera una cláusula adicional, con la finalidad de acceder en lo posterior a Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).

1.2 Los aerogeneradores

Los aerogeneradores o turbinas eólicas son máquinas se encargan de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica. El funcionamiento se basa en considerar el flujo del viento para hacer girar las palas que están unidas a un rotor hélice y a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente es un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. Los aerogeneradores hay distintos tipos y modelos, su clasificación se toma en cuenta distintos criterios, como se muestra en la siguiente tabla. (Rodríguez, 2014).

Tabla 1: Criterios de Clasificación de aerogeneradores.

Fuente: (GALLEGO, 2016).

Clasificación de los aerogeneradores	
Por su potencia	Micro-aerogeneradores
	Aerogeneradores Pequeños
	Aerogeneradores Grandes
	Aerogeneradores Multimegavatio
Por la posición del motor	Aerogeneradores de orientación a Barlovento
	Aerogeneradores de orientación a Sotavento
Por el eje de trabajo	Aerogeneradores de Eje horizontal
	Aerogeneradores de eje vertical
Por el número de palas	Aerogeneradores rápidos.
	Aerogeneradores multipala

1.2.1 Componentes de los aerogeneradores

El aerogenerador está compuesto por componentes internos y externos.

Los componentes internos de un aerogenerador se describen a continuación (González & Guerrero, 2014):

- Eje principal es el que une al rotor con la caja multiplicadora.
- Multiplicador es el encargado de convertir las bajas revoluciones por minuto que transmite el buje en altas revoluciones que necesita el generador para producir energía eléctrica.
- Sistema de control es el encargado de monitorizar las condiciones del aerogenerador y controla el mecanismo de orientación.
- Generador síncrono o de inducción, este componente es el que encargado de convertir la energía mecánica en energía cinética.
- Los componentes externos de un aerogenerador son los siguientes (Martínez, 2012):
- El buje en este componente se realiza la unión de las palas del aerogenerador.
- Palas este componente es el encargado de capturar la fuerza del viento y transmitir hacia el buje.
- Góndola es el componente donde se encuentra ubicados todos los componentes internos.
- Torre es el componente de soporte del aerogenerador y une la cimentación con la góndola.

Puede darse el caso de que algunos equipos de autogeneración no necesiten de alguno de estos componentes debido al tipo y nivel de potencia.

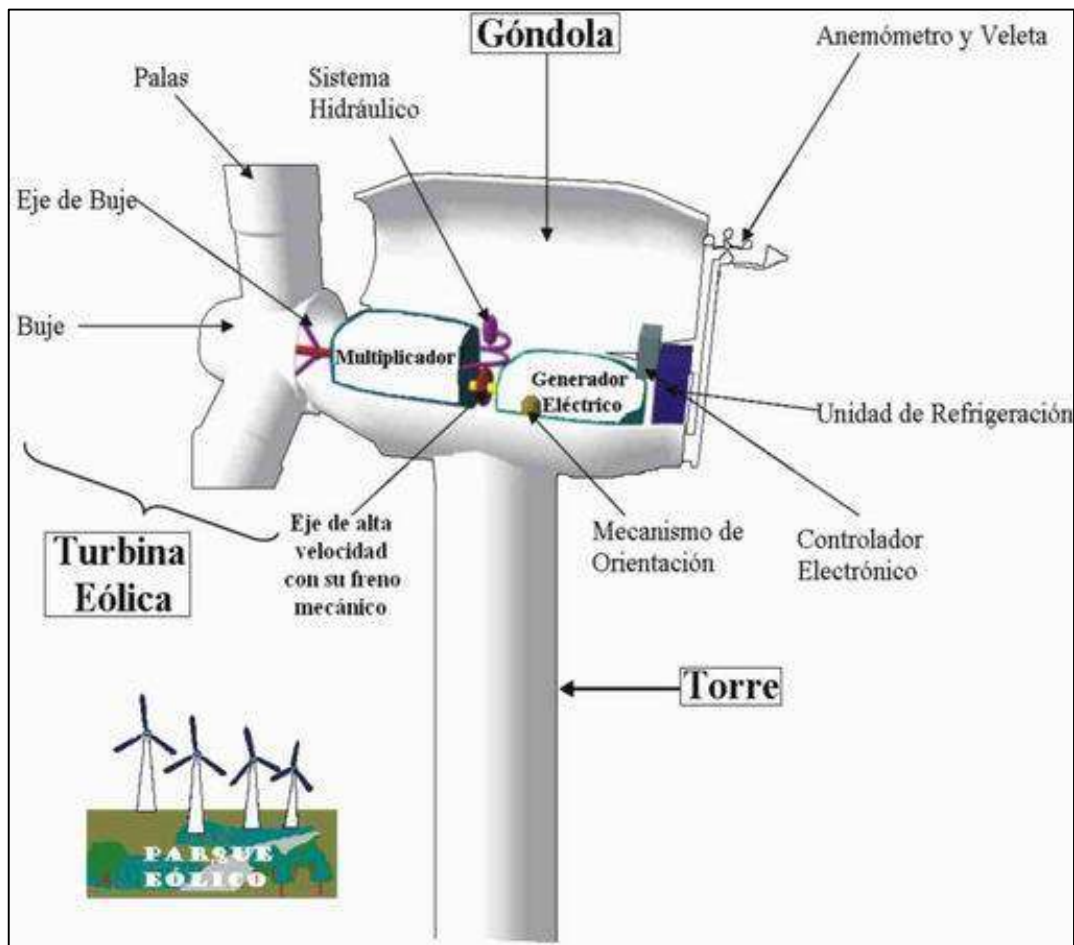


Figura 5: Principales componentes de un aerogenerador.

Fuente: (energiaeolicacts, 2010).

1.2.2 Parámetros característicos de un aerogenerador

Para un aerogenerador los parámetros que lo caracterizan son los siguientes (Serván-Sócola, 2014):

Velocidad de arranque: Es considerada a la velocidad del viento para la cual el generador comienza a suministrar potencia útil.

Velocidad nominal: Se considera a la velocidad del viento para la que se alcanza la potencia nominal el aerogenerador.

Velocidad de parada: Se considera a la velocidad del viento a la cual el rotor se detiene por la acción de los sistemas de regulación y control, esto es para evitar el riesgo de sufrir algún daño cuando se dé una elevada velocidad del viento.

Velocidad de supervivencia: Se considera a la velocidad del viento muy alta que puede dañar al aerogenerador a pesar de estar parado.

1.3 Los paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos diseñados para el aprovechar de la radiación solar (energía fotovoltaica) y transformar en energía eléctrica con una tensión y corriente directa (flujo de electrones) que varían dependiendo del nivel de radiación que recibe.

Los paneles fotovoltaicos se encuentran formados por un conjunto de células fotovoltaicas interconectadas entre ellas, estas se encuentran en una estructura rígida para asegurar la estanqueidad, esto favorece la captación de radiación solar y evacuación de calor, de esta manera se garantiza un mayor rendimiento.

La radiación solar incide sobre el dispositivo semiconductor de dos capas produciendo una diferencia de potencial entre las capas, esta diferencia de potencial es capaz de conducir una corriente eléctrica y producir trabajo útil para una aplicación determinada, la temperatura, el mantenimiento y los parámetros constructivos, influyen en la potencia de los paneles fotovoltaicos (Cilveti, 2010).

En la figura 6 se identifica la representación de cada una de las partes principales que conforman a un panel solar.

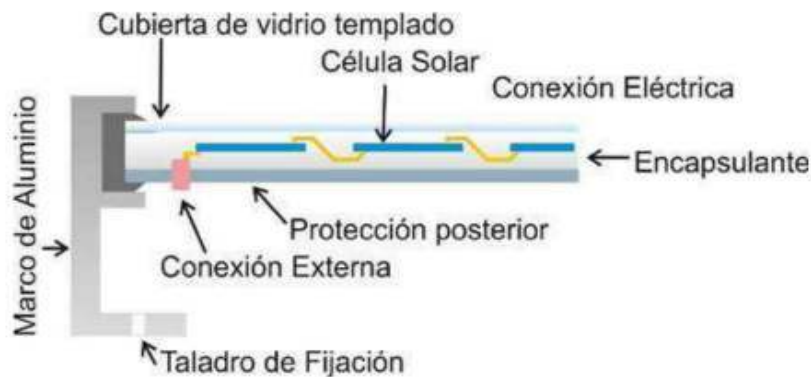


Figura 6: Esquema eléctrico de un panel fotovoltaico.

Fuente: (Galbarro, s.f.).

1.3.1 Parámetros característicos de los paneles fotovoltaicos

Los parámetros característicos son los siguientes (SARABIA, 2019):

- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): Es la corriente en la celda cuando sus bornes están en corto, es decir $V=0$.

- Tensión de circuito abierto (V_{OC}): Esta tensión se da cuando no hay carga conectada, es decir $I=0$.
- Potencia máxima (P_{max}): Es la potencia máxima ($P=IV$), para esta potencia se obtiene la corriente óptima (I_{Pmax}) y la tensión óptima (V_{Pmax}).
- Tensión nominal (V_{NomPan}): Tensión de diseño (tensión nominal DC en donde se conectará el panel).
- Eficiencia (η): Es la razón entre la máxima potencia que se puede obtener del módulo fotovoltaico y la radiación que incide sobre la superficie del panel fotovoltaico.

En la figura 7 se observa la gráfica de tensión, corriente y potencia y los parámetros descritos anteriormente.

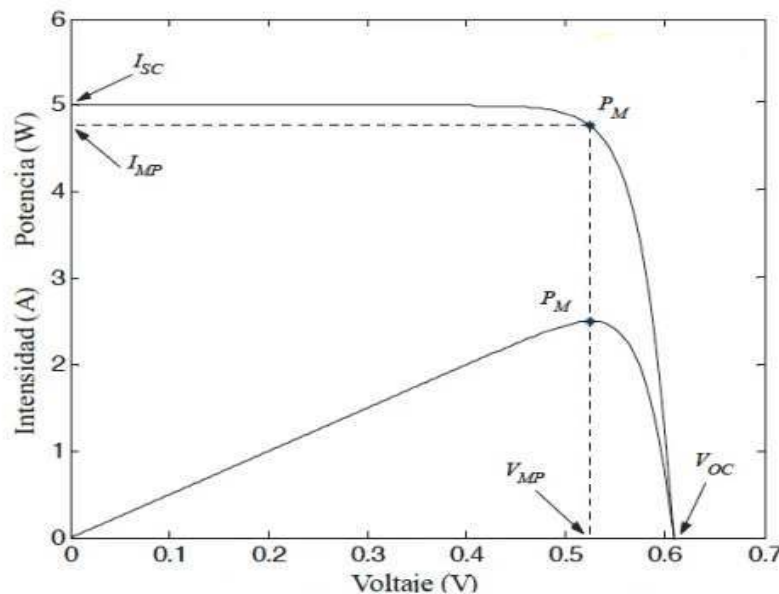


Figura 7: Curva tensión, corriente y potencia de un módulo fotovoltaico.
Fuente: (SARABIA, 2019).

1.3.2 Factores de pérdida de un panel fotovoltaico

➤ Pérdidas por efecto de variación de la temperatura:

“La eficiencia del módulo y los parámetros que definen la curva de potencia en la cual opera, se puede ver disminuidos o aumentados si la temperatura de la celda fotovoltaica es mayor o menor que la temperatura usada en las pruebas de laboratorio para establecer dichos valores” (Molina & Martínez, 2017).

La temperatura de trabajo de una celda solar depende de la temperatura ambiente y del valor de la radiación. Su cálculo se basa en la siguiente ecuación 1.

$$T_c = T_a + G * \frac{TONC - 20}{800} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

T_c : Temperatura de trabajo de la celda [$^{\circ}C$]

T_a : Temperatura ambiente [$^{\circ}C$]

$TONC$: Temperatura de operación nominal de la celda [$^{\circ}C$]

G : Valor de radiación estándar [W/m^2]

El valor de la temperatura de operación nominal de la célula fotovoltaica (TONC) es un parámetro que se obtiene del manual de los módulos fotovoltaicos y toma valores que van de 43 a 49 $^{\circ}C$ o se asume 45 $^{\circ}C$ como un valor promedio. El valor del rendimiento del panel solar por efecto de la variación de la temperatura, se encuentra analíticamente empleando la ecuación 2.

$$\eta_{PS,T} = \frac{100\% - 0.48 \frac{\%}{^{\circ}C} * (T_c - T_a)}{100\%} \quad \text{Ecuación 2}$$

➤ **Pérdidas por variación del valor de la potencia nominal:**

En un proceso de fabricación industrial de los módulos fotovoltaicos no salen todos idénticos, lo que representa una variación del valor de la potencia nominal referida a las condiciones estándar de medida. Los fabricantes garantizan que la potencia nominal de un módulo fotovoltaico se encuentra dentro de una banda que oscila entre $P \pm 3\%$ o $P \pm 5\%$. Normalmente la potencia generada se sitúa en la banda inferior de potencias garantizada por los fabricantes (Serván-Sócola, 2014).

➤ **Pérdidas en el sistema eléctrico:**

Son pérdidas originadas por la caída de tensión cuando una determinada corriente circula por un conductor de un material y sección determinada, estos son generalmente para efectos de diseño del 5%. Se minimizan dimensionando adecuadamente la sección de los conductores en función de la corriente que circula por ellos (Serván-Sócola, 2014).

1.4 Los reguladores o controladores de carga

El regulador, es el dispositivo que sirve de protección para el sistema de acumulación (baterías), se debe ubicar entre el generador (modulo fotovoltaico y/o aerogenerador) y el acumulador.

Como principales funciones a desempeñar el regulador son: proteger a la batería contra la sobrecarga, la energía proveniente del generador tiene que ser regulada de acuerdo al estado de carga de la batería; proteger a la batería ante la descarga, cuando hay alto consumo eléctrico y el generador no repone la energía, el regulador desconecta la carga cuando el estado de carga de la batería es muy bajo; los reguladores poseen información básica del sistema, monitoreando la tensión, la corriente y el estado de carga del acumulador, ayudando a que el sistema trabaje en una norma eficiente (Pagán, 2016).

Los reguladores de carga normalmente funcionan en cuatro etapas de carga que son (Pagán, 2016):

- **Carga inicial.** Si la tensión en la batería llega a un nivel determinado, el regulador da paso de la totalidad de la corriente disponible en el generador, hasta que se obtenga una carga del 80%, donde inicia la etapa siguiente.
- **Carga de absorción.** En esta etapa el regulador mantiene la tensión final de carga y va reduciendo la corriente proveniente del generador hasta alcanzar el 100% o la carga total.
- **Carga de flotación.** Aquí el regulador permite el paso de una cantidad de corriente mínima, para mantener el estado de carga total de la batería.
- **Carga de ecualización.** Esta etapa se da en reguladores especiales que son para baterías de plomo – ácido con electrolito líquido. La batería está sujeta a una sobrecarga controlada, para evitar o minimizar la estratificación del ácido y la sulfatación dentro de la batería, también se equilibra la tensión en las celdas de la misma.

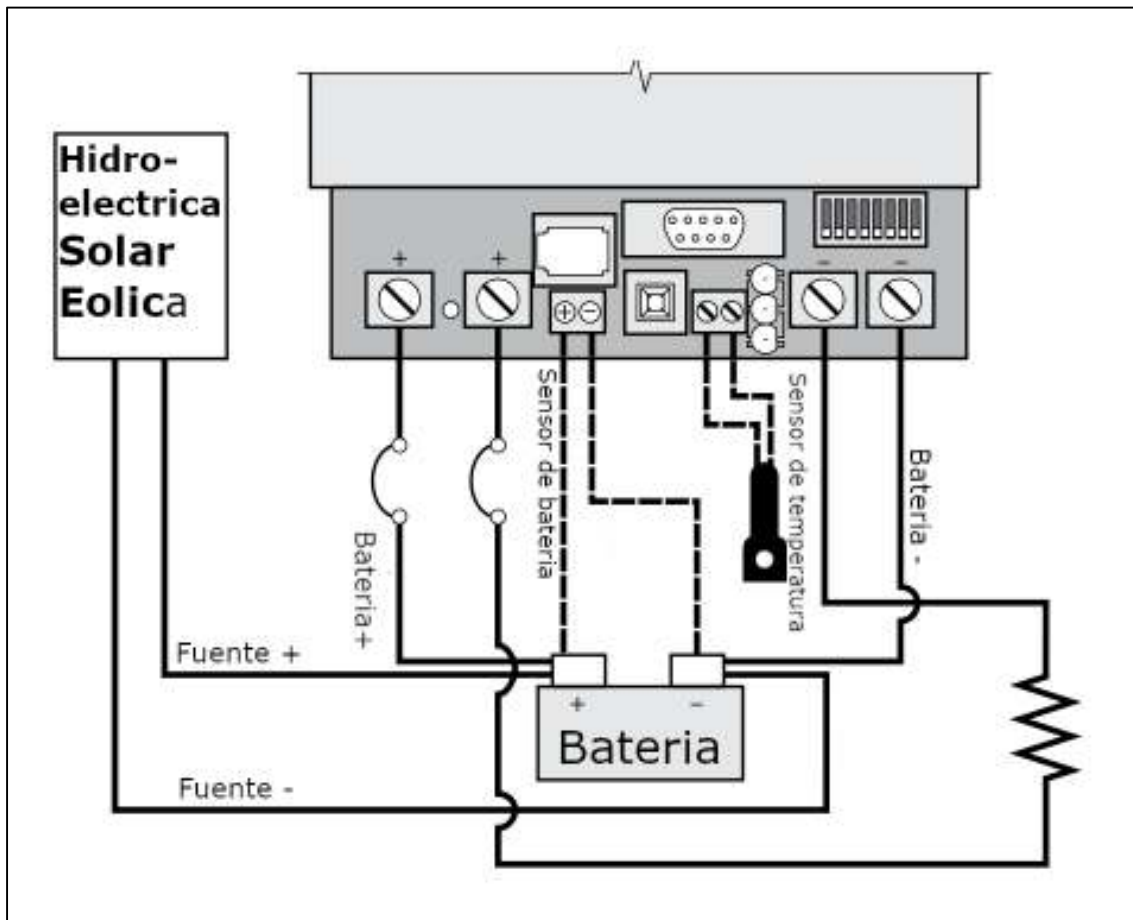


Figura 8: Diagrama de conexión controlador Tristar TS-60 para un sistema de generación híbrida.

Fuente: (Morningstar, 2010).

1.5 Inversores

Los inversores son dispositivos electrónicos que tienen la capacidad de transformar la corriente continua en corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseado por el usuario o el diseñador.

El uso del inversor aumenta el costo del sistema, por lo tanto, se recomienda utilizar solamente cuando la carga funciona o requiere la corriente alterna, la eficiencia de los inversores esta entre el 85-90% a plena carga, pero al usar con cargas menores, la eficiencia disminuye (GALLEGO, 2016).

Existen varios tipos de inversores que dependen de la forma de la onda que generan a la salida, y estos se clasifican en inversores senoidales, semisenoidales y de onda cuadrada, se pueden observar estas ondas en la figura 9.

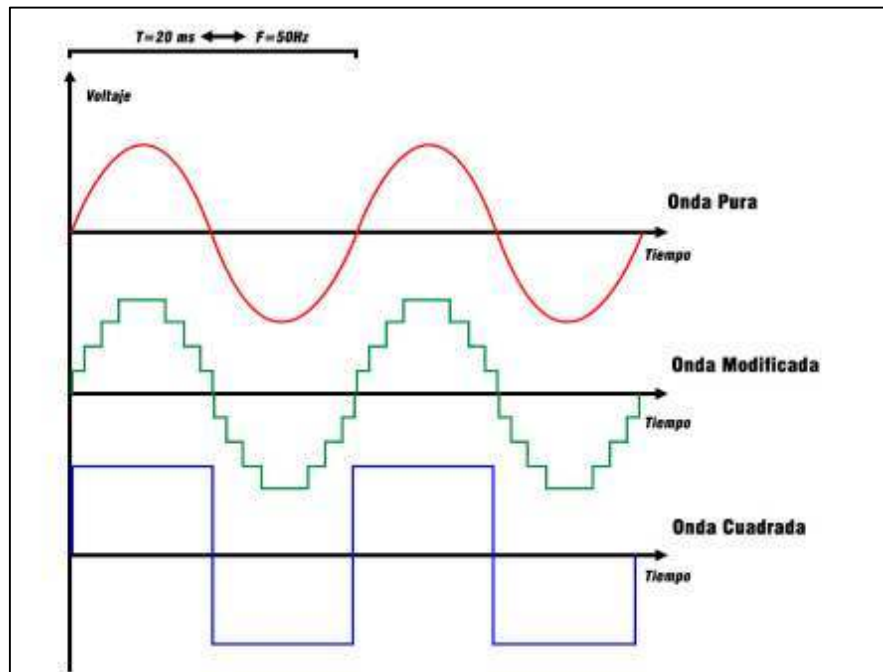


Figura 9: Tipos de onda de salida de inversores comerciales.

Fuente: (Himelco, s.f.).

- **Inversores senoidales.** La onda de salida es sinusoidal pura, similar a las de las redes eléctricas públicas. Sirve para alimentar equipos con componentes de condición resistiva e inductiva, Su rendimiento es menor y el precio es mayor a los de tipo semi senoidal (GALLEGO, 2016).
- **Inversores semisenoidal.** La onda de salida es semisinusoide también denominada onda cuadrada o sinusoidal modificada. Su rendimiento es alto, utiliza la conmutación electrónica para modificar el ancho del pulso, son dispositivos que tiene mejor relación de calidad precio, su principal desventaja es que son incompatibles con algunos equipos inductivos en su funcionamiento. (GALLEGO, 2016).
- **Inversores de onda cuadrada.** La onda de salida es cuadrada, su costo en el mercado es económico, estos dispositivos son menos eficientes, no son compatibles algunos aparatos electrónicos, lo que puede dañarlos ya que las ondas de voltaje presentan alta distorsión armónica (Autosolar, 2015).

Especificaciones técnicas. Existen algunas especificaciones técnicas, entre las más importantes, son la forma de la onda de la salida del inversor la tensión nominal de la entrada, de la operación y de la salida; la corriente de entrada y de la salida; también la frecuencia de la corriente alterna de salida; el rendimiento y la potencia nominal de salida; este parámetro

es por medio del cual se selecciona el inversor y se calcula como 1,2 veces la potencia instalada, con la ecuación 3.

$$P_{inv} = 1.2P_{ins} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dicha ecuación se aplica cuando se conectan al sistema todas las cargas al mismo tiempo, si por el contrario se conectan las cargas alternadamente se puede seleccionar el inversor con la misma potencia de instalación (GALLEGO, 2016).

1.6 Medidores de energía.

Los medidores de energía son aquellos dispositivos encargados de cuantificar la cantidad de energía entrante a un sistema de cargas o la cantidad de energía saliente de un sistema de generación.

Hay medidores de energía bidireccionales, que cuantifican la energía que uno adquiere de la red, como de los excedentes de energía inyectados. El modelo y tipo a adquirir de estos dispositivos dependerá del lugar en el cual se está realizando la instalación y del tipo de contrato que se tenga con la empresa distribuidora de la energía eléctrica (Serván-Sócola, 2014).

En la figura 10 y 11 se encuentra la imagen de un medidor bidireccional y su diagrama de conexión.



Figura 10: Medidor bidireccional
Fuente: (LAGUNA, 2017).



Figura 11: Medidor bidireccional diagrama de conexión.
Fuente: (GREENTOUCH, s.f.).

CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Cálculo de la demanda de energía.

En el siguiente punto se realiza un análisis del cálculo de la demanda de la potencia y energía que será consumida por las cargas bajo estudio, los resultados serán analizados de tal forma que se pueda realizar un dimensionamiento del sistema híbrido acorde a las necesidades energéticas. Para ello es necesario un estudio preliminar de la zona para de esta forma poder conocer la disponibilidad de la energía primaria, es decir un análisis de viento para el aerogenerador y de irradiancia solar para los paneles fotovoltaicos (Herrera, 2011).

2.1.1 Zona de estudio.

Se escogió como zona de estudio el centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) ubicado en la parroquia Ricaurte a cinco kilómetros del cantón Cuenca a una altitud de 2600 metros sobre el nivel del mar, limitado al norte con la parroquia Sidcay, al sur y oeste con la ciudad de Cuenca y al oeste con la parroquia de Llacao, figura 12. La temperatura del lugar varía entre 7°C a 23°C, con un promedio de 14.65°C, en la tabla 2 se muestra los datos geográficos de la zona.

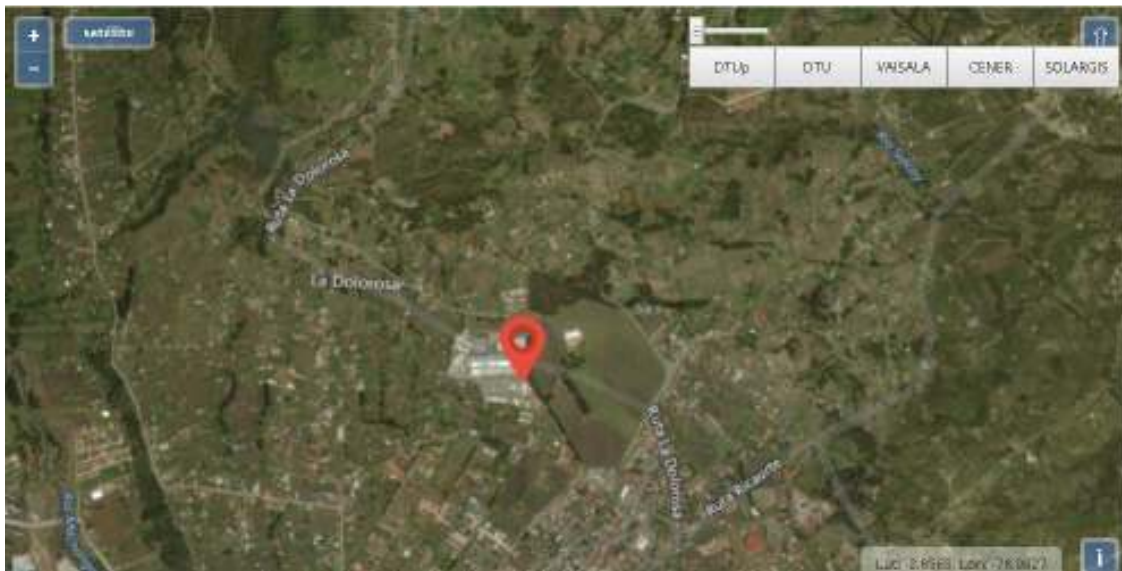


Figura 12: Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: (Enair, 1970-2020).

Tabla 2. Datos geográficos del Centro de Investigación, Innovación y transferencia tecnológica (CITT)

Fuente: Elaboración propia

Altitud	2600 metros sobre el nivel del mar.
Coordenadas	2°51'20.6"S 78°57'57.0"W
Temperatura	7°C-23°C
Clima	Templado-Húmedo
Latitud	-2.85709
Longitud	-78.96739

2.1.2 Determinación de la demanda energética.

En el análisis de la determinación de la demanda se ha escogido como carga el Centro de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica, en el cual se ha determinado en las tablas siguientes que la demanda total es de 2.36 kW, con este resultados se verificará si el sistema híbrido eólico-solar como medio de abastecimiento a dichas cargas podrá suplir la energía necesaria durante todo el año.

2.1.2.1 Características del lugar y cargas presentes.

Según las mediciones realizadas por la estación meteorológica ubicada en la zona de estudio la velocidad promedio anual del viento varía de 3.5m/s a 7m/s, mientras que con referencia a la irradiancia solar se tiene un promedio de 350W/m², figura 13 y 14.



Figura 13. Comportamiento del viento en la zona de estudio

Fuente: (Enair, 1970-2020).

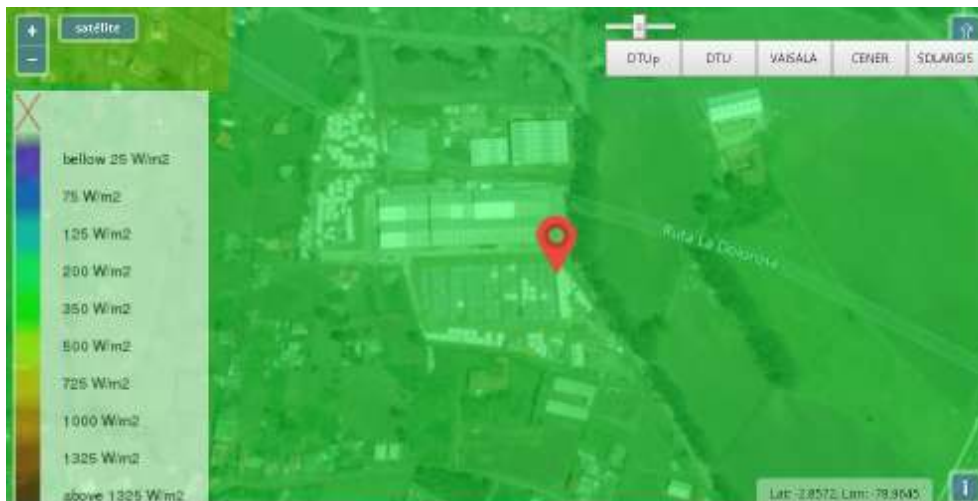


Figura 14. Comportamiento de la radiación solar en la zona de estudio

Fuente: (Enair, 1970-2020).

La determinación del consumo de las cargas correspondientes al lugar bajo estudio se puede efectuar de diversas formas. El primer método es la elaboración de un registro de todos los equipos que intervienen en el análisis total de la carga. Posteriormente, con el resultado de la potencia total y el tiempo de consumo, se establece la cantidad de energía necesaria. El segundo método se basa en la instalación de un dispositivo de registro de datos junto al contador de energía, con capacidad para grabar los valores de demanda eléctrica a lo largo de un intervalo de tiempo, con un salto de tiempo preestablecido (Cortés, 2015).

En el Anexo 2 se puede apreciar el diagrama de las instalaciones del Laboratorio de Simulación en Tiempo Real CIITT en el cual las cargas están distribuidas en las siguientes áreas:

Tabla 3. Áreas de trabajo del Laboratorio de Simulación en Tiempo Real

Fuente: Elaboración propia

Área 1	Sala de espera
Área2	Sala de Trabajo
Área 3	Oficina
	Baño

En cada una de las áreas existen cargas que deben ser estudiadas, por lo tanto, se realiza el cálculo de acuerdo a las siguientes tablas:

Tabla 4. Cargas presentes en el Área 1.

Fuente: Elaboración propia

Área 1			
Carga	Potencia (c/u) [W]	Cantidad	Potencia Total [W]
Panel Led 60x60	40	6	240
Televisor	150	1	150
Subtotal	190	7	390

Tabla 5. Cargas presentes en el Área 2.

Fuente: Elaboración propia.

Área 2			
Carga	Potencia (c/u) [W]	Cantidad	Potencia Total [W]
Panel Led 60x60	40	19	760
Proyector	400	1	400
Pantalla Eléctrica	150	1	150
Televisor	150	1	150
Computadoras	200	5	1000
Subtotal	940	27	2460

Tabla 6. Cargas presentes en el Área 3.

Fuente: Elaboración propia.

Área 3			
Carga	Potencia (c/u) [W]	Cantidad	Potencia Total [W]
Panel Led 60x60	40	4	160
Foco Led	18	1	18
Televisor	150	1	150
Computadora	200	1	200
Subtotal	408	7	528

2.1.2.2 Determinación de la demanda de potencia y energía.

Para observar el consumo energético de los del Laboratorio de Simulación en Tiempo Real CIITT, nos basamos en las siguientes premisas:

- El horario en el cual las cargas estarán encendidas de acuerdo a un intervalo de tiempo definido.
- El tipo de carga que esté bajo estudio.
- Es necesario realizar una curva de carga para cada día de la semana para observar la variabilidad del comportamiento de la carga.

Tabla 7. Información detallada de las cargas presentes en el Laboratorio de Simulación en Tiempo Real CIITT

Fuente: Elaboración propia.

Carga	Cantidad	Potencia [W]	Número de Horas [h]	Energía [kWh/día]
Paneles Led	29	1160	8	9.2
Proyector	1	400	4	1.6
Pantalla Eléctrica	1	150	2	0.3
Televisores	3	450	6	2.7
Computadoras	6	200	4	4.8
Total	28	2360	24	18.6

A continuación, se presenta el consumo horario, tabla 8, de las cargas mostradas en la tabla 8 y desde las figuras 15 a 21 se muestra el comportamiento de las cargas.

Tabla 8. Consumo diario de las cargas bajo estudio en kWh

Fuente: Elaboración propia.

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
6:00	2.8	1.2	1.36	0.9	0.7	1.2	0.7
7:00	1.4	1.6	1.68	0.7	0.8	0.5	0.4
8:00	2.3	1.99	0.5	1.9	1.1	1.3	0.5
9:00	1.2	2.9	2.1	2.5	1.6	0.6	0.7
10:00	2.1	2.1	1.4	0.5	1.2	1.9	0.8
11:00	1.66	1.3	1.992	0.44	1.4	0.1	0.9
12:00	1.32	0.95	1.584	0.75	1.8	1.7	1.1
13:00	1.5	2.1	1.8	1.2	0.5	1	0.7
14:00	1.23	2.6	1.476	2.3	0.4	1	1.1
15:00	1.2	0.7	1.44	2.7	0.96	1.1	1
16:00	0.95	0.15	1.14	0.132	0.4	0.8	0.8
17:00	0.8	1	0.8	1.2	2	0.6	0.7
18:00	1.1	1.1	1.32	0.6	1.1	0.2	0.2
Total	19.56	19.69	18.592	15.822	13.96	12	9.6

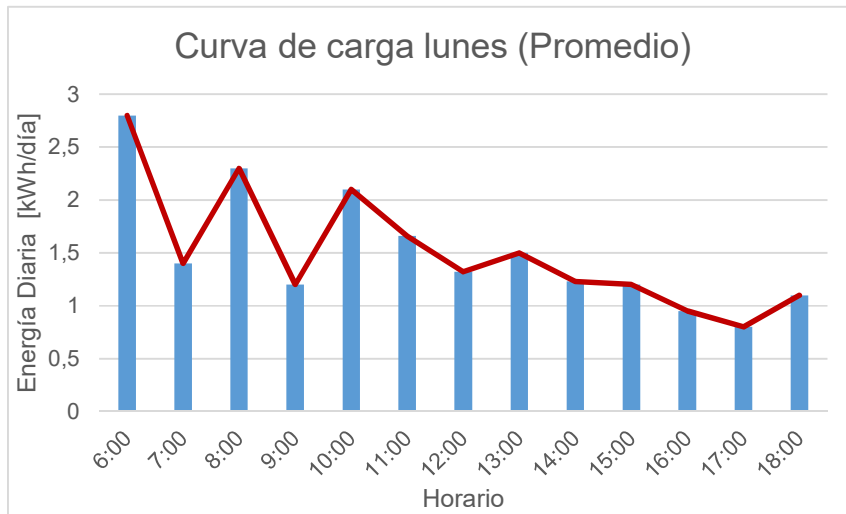


Figura 15. Consumo de carga promedio-lunes.

Fuente: Elaboración propia.

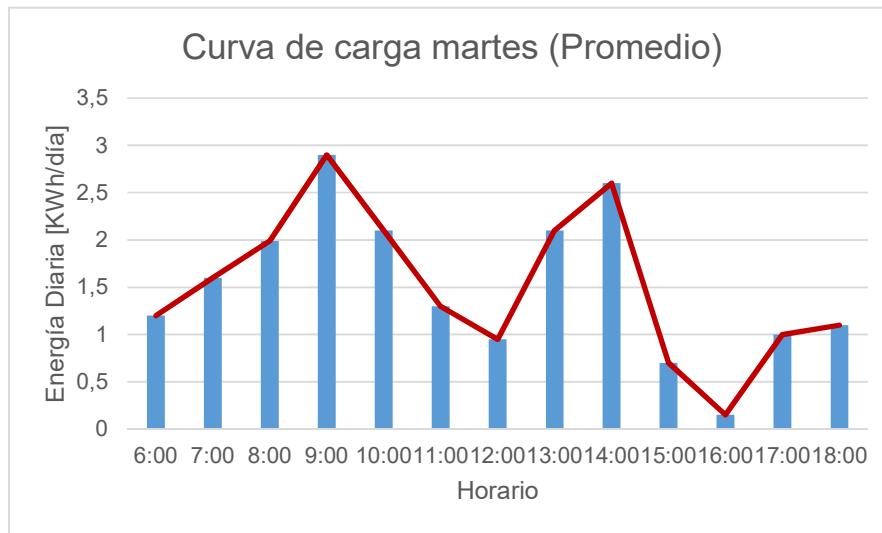


Figura 16. Consumo de carga promedio-martes.

Fuente: Elaboración propia.

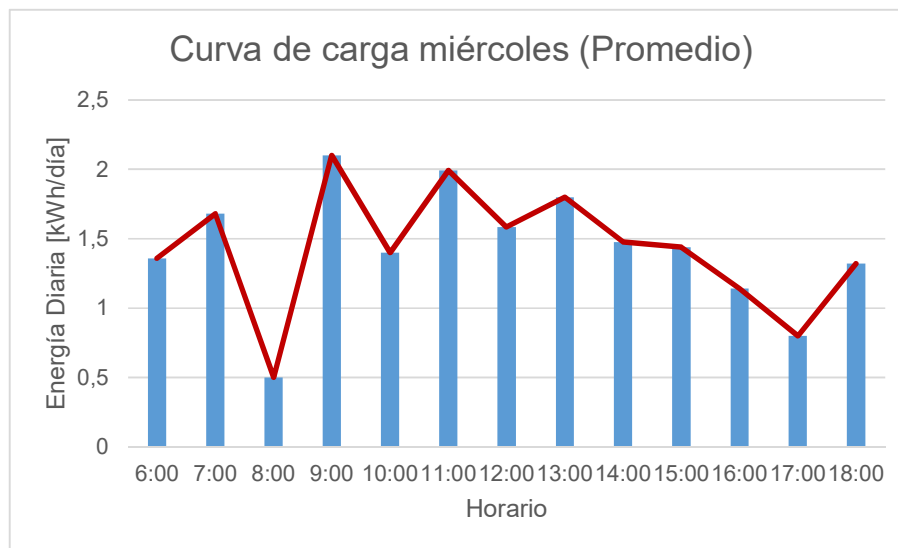


Figura 17. Consumo de carga promedio-miércoles.

Fuente: Elaboración propia.

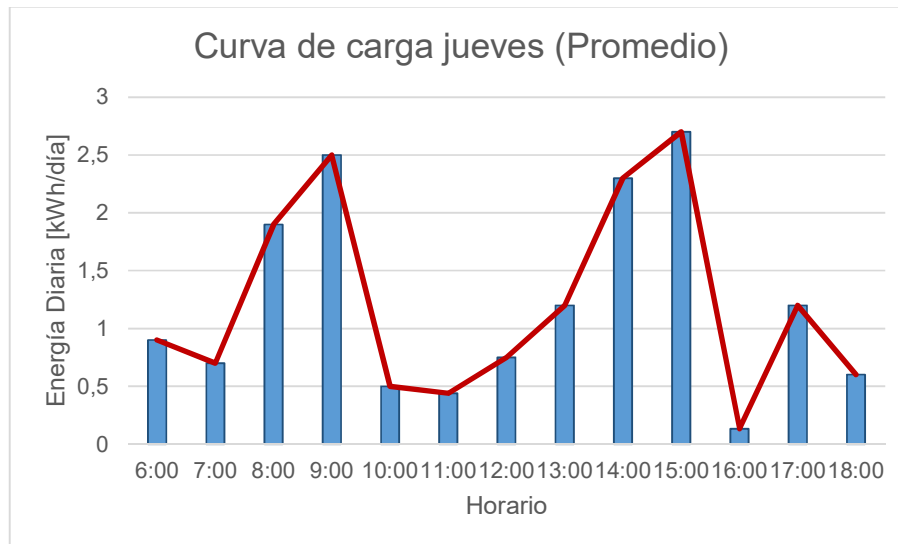


Figura 18. Consumo de carga promedio-jueves.

Fuente: Elaboración propia.

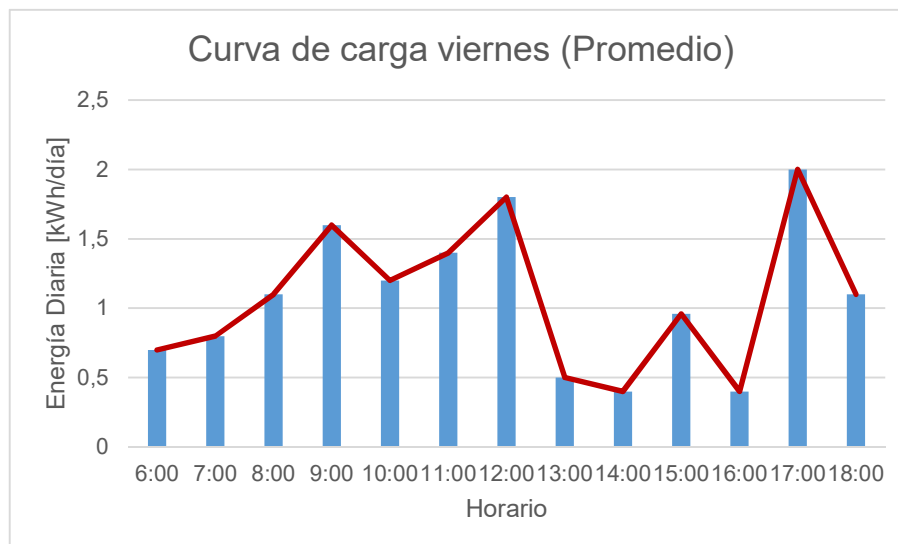


Figura 19. Consumo de carga promedio-viernes.

Fuente: Elaboración propia.

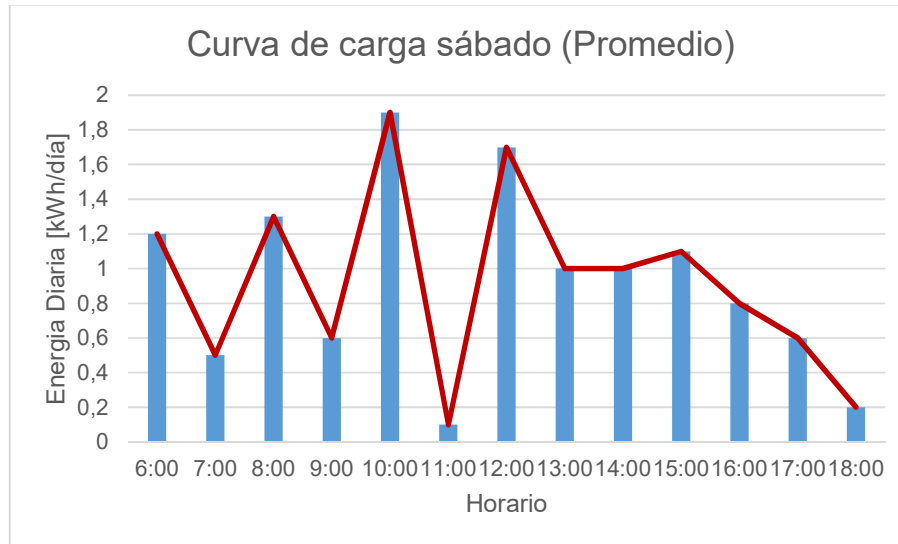


Figura 20. Consumo de carga promedio-sábado.

Fuente: Elaboración propia.

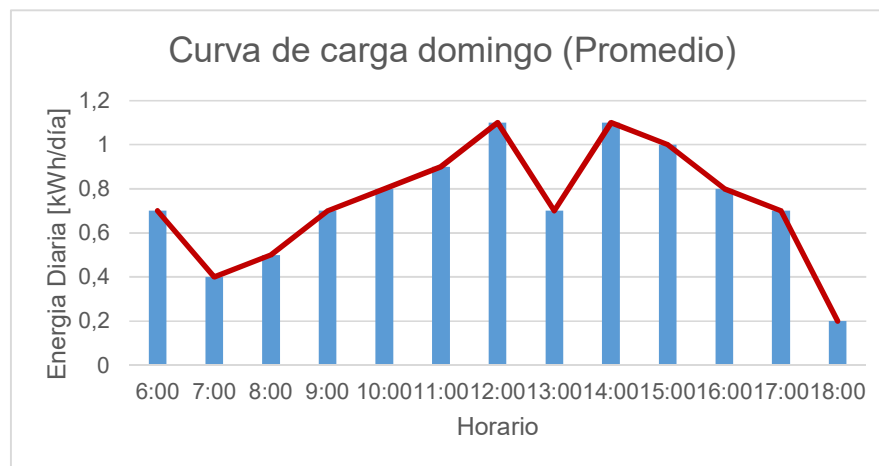


Figura 21. Consumo de carga promedio-domingo.

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos anteriormente se puede encontrar la potencia promedio y la potencia máxima que consumirán los equipos en forma general, mediante las ecuaciones 4 y 5.

$$P_{prom} = \frac{E_{Total}}{12 \text{ hrs}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$P_{max} = \max(\text{potencia diaria}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Con las fórmulas anteriores se obtiene los resultados semanales del comportamiento de la carga, tal como se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9. Potencia máxima y potencia promedio de consumo

Fuente: Elaboración propia

Días	P_{prom} [W]	P_{max} [W]
Lunes	1630	2800
Martes	1640	2900
Miércoles	1550	2100
Jueves	1320	2500
Viernes	1165	1800
Sábado	1000	1900
Domingo	800	1100

2.2 EVALUACIÓN DEL RECURSO ENERGÉTICO.

A través de la evaluación de los recursos de energía eólica y solar, se puede recabar toda la información que permita el posterior análisis de la energía que abastecerá el sistema híbrido. Los datos proporcionados por la estación meteorológica de la zona de estudio, proveen los datos de viento y radiación solar desde enero del 2019 hasta agosto de 2019.

2.2.1 Evaluación del recurso eólico.

2.2.1.1 Evaluación de datos de velocidad de viento.

Para evaluar el recurso eólico del área seleccionada, se deben realizar mediciones continuas de la velocidad y dirección del viento para saber qué tipo de aerogenerador será seleccionado.

Estas mediciones se realizan mediante un anemómetro que recoge datos de velocidad media cada 1 hora durante largos periodos de tiempo, con el fin de monitorizar las variaciones del viento a lo largo de un año, un mes, un día, etc. A continuación, en la tabla 10 se muestran los valores diarios de velocidad del viento desde enero a agosto medidos por el anemómetro en el sitio. En la figura 22 se muestra el comportamiento anual de la velocidad del viento (m/s) en el centro de Investigación por horas y en la figura 23 se muestra el comportamiento diario de estos meses.

Tabla 10. Velocidad del viento de enero a agosto [m/s]

Fuente: Elaboración propia.

Ene	<i>v</i>	Feb	<i>v</i>	Mar	<i>v</i>	Abr	<i>v</i>	May	<i>v</i>	Jun	<i>v</i>	Jul	<i>v</i>	Ago	<i>v</i>
1	1,9	1	1,8	1	1,7	1	1,0	1	1,4	1	1,1	1	2,1	1	1,6
2	1,7	2	1,6	2	1,5	2	1,0	2	1,4	2	1,4	2	1,9	2	2,0
3	1,4	3	1,4	3	1,9	3	1,3	3	1,5	3	1,5	3	1,1	3	1,5
4	1,6	4	2,1	4	1,7	4	1,3	4	2,1	4	1,5	4	1,5	4	1,4
5	1,9	5	1,5	5	1,6	5	1,6	5	1,4	5	1,5	5	1,8	5	2,0
6	1,4	6	1,9	6	1,8	6	1,0	6	1,9	6	1,4	6	1,6	6	2,0
7	1,9	7	1,9	7	2,6	7	1,4	7	1,3	7	0,9	7	1,8	7	1,7
8	1,4	8	1,7	8	1,1	8	1,3	8	1,2	8	1,5	8	2,2	8	1,8
9	2,2	9	1,2	9	1,1	9	1,4	9	1,7	9	2,0	9	2,1	9	1,7
10	3,2	10	1,4	10	1,6	10	1,6	10	1,4	10	1,9	10	2,1	10	1,8
11	2,7	11	1,6	11	1,8	11	1,2	11	1,6	11	2,1	11	2,2	11	1,9
12	2,1	12	1,8	12	1,6	12	2,0	12	1,9	12	1,8	12	1,8	12	1,8
13	1,6	13	2,0	13	1,6	13	1,6	13	2,0	13	2,1	13	1,9	13	2,2
14	1,9	14	2,0	14	1,0	14	1,8	14	1,7	14	1,4	14	1,5	14	2,3
15	1,5	15	2,3	15	1,5	15	1,5	15	1,6	15	2,0	15	1,9	15	2,1
16	1,8	16	2,0	16	1,7	16	1,7	16	1,7	16	1,4	16	1,9	16	1,8
17	1,8	17	1,8	17	1,0	17	1,4	17	1,9	17	1,1	17	1,8	17	1,7
18	2,1	18	1,9	18	1,2	18	1,6	18	1,5	18	1,4	18	1,7	18	1,9
19	1,8	19	1,7	19	1,5	19	2,2	19	1,6	19	1,4	19	1,8	19	1,8
20	1,2	20	1,6	20	1,8	20	1,7	20	1,7	20	1,3	20	1,8	20	1,6
21	1,4	21	1,4	21	1,6	21	1,5	21	1,6	21	1,5	21	1,7	21	1,9
22	1,1	22	1,8	22	1,6	22	1,8	22	2,1	22	1,4	22	1,7	22	2,2
23	1,6	23	1,6	23	2,2	23	1,8	23	1,9	23	1,4	23	1,5	23	1,5
24	1,8	24	1,5	24	1,7	24	1,7	24	2,0	24	1,4	24	1,6	24	2,4
25	2,1	25	1,8	25	1,8	25	1,6	25	1,4	25	1,4	25	1,1	25	1,9

26	1,4	26	1,9	26	2,2	26	1,9	26	1,4	26	1,8	26	1,5	26	2,1
27	1,6	27	1,8	27	1,6	27	1,6	27	1,1	27	2,3	27	1,7	27	1,3
28	1,9	28	1,6	28	2,0	28	1,6	28	1,7	28	2,0	28	1,8	28	1,7
29	1,7			29	1,7	29	1,1	29	1,0	29	1,6	29	2,1	29	1,7
30	1,9			30	1,4	30	1,5	30	1,7	30	2,3	30	1,4	30	2,1
31	1,7			31	1,5			31	1,5			31	1,3	31	1,9

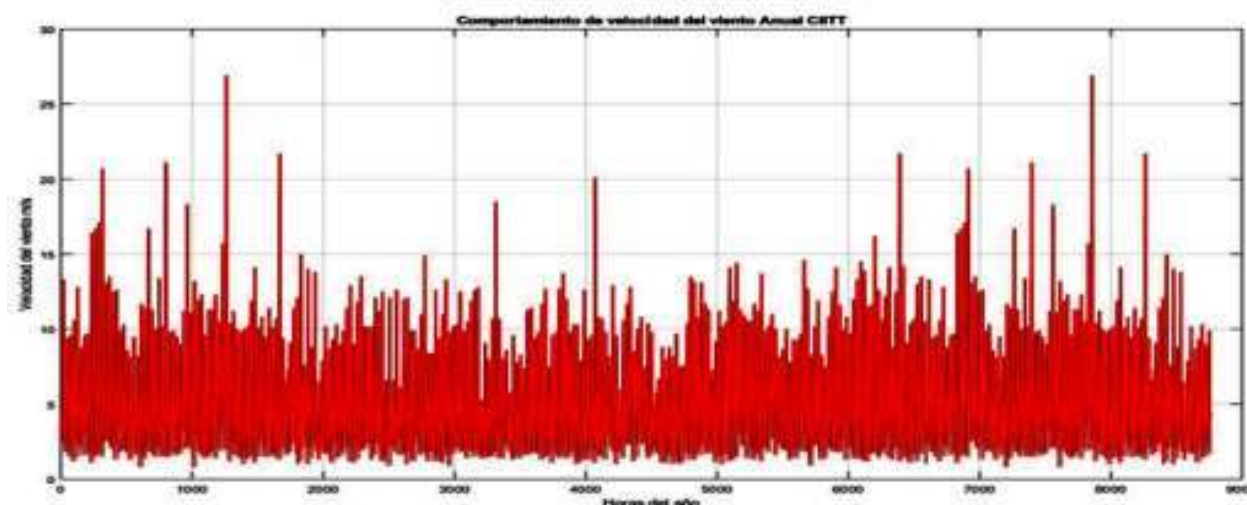


Figura 22. Comportamiento anual de la velocidad máxima del viento (m/s) en el centro de Investigación

Fuente: (Rentería, 2019).

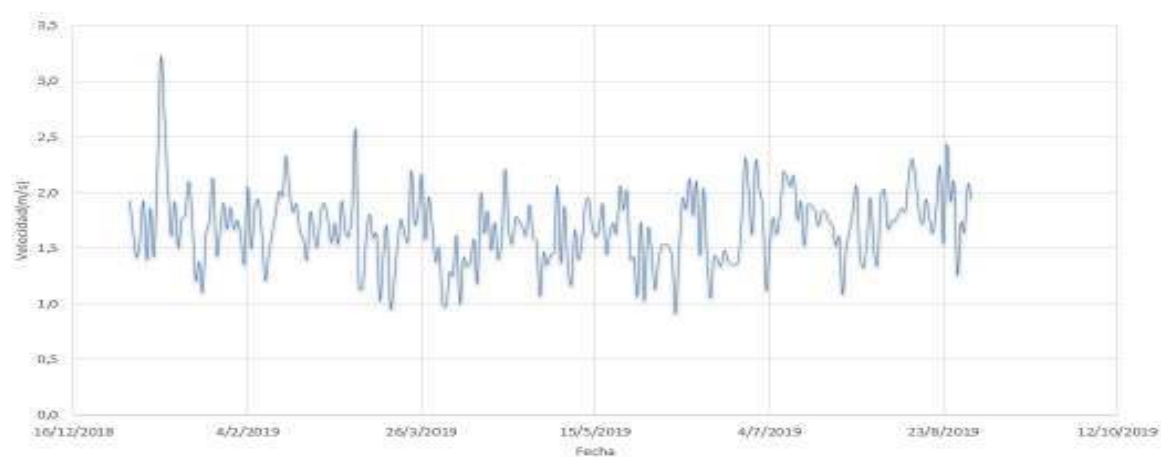


Figura 23. Comportamiento promedio de la velocidad promedio del viento diario en los meses de enero a agosto.

Fuente: (Rentería, 2019).

A continuación, en las figuras 24 a 39 se muestra el valor diario por mes del viento.

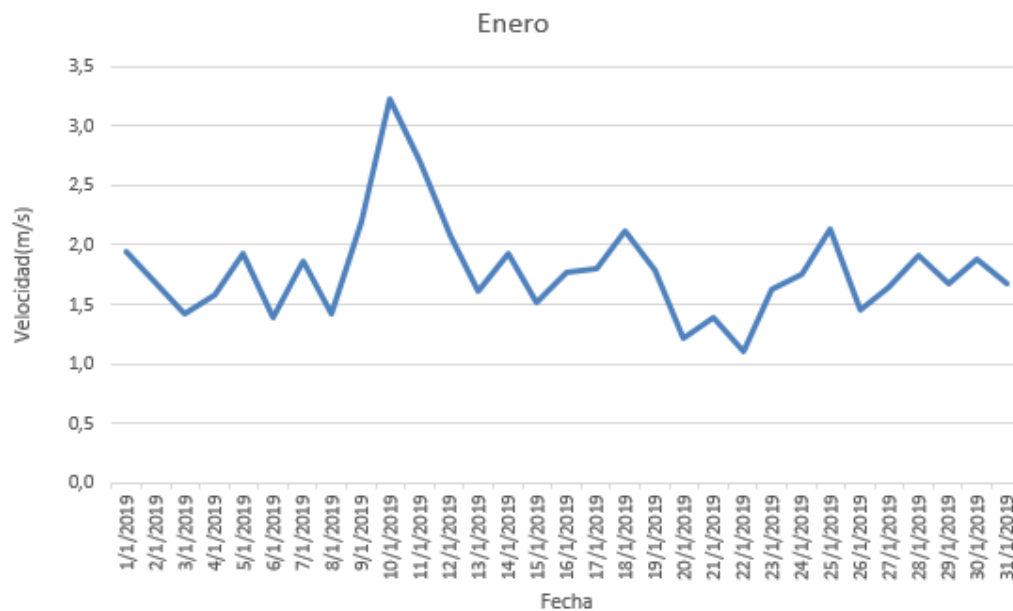


Figura 24. Comportamiento promedio de la velocidad de viento promedio diario en el mes de enero.

Fuente: Elaboración propia.

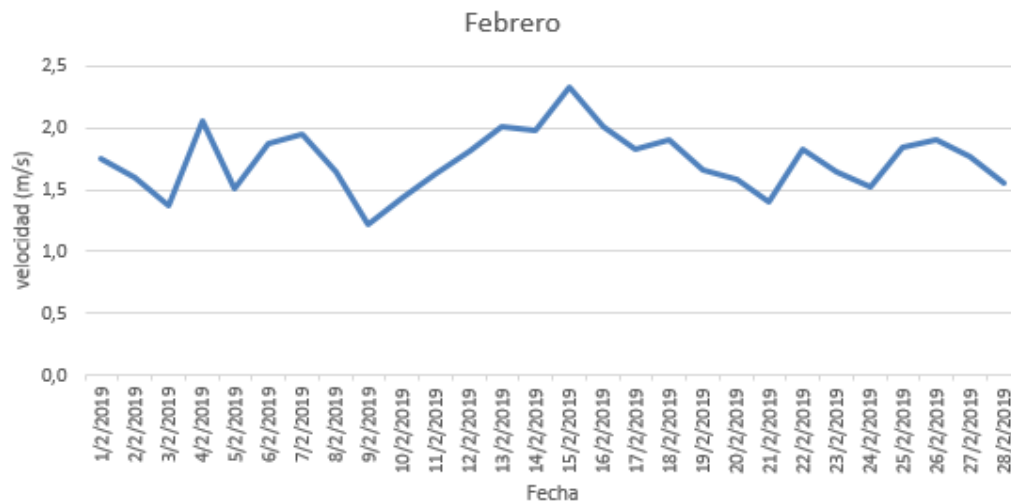


Figura 25. Comportamiento promedio de la velocidad de viento promedio diario en el mes de febrero.

Fuente: Elaboración propia.

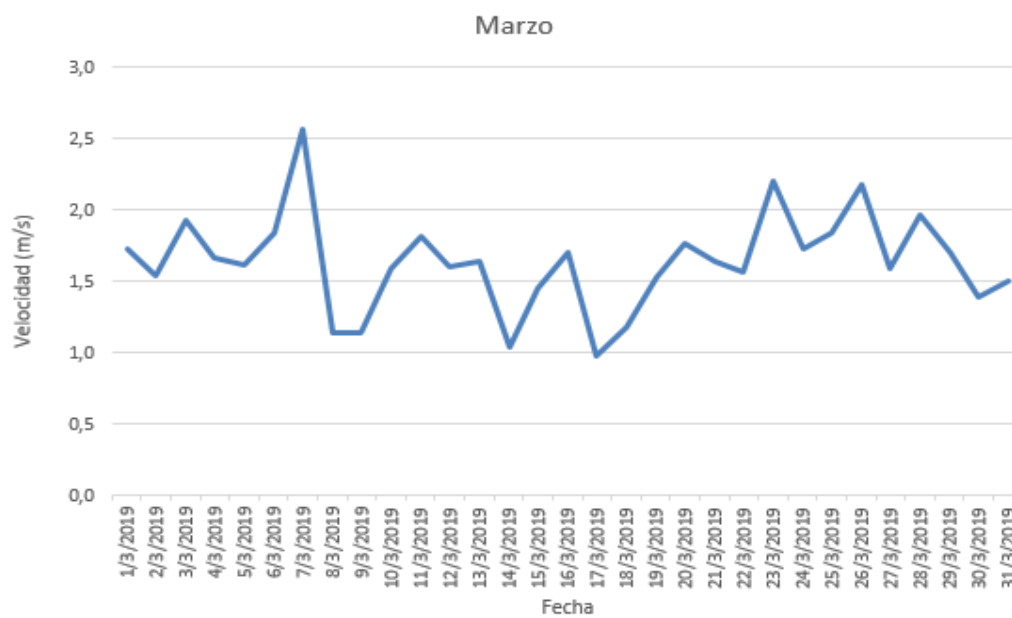


Figura 26. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de marzo.

Fuente: Elaboración propia.

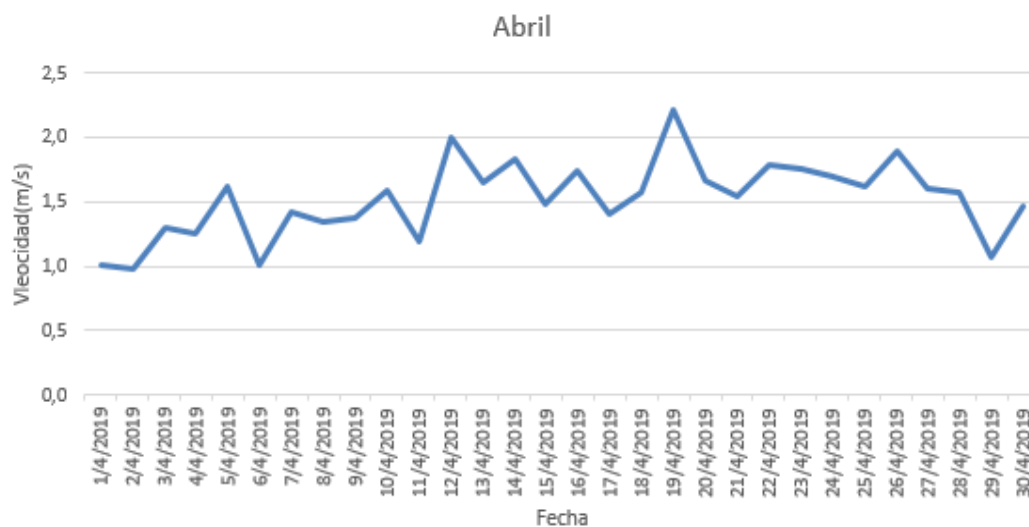


Figura 27. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de abril.

Fuente: Elaboración propia

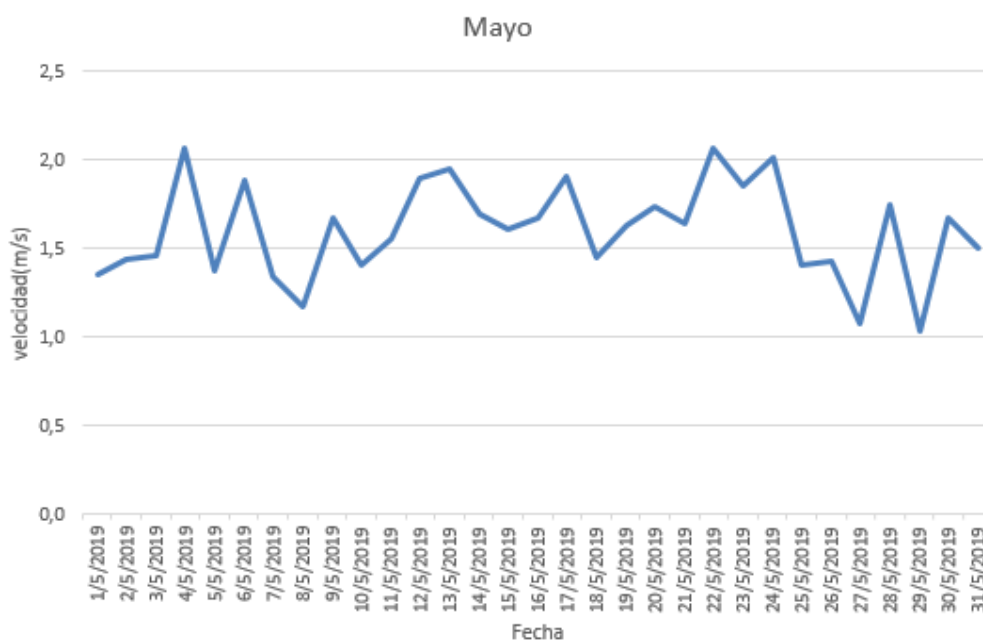


Figura 28. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de mayo.

Fuente: Elaboración propia.

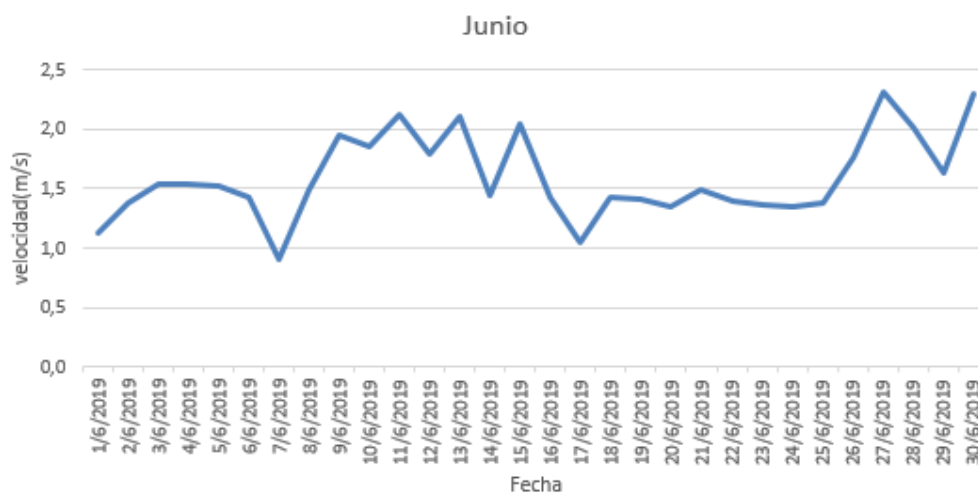


Figura 29. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de junio.

Fuente: Elaboración propia.

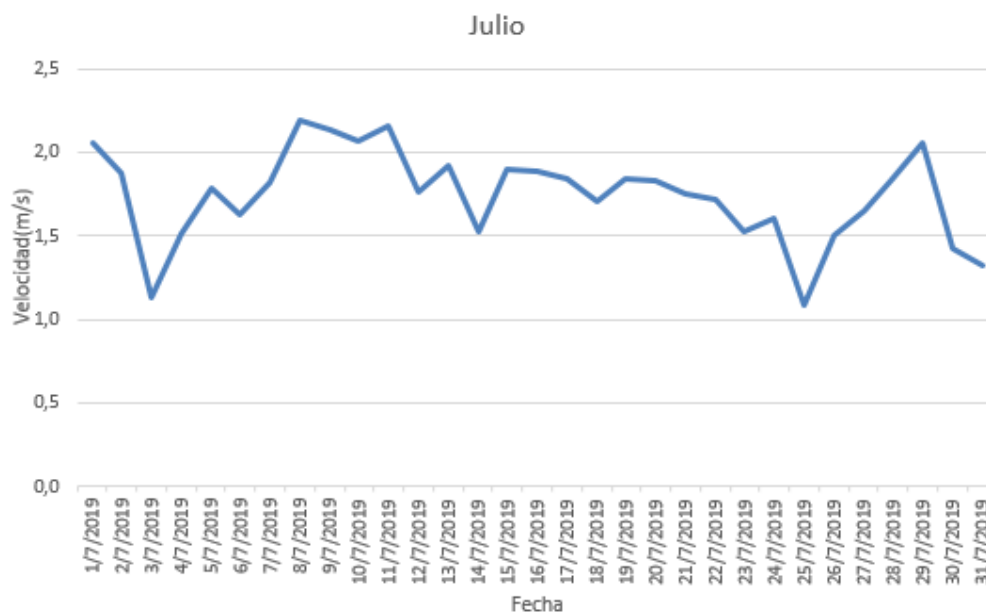


Figura 30. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de julio.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 31. Comportamiento promedio de la velocidad promedio diaria del viento en el mes de agosto.

Fuente: Elaboración propia.

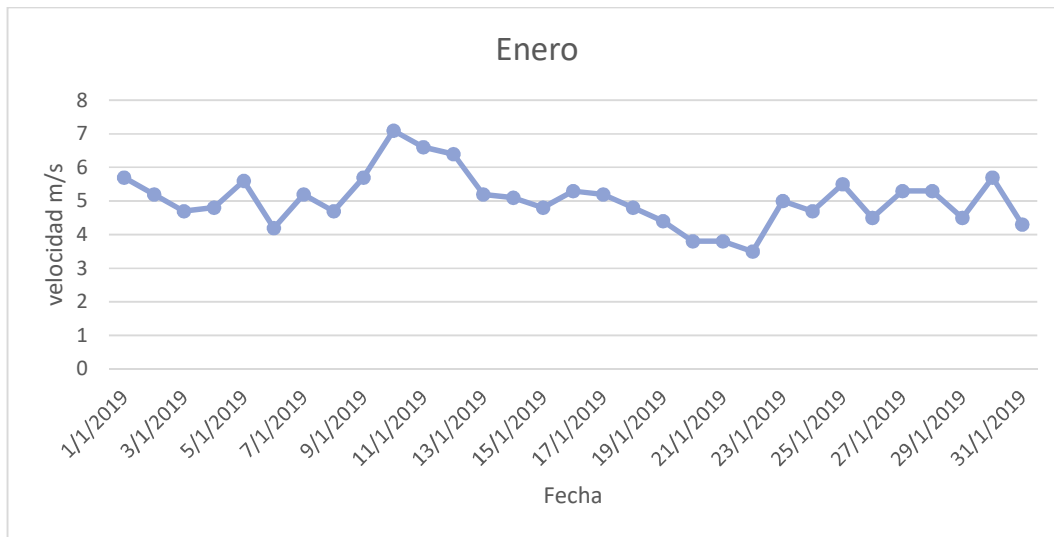


Figura 32. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de enero.

Fuente: Elaboración propia.

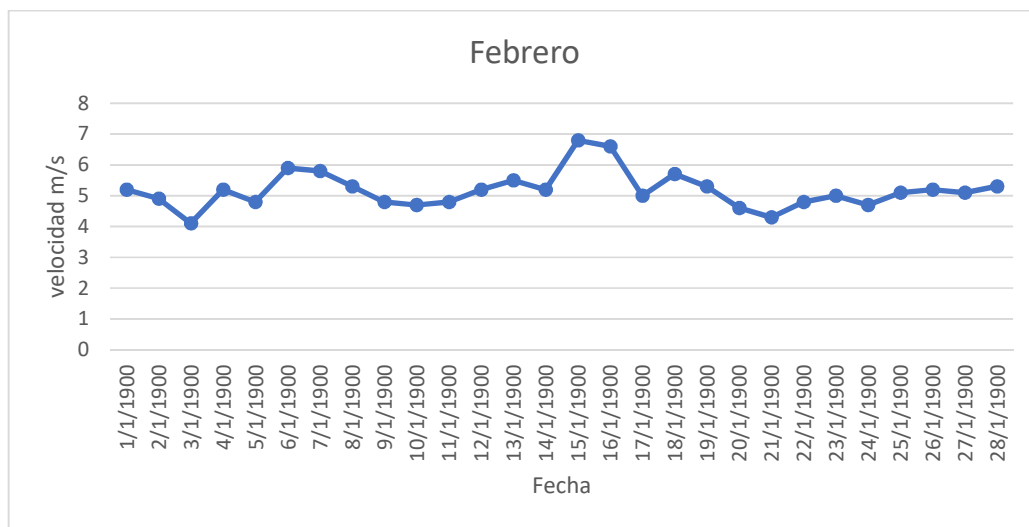


Figura 33. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de febrero.

Fuente: Elaboración propia.

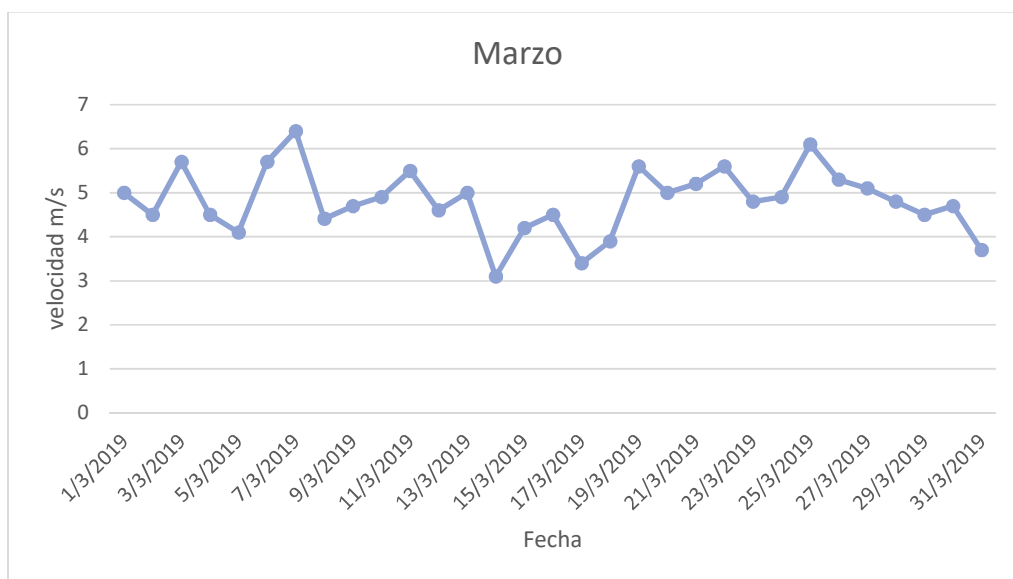


Figura 34. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de marzo.

Fuente: Elaboración propia.

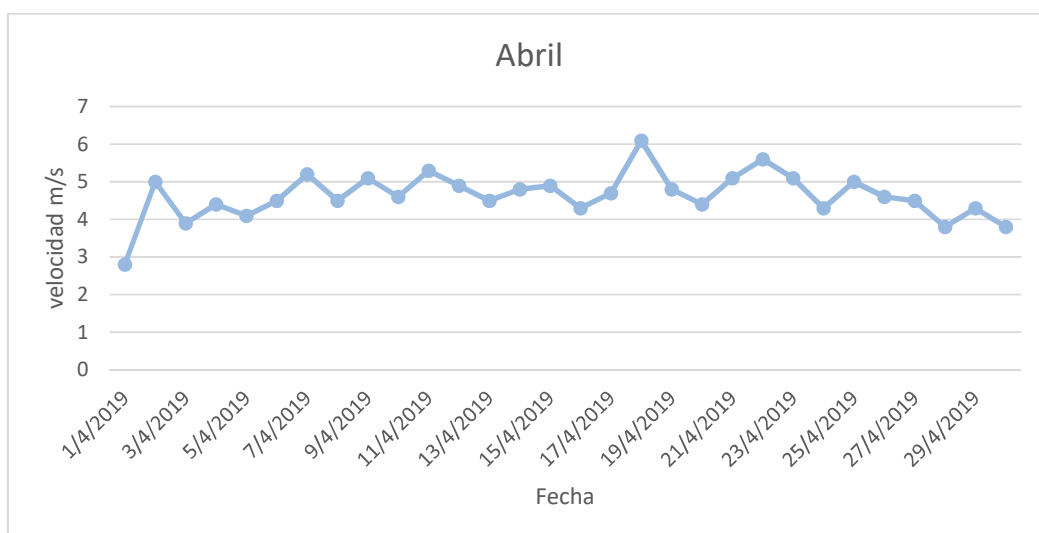


Figura 35. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de abril.

Fuente: Elaboración propia.

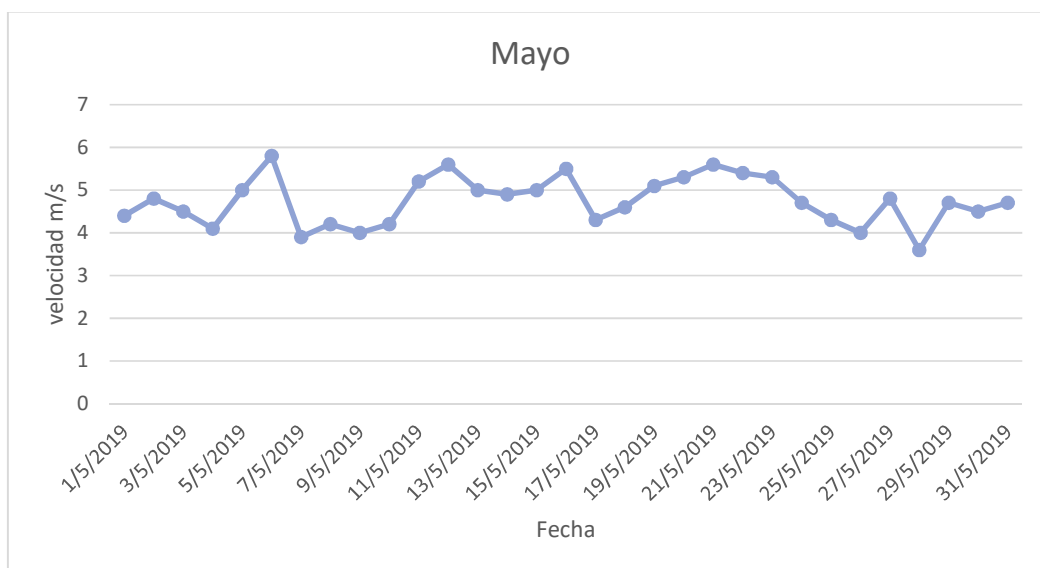


Figura 36. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de mayo.

Fuente: Elaboración propia.

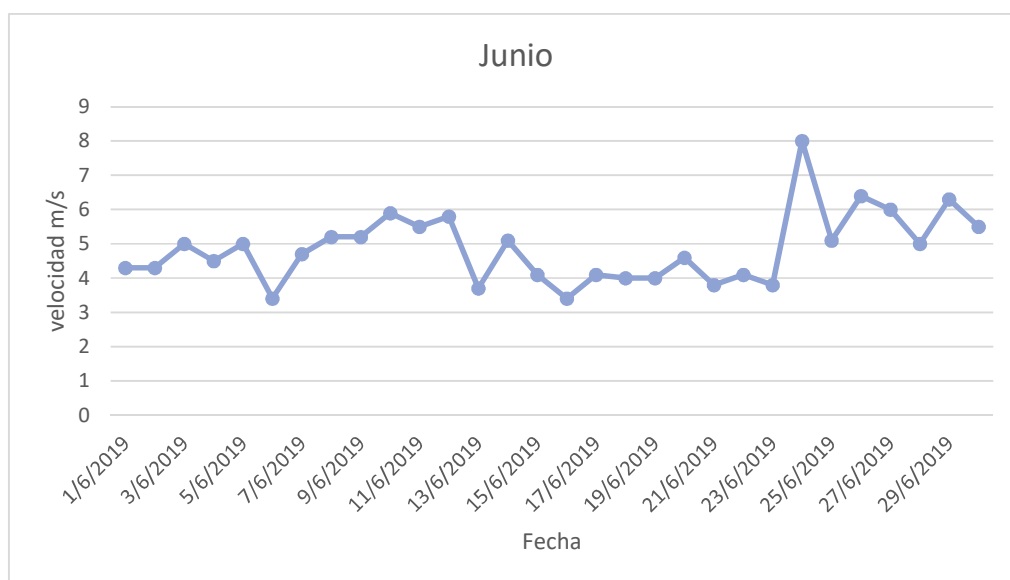


Figura 37. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de junio.

Fuente: Elaboración propia.

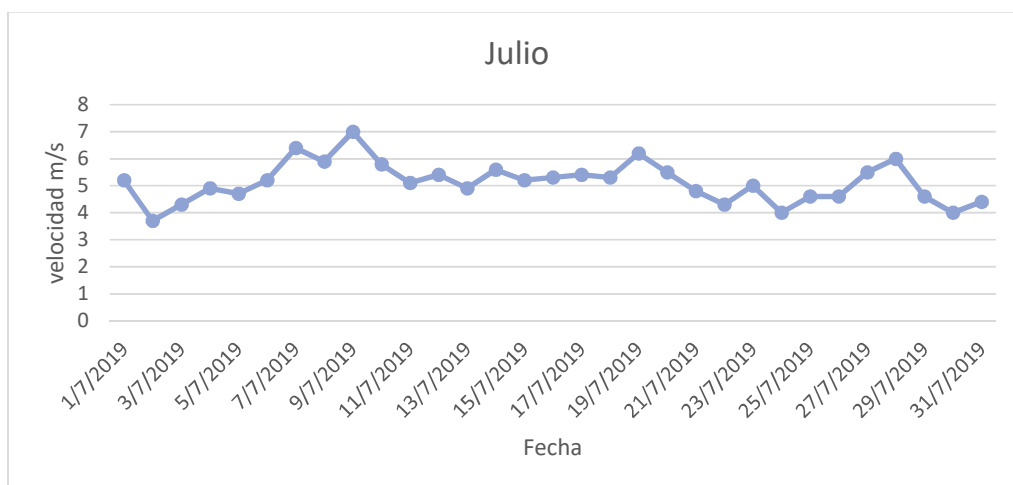


Figura 38. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de Julio.

Fuente: Elaboración propia.

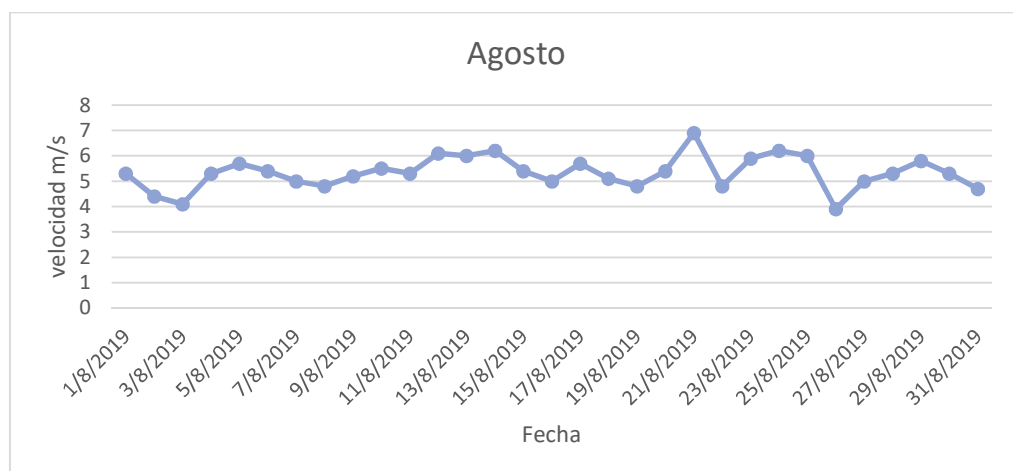


Figura 39. Comportamiento promedio de la velocidad máxima diaria del viento en el mes de agosto.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.2 Análisis estadístico.

Por medio del análisis estadístico se estima el potencial eólico en un determinado emplazamiento, es decir, este análisis se utiliza esencialmente para determinar la velocidad del viento en un determinado período de tiempo (Herrero, 2016).

Para saber la velocidad del viento media mensual y la turbulencia se aplicará el cálculo de la media y desviación estándar como se muestra en las ecuaciones siguientes:

$$\bar{v} = \frac{\sum v}{N} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (v - \bar{v})^2}{N}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde la turbulencia es:

$$I = \frac{\sigma}{\bar{v}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Una de las funciones estadísticas que se adapta de mejor manera a la variabilidad del viento es la conocida función de densidad de probabilidad de Weibull. Dicha función necesita el conocimiento de dos parámetros: el de factor de forma k y el de factor de escala c . Estos dos parámetros son función tanto de la velocidad media $\bar{v}$ como de la desviación estándar σ (Herrera, 2011).

Las funciones de densidad de probabilidad de Weibull y la función de distribución acumulada de Weibull adoptan la siguiente forma:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad \text{Ecuación 10}$$

2.2.1.3 Determinación de parámetros estadísticos.

Para determinar los parámetros estadísticos se utilizará las fórmulas analizadas en la sección anterior, por lo que los valores de velocidad media mensual, desviación estándar y turbulencia de enero a agosto se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Determinación de parámetros estadísticos del viento

Fuente: Elaboración propia.

Mes	V media	Desviación	Turbulencia
Enero	1,7759483	1,48107371	0,83396218
Febrero	1,75586756	1,15202958	0,65610278
Marzo	1,61701344	1,1739032	0,72596997
Abril	1,53208333	1,15233866	0,75213837
Mayo	1,59690444	1,12981099	0,70750069
Junio	1,61819444	1,07977465	0,66727126
Julio	1,73252688	1,12913982	0,65173004
Agosto	1,83319892	1,3499165	0,73637207

En las figuras 40 y 41 se muestran el comportamiento mensual del viento y la turbulencia

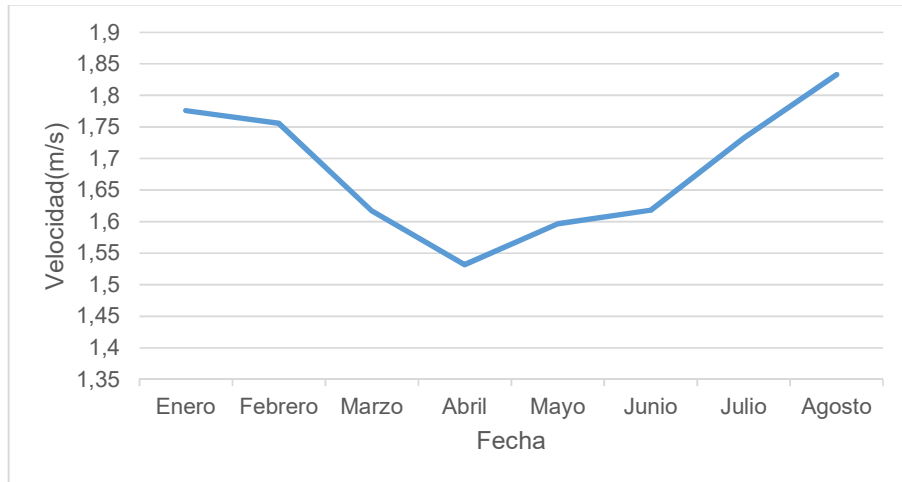


Figura 40. Comportamiento mensual del viento

Fuente: Elaboración propia.

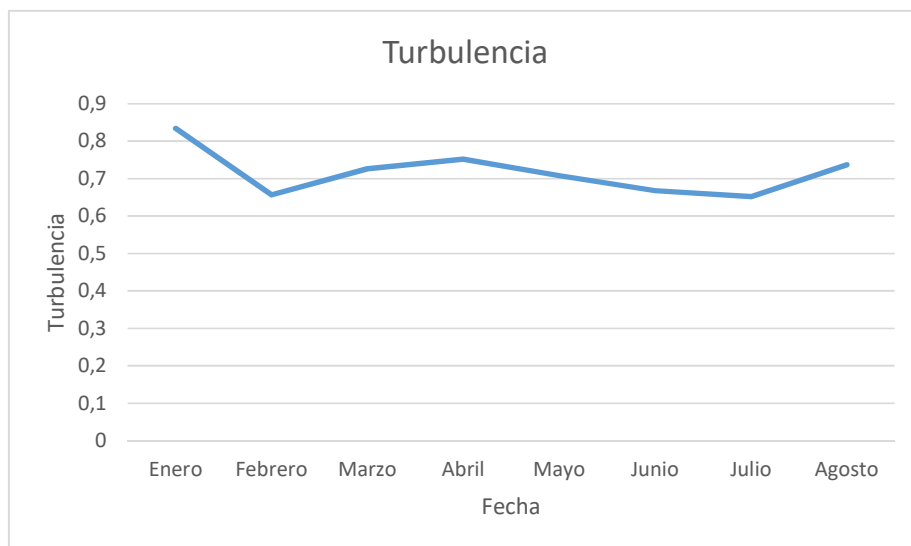


Figura 41. Comportamiento mensual de la turbulencia del viento

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Evaluación del recurso solar.

Para la determinación del recurso solar es importante el conocimiento de la latitud precisa de la zona de estudio en donde se realiza la instalación y disponer de la información de la irradiancia global de la localidad, la cual ha sido facilitada por el centro meteorológico del Laboratorio de Simulación en Tiempo Real.

Para iniciar con el estudio de la radiación solar es necesario el conocimiento de ciertos términos que intervienen en el desarrollo. La irradiancia es la potencia incidente por unidad

de superficie, presentada en W/m^2 , mientras que la irradiación hace referencia a la energía incidente por unidad de superficie en un tiempo determinado, presentada en Wh/m^2 día.

Se puede observar el comportamiento de la irradiancia global diaria en las siguientes tablas y gráficas, donde se muestra los resultados de los promedios obtenidos mediante la estación meteorológica de la zona bajo estudio.

Tabla 12. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m^2], enero 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	499.1	402	467.7	488.5	454.2	362.3
394.3	377.2	472.5	512.1	445.1	354.1	367.4
492.1	471.7	528.2	498.4	303.1	311.4	229.3
171.2	207.7	596.2	551.7	532	532.8	597.3
568.3	397.9	328.7	311.4			

Tabla 13. Irradiancia global diaria máxima [W/m^2], enero 2019,

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	999	982	978	1073	1064	898
886	718	1129	1097	1030	822	905
1055	930	955	960	585	788	581
376	510	1073	956	1143	1098	1107.1
1074.9	1173.6	863.2	1097			

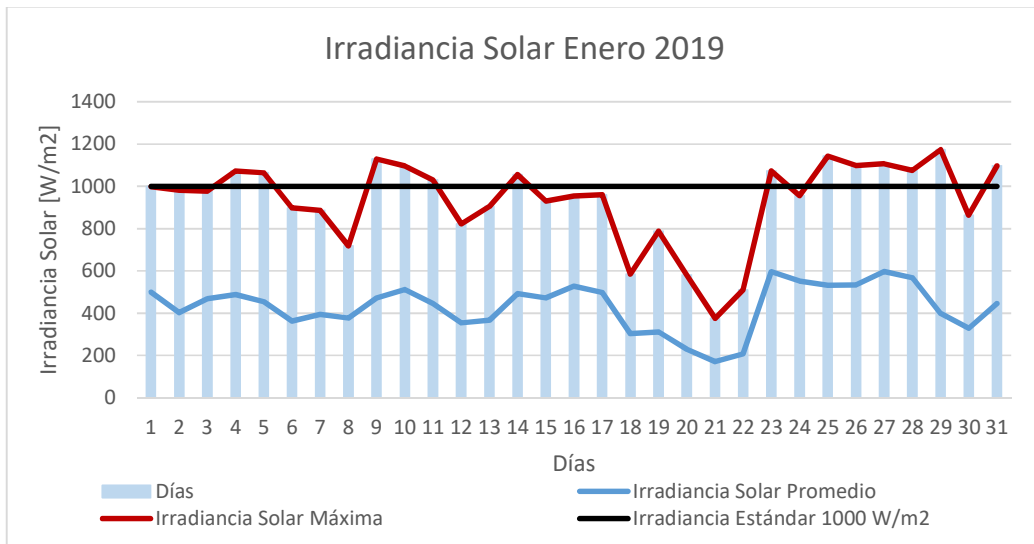


Figura 42. Comportamiento de Irradiancia global diaria, enero 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m²], febrero 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				413.9	451.1	370
369.6	342.2	333.4	334	296	324.7	223.6
243.6	240.3	431.6	404.6	333.2	499.2	452.2
286.8	426.9	360.5	371	409.3	351.7	400.2
377.1	466.2	366.1	582.4			

Tabla 15. Irradiancia global diaria máxima [W/m²], febrero 2019,

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				834.2	922.6	982.6
824.7	976	780.9	632.5	655.9	534.7	454.5
463.4	1022.5	831.2	651.4	975.3	968.4	698
1069.4	735.6	827.6	909.4	805	822.7	1088.8
953.7	913.7	1192.2	690.2			

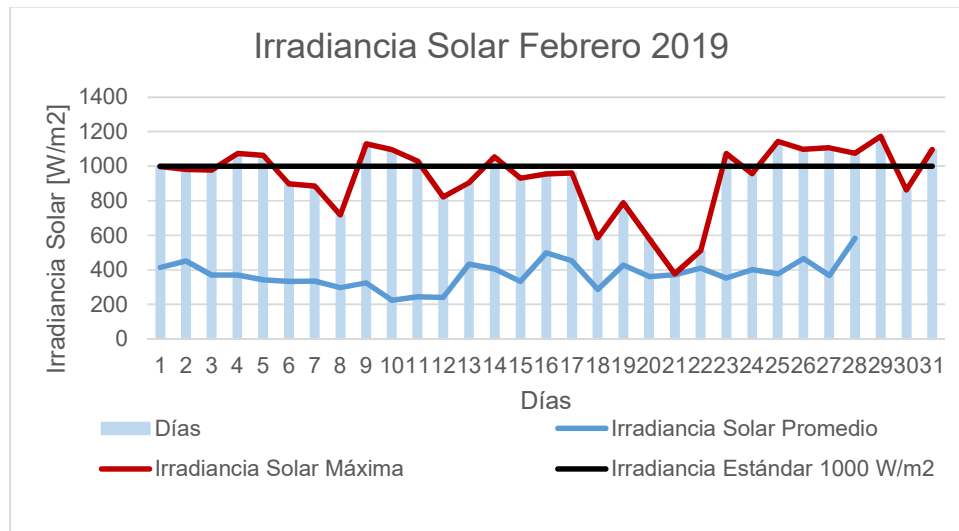


Figura 43. Comportamiento de Irradiancia global diaria, febrero 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m²], marzo 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				279.2	301.8	450
277.6	264.9	521.4	334.1	241	412.7	363.7
324.4	492.3	418.6	122.5	399.4	348.2	273.9
204.9	344.2	302.5	299.5	345.5	366.9	238.9
347.5	426.5	229.9	474.8	431	515.8	492.3

Tabla 17. Irradiancia global diaria máxima [W/m²], marzo 2019,

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				596.8	620.4	1092.4
480.6	748.9	1128.3	813.2	796	1072.9	1151.9
1066.3	1154.9	1105.3	358.5	1018.6	816	677
456	676	672	630	745	841	433
752	928	516	930	1136	1057	558

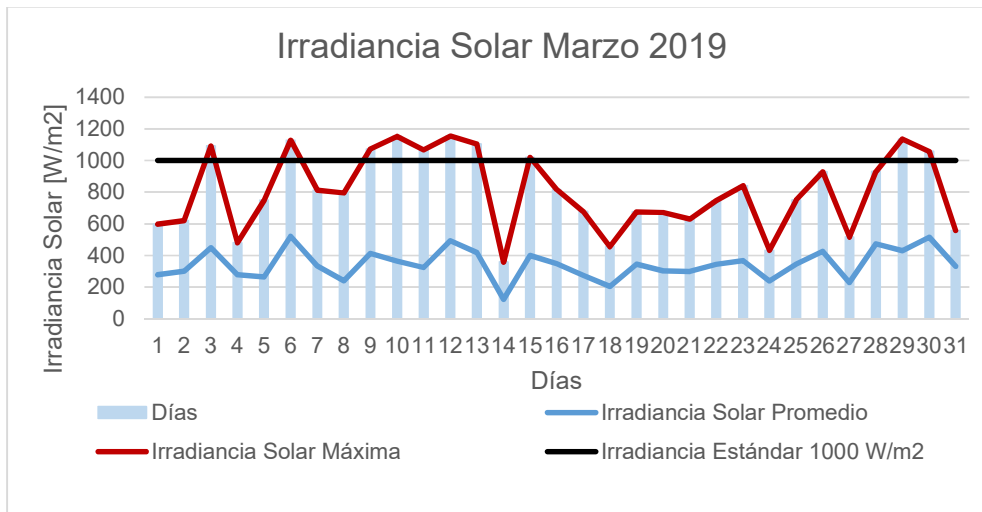


Figura 44. Comportamiento de Irradiancia global diaria, marzo 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m²], abril 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
200.7	340.2	232.2	377.5	395.2	380.2	309.1
358.2	379.3	368.9	428.7	424.2	362.7	534
515.2	379.1	262.9	390.1	406.7	310.9	363.4
353.6	423.8	359.9	462.4	404.5	441.9	244.7
400.9	321.8					

Tabla 19. Irradiancia global diaria máxima [W/m²], abril 2019,

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
668	452	947	513	858	762	953
769	839	779	947	982	1058	770
1086	1052	928	525	773	905	669
812	746	945	810	1024	1065	1058
712	1014					

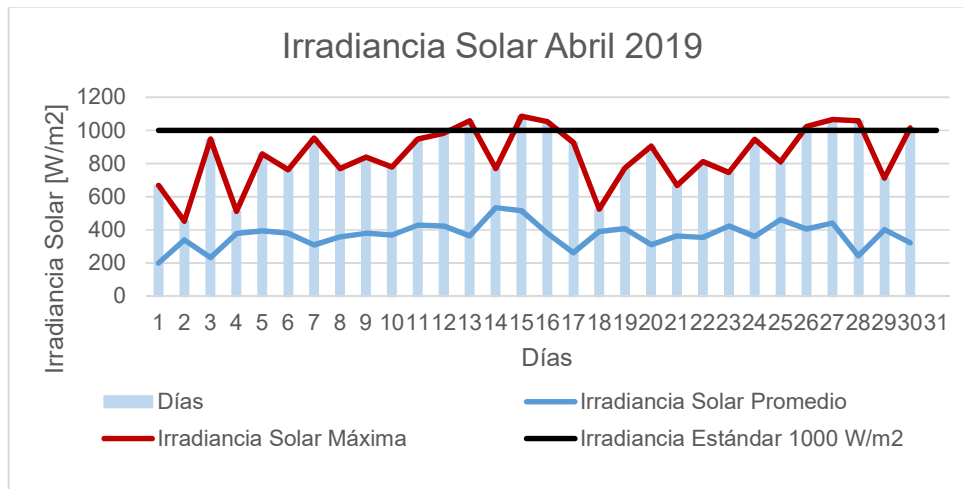


Figura 45. Comportamiento de Irradiancia global diaria, abril 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m²], mayo 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		392.2	473	481	298.9	393.2
274.2	407.9	384.5	285.7	318.5	433	444.9
284.6	276.3	249.5	371.5	264.1	460.2	415.2
393.3	389	360.6	355.5	299.4	257.7	442.8
516.5	305.8	356.5	356.1	249.5		

Tabla 21. Irradiancia global diaria máxima [W/m²], mayo 2019,

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		928	824	1018	1014	586
666	712	876	928	823	836	816
755	525	671	510	880	493	959
951	949	841	818	735	675	771
949	977	908	998	941		

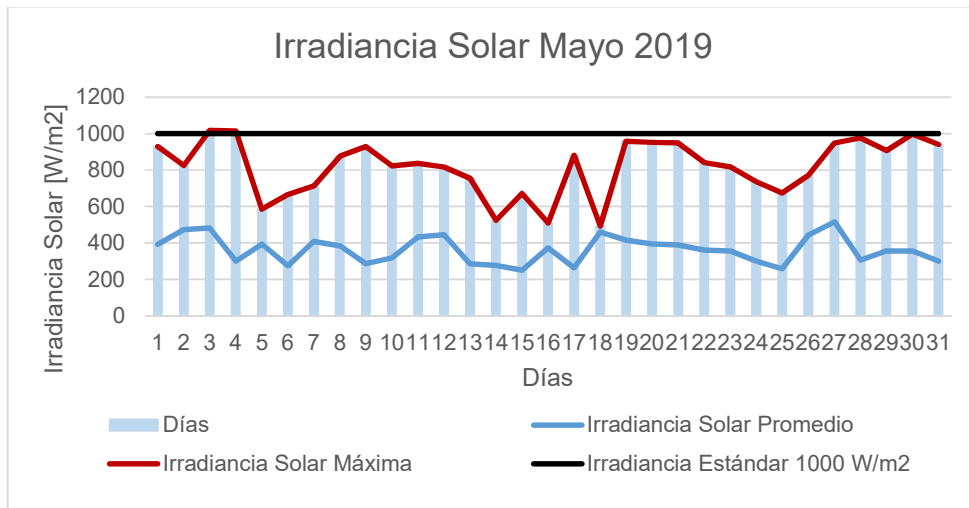


Figura 46. Comportamiento de Irradiancia global diaria, mayo 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m²], junio 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
					297.1	337.8
249.8	306.2	388.9	438.9	307.7	461.6	225.5
413.7	425.3	379.5	347.3	118.8	423.7	182.5
133.8	217.6	263.3	214.7	192.3	230.5	201
210.4	277.1	417.3	398.1	352	342.2	397.1

Tabla 23. Irradiancia global diaria máxima [W/m²], junio 2019,

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
					913	696
555	640	906	944	697	949	635
860	840	791	865	276	953	319
336	422	535	454	579	458	514
440	683	956	859	803	766	955

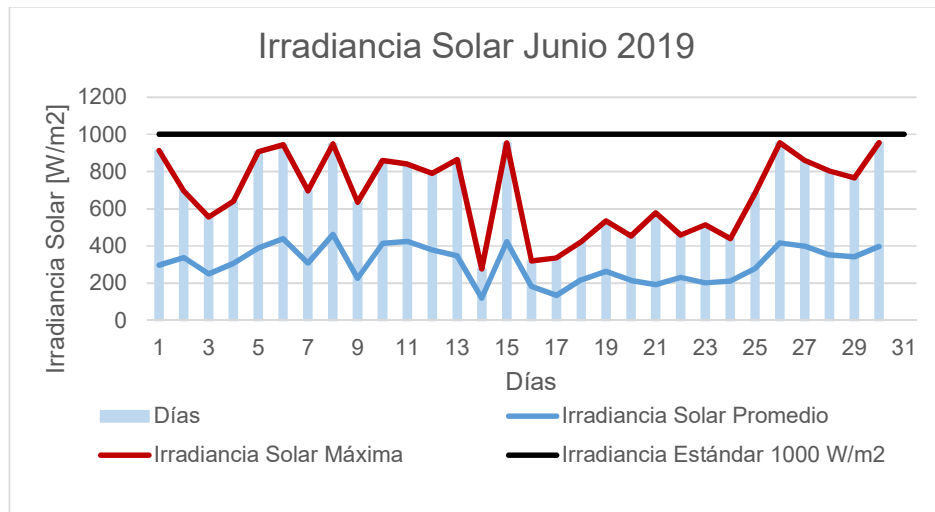


Figura 47. Comportamiento de Irradiancia global diaria, junio 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m²], julio 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
333.8	127.8	334.7	425.6	314.8	372.2	374.2
418.2	323.6	326.8	261	277.6	267.7	332.5
297.4	455.6	243.5	318.8	367.3	254.8	314.2
206.7	339.8	317.8	344.3	283.2	304.4	350.4
204.2	186.9	314.8				

Tabla 25. Irradiancia global diaria máxima [W/m²], julio 2019,

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
686	762	284	817	799	688	794
750	878	759	695	580	747	718
657	682	954	633	540	934	741
711	519	756	832	818	712	802
938	584	456				

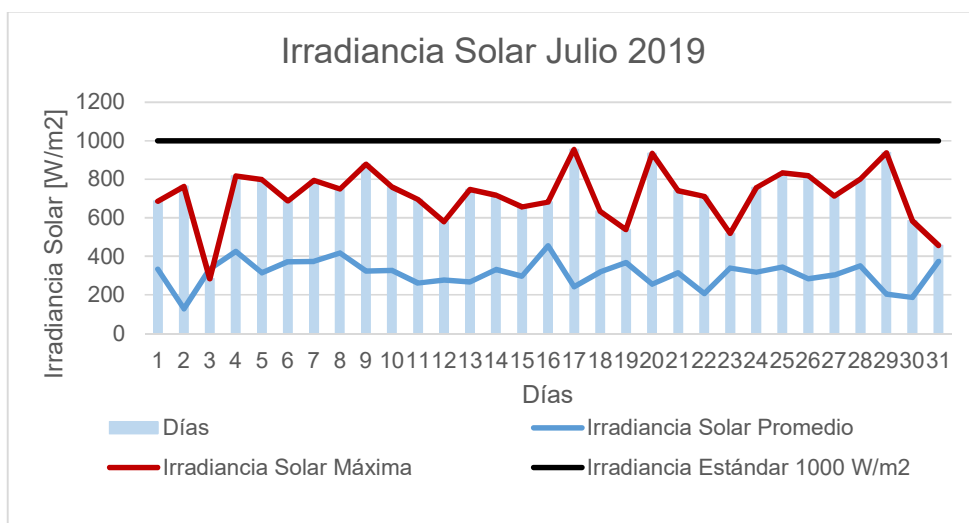


Figura 48. Comportamiento de Irradiancia global diaria, julio 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Promedio de Irradiancia global diaria [W/m²], agosto 2019.

Fuente: Elaboración propia

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
			213.5	300.5	229.8	206.2
354.7	427.5	414.5	247.7	277.2	327.9	377.6
302.3	373.4	523.8	545.4	422.2	262.1	339.6
262.1	294.7	444.9	533.2	287.5	466.1	591.9
525.5	139.2	374.6	457.38	498.3	444.9	

Tabla 27. Irradiancia global diaria máxima [W/m²], agosto 2019,

Fuente: Elaboración propia.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
			521	708	499	445
835	840	973	543	709	602	702
651	809	1027	1087	809	647	849
520	655	1073	1010	596	975	1058
1018	390	1080	920	1053	1087	

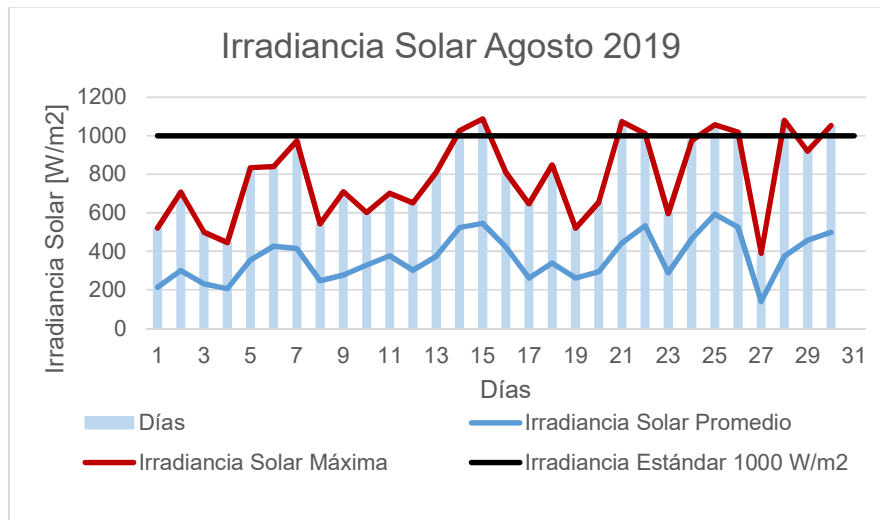


Figura 49. Comportamiento de Irradiancia global diaria, agosto 2019.

Fuente: Elaboración propia

En días claros y con una atmósfera despejada, las lecturas de irradiación rara vez se realizan con resultados que superen los 1000 W/m². Valor que ha sido considerado como estándar a nivel internacional en la aplicación de paneles fotovoltaicos.

De las figuras anteriores se puede obtener un nuevo término conocido como Hora Sol Pico (HSP) en las cuales se puede determinar cuántas horas del día se obtendrá 1000 W/m². Para ello es necesario observar las siguientes figuras correspondientes a los meses del 2019 y observar los picos de irradiancia que sobrepasen los 1000W/m² con su respectivo intervalo de tiempo.

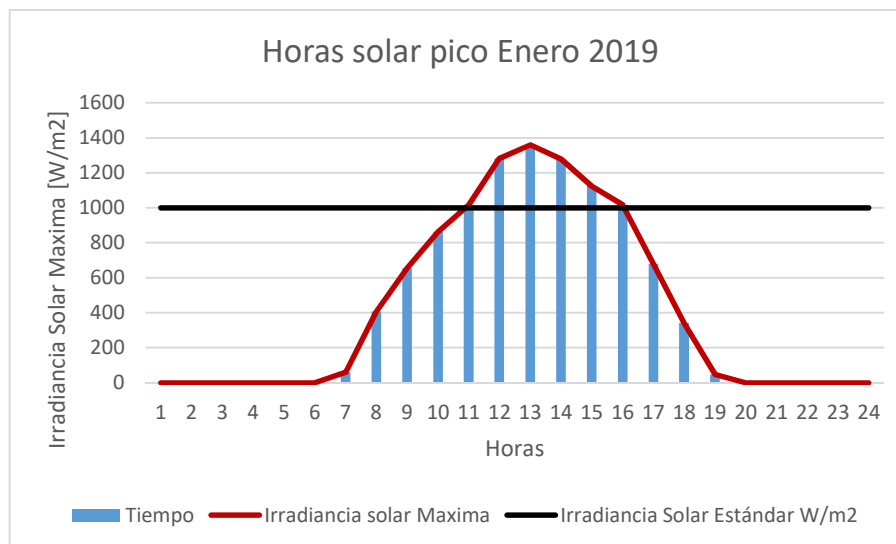


Figura 50. Comportamiento de las HSP, enero 2019

Fuente: Elaboración propia

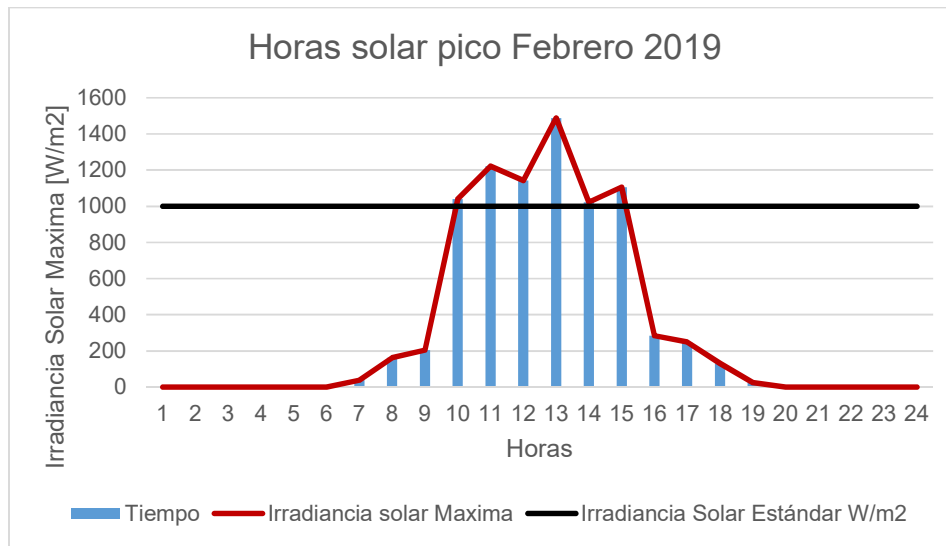


Figura 51. Comportamiento de las HSP, febrero 2019

Fuente: Elaboración propia

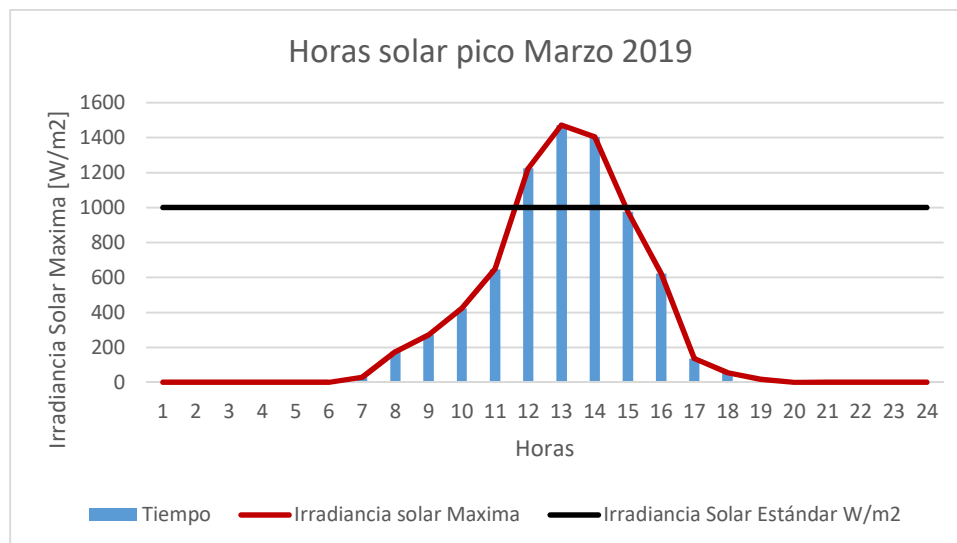


Figura 52. Comportamiento de las HSP, marzo 2019

Fuente: Elaboración propia

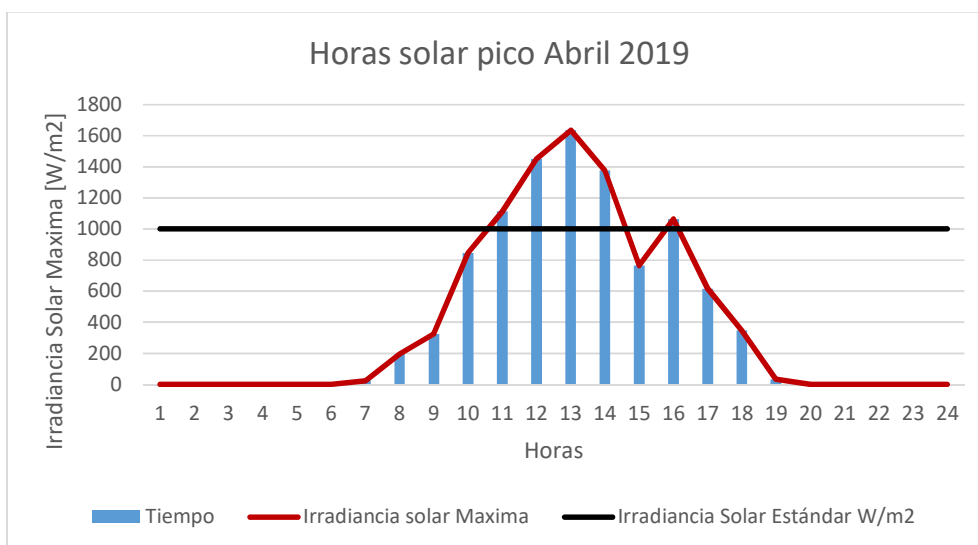


Figura 53. Comportamiento de las HSP, abril 2019

Fuente: Elaboración propia

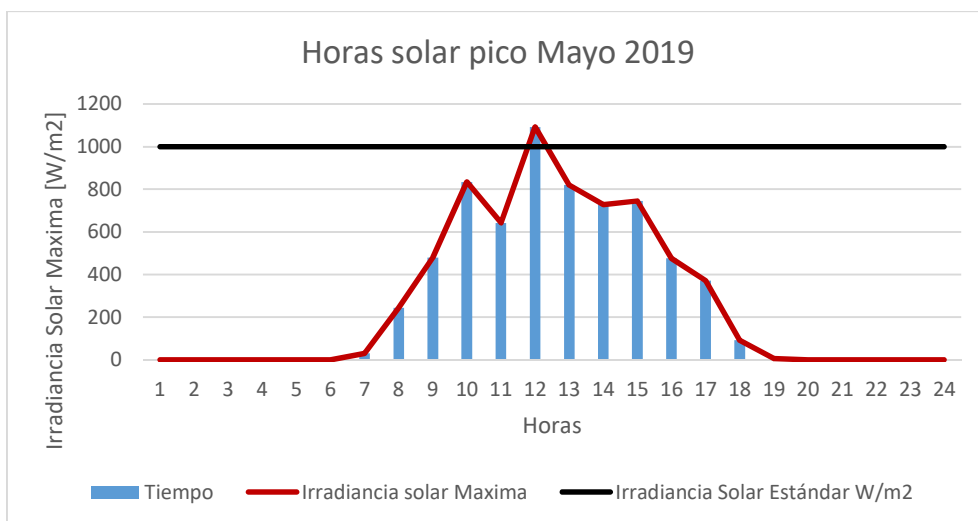


Figura 54. Comportamiento de las HSP, mayo 2019

Fuente: Elaboración propia.

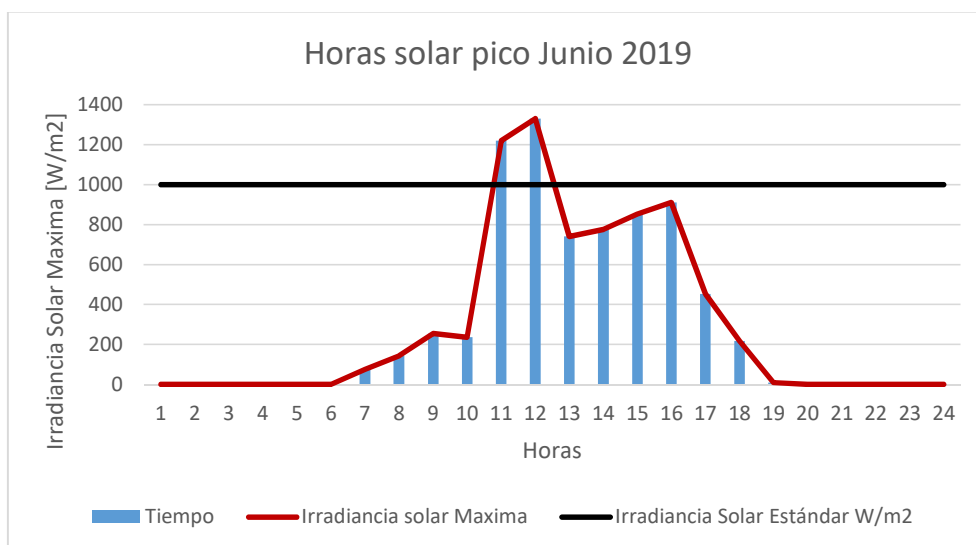


Figura 55. Comportamiento de las HSP, junio 2019

Fuente: Elaboración propia.

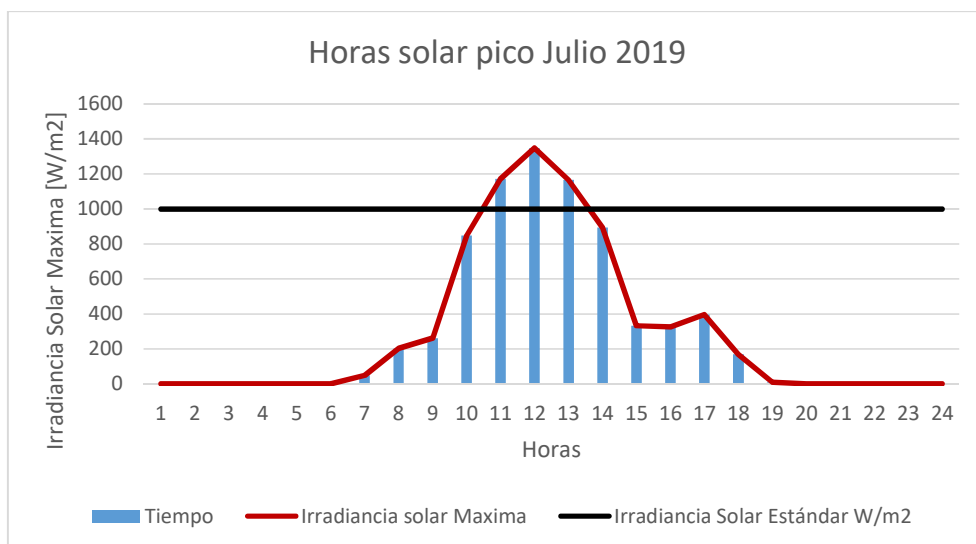


Figura 56. Comportamiento de las HSP, julio 2019

Fuente: Elaboración propia.

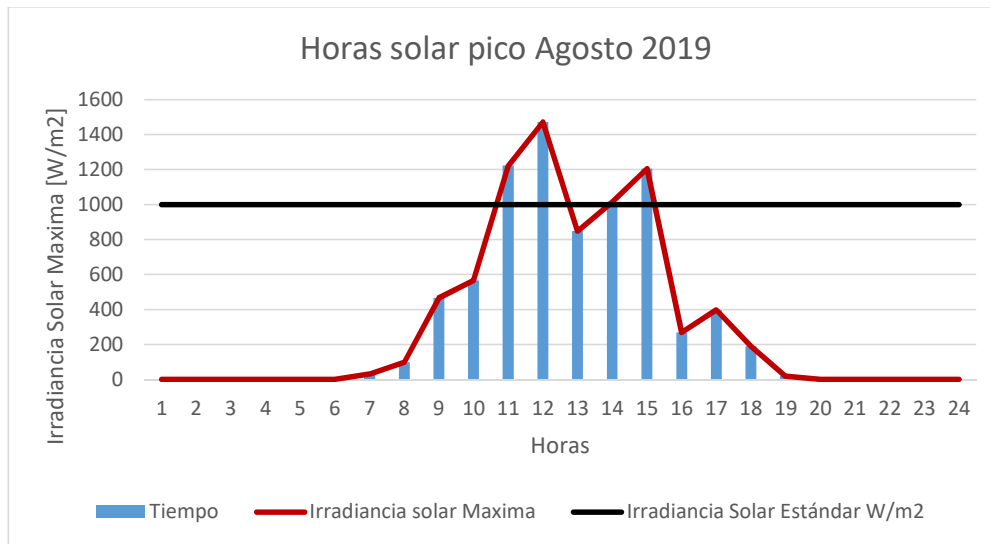


Figura 57. Comportamiento de las HSP, agosto 2019

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados anteriores se puede observar que se obtendrá una excelente radiación incidente alrededor de 4 horas, pudiendo aprovechar la máxima potencia entregada por los paneles fotovoltaicos.

CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

3.1 Tratamiento de excedentes energéticos

La energía excedente obtenida por el sistema híbrido puede ser utilizada bajo las siguientes modalidades dependiendo de los reglamentos de las empresas distribuidoras:

➤ **Reducción del monto facturado por el consumo de energía eléctrica.**

Para este caso la empresa de distribución eléctrica se responsabiliza en tomar un registro de la cantidad de energía sobregenerada y de esta forma facturar al usuario el cobro mínimo según el contrato establecido. Esta modalidad de contrato es más frecuente en algunos países en donde el desarrollo de los sistemas de generación de energía no contaminante comienza a ser incentivado, tal es el caso de España el cual establece que todo beneficiario que adquiera un contrato de tarifa regulada o Precio Voluntario para Pequeños Consumidores (PVPC) con un comercializador de referencia y estar acogido al mecanismo de compensación simplificada definida en el Real Decreto 244/2019 por el que se remunera con una reducción de su factura de electricidad al autoconsumidor que integra su energía generada y no consumida en la red (Gobierno de España, 2019).

➤ **Compra y venta de energía producida**

Para esta modalidad se considera los sistemas con generación distribuida, en donde la energía producida puede ser utilizada por consumidores y los excedentes son comprados por la empresa distribuidora generalmente a un menor costo en comparación con la energía suministrada por la misma. Este tipo de contrato de compra y venta es frecuente en aquellos países en los que contribuye al avance y al desarrollo de las microrredes con sistemas de generación de energía no contaminante durante muchos años, y en los que la distribución de energía eléctrica tiene un alto precio. En estos países existen normativas y regulaciones para los pequeños productores independientes de energía eléctrica, así como también incentivos que permiten que la instalación de este tipo de sistemas sea económicamente factible, ya que son considerados de forma independiente que los grandes productores. Tal es el caso de Italia que ha desarrollado el plan Conto Energía (Factura de Energía) el cual consta de desembolsos enfocados en la energía generada y su excedente puede ser vendido a la red de distribución (Álvaro, Larrea , & Álvarez, 2018).

3.2 Dimensionamiento del sistema híbrido

Para dimensionar un sistema híbrido se pueden utilizar muchos métodos, que van desde algunos muy complejos que necesitan un programa de simulación, hasta otros más sencillos que se pueden realizar utilizando algunas ecuaciones y hojas de cálculo. A continuación, en la figura 58 se muestra un esquema básico para el dimensionamiento de un sistema híbrido.

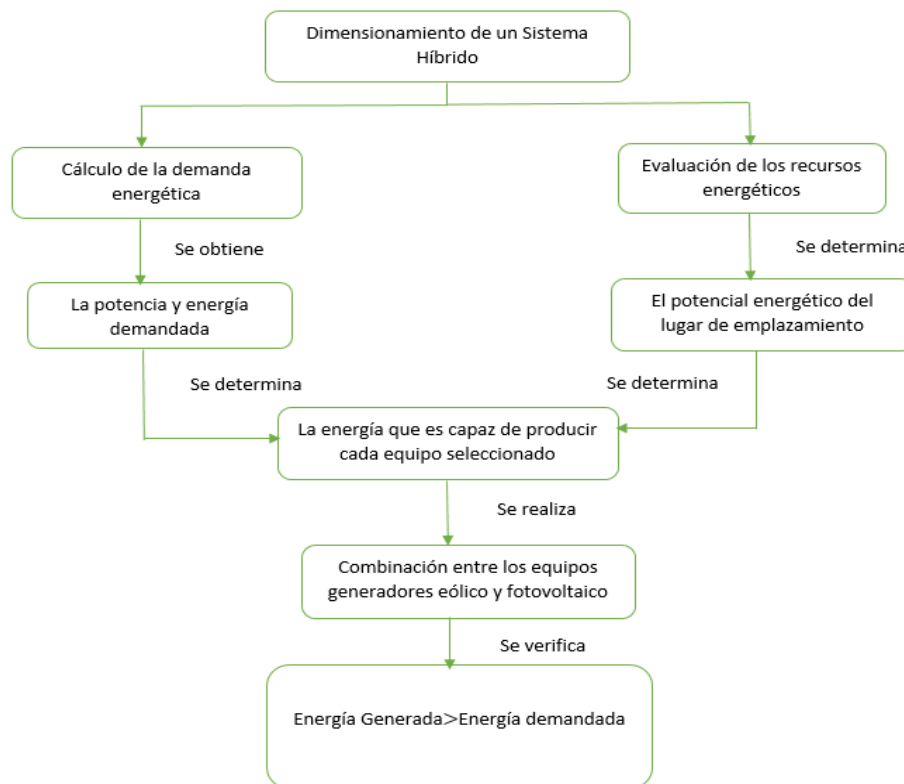


Figura 58. Dimensionamiento de un sistema híbrido.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las especificaciones técnicas de los equipos que se mostrarán en el siguiente apartado y de los datos del potencial de energía solar y eólica del emplazamiento que se analizaron en el capítulo 2, se calcula la energía que cada panel fotovoltaico y el aerogenerador elegido son capaces de producir. El proyecto es viable si el aporte energético de la combinación de paneles y aerogenerador es mayor que la demanda energética del lugar.

Con el fin de obtener la energía teórica que generaría el aerogenerador en base a los resultados encontrados por la estación meteorológica, se ha ejecutado el método de distribución de Weibull (ecuaciones 6 y 7 del capítulo 2) mostrados en la tabla 28, en donde dependiendo de las tasas de variación de la velocidad del viento y una aproximación basada en la curva de generación de energía acorde a los datos de fábrica tal como se observa en las gráficas 59, se puede determinar la generación anual del aerogenerador.

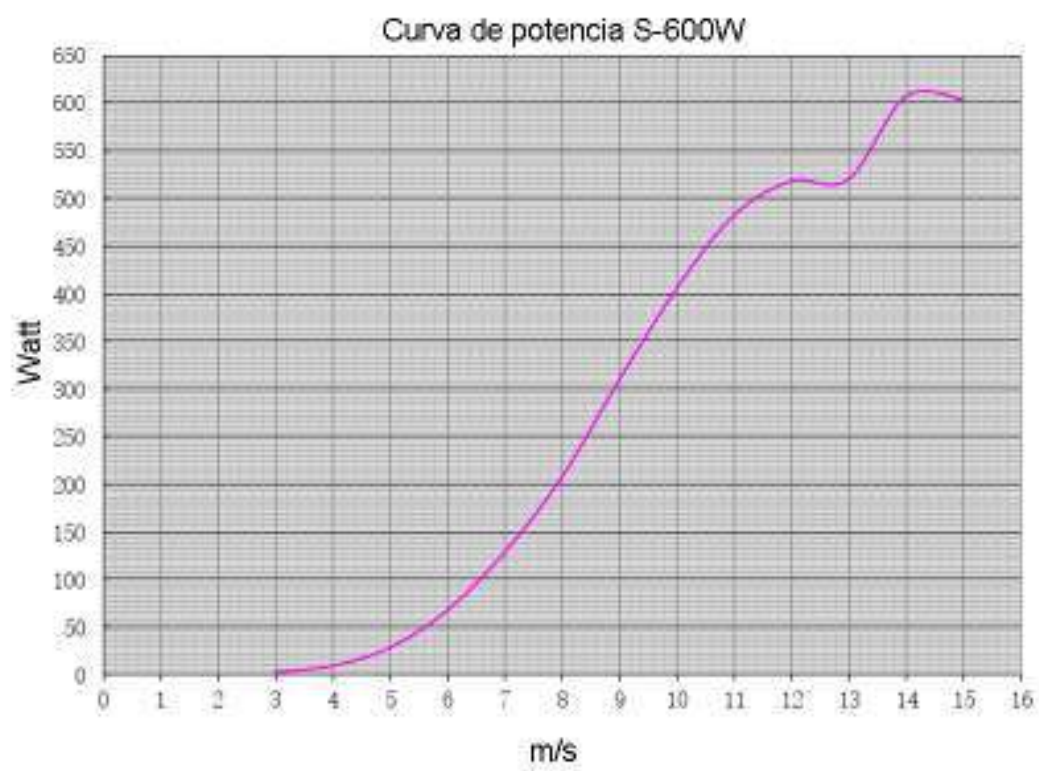


Figura 59. Curva de generación del aerogenerador.

Fuente: (Rentería, 2019).

Tabla 28. Determinación de la energía producida mediante el método de distribución de Weibull.

Fuente: Elaboración propia

V (m/s)	Obs.	F.	F.Ac.	x	y	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})$ * $(y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$
0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,18	0,23	-0,27	1,39
1,00	6	0,02	0,02	0,00	-4,09	-1,18	-3,87	4,55	1,39
2,00	66	0,18	0,20	0,69	-1,51	-0,49	-1,28	0,62	0,24
3,00	88	0,24	0,44	1,10	-0,54	-0,08	-0,31	0,02	0,01
4,00	109	0,30	0,74	1,39	0,31	0,21	0,53	0,11	0,04
5,00	57	0,16	0,90	1,61	0,84	0,43	1,06	0,46	0,19
6,00	27	0,07	0,98	1,79	1,31	0,61	1,53	0,94	0,38
7,00	7	0,02	0,99	1,95	1,65	0,77	1,87	1,44	0,59
8,00	2	0,01	1,00	2,08	0,00	0,90	0,23	0,20	0,81
Total	362	1,00	Prom	1,18	-0,23		Suma	8,09	5,03
k	b	c	$\bar{v}$	P(W/m²)	E(KWh/m²)	Área Pala	E. Anual (KWh)		
1,61	-2,12	3,74	3,35	41,74	365,68	2,01	735,01		

De la tabla anterior se obtiene que la energía producida anualmente por este aerogenerador es de 735.01 kWh, a continuación, se procede a realizar el cálculo de la energía generada por un módulo fotovoltaico, para esto es necesario la potencia máxima del panel y las horas solar pico, como se muestra en la ecuación 11.

$$E_{gen} = P_{max} * HSP/1000 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

E_{gen} : Energía anual producida por los paneles fotovoltaicos. [kWh].

P_{max} : La potencia máxima que puede generar los paneles (Datos de fábrica) [W]

HSP : Horas Solar Pico [h].

De acuerdo a la ecuación 11 y al resultado de HSP de la tabla 21 del capítulo 2 se obtiene que la energía generada por un panel fotovoltaico anualmente es de 550.605 kWh, con estos resultados que se muestran en la tabla 29 se procede a determinar el número de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos que necesita el sistema híbrido puede suplir la energía necesaria para el consumo energético de las cargas del laboratorio de simulación en tiempo real.

Tabla 29. Resumen de Generación vs Consumo energético

Fuente: Elaboración propia.

Generación-aerogenerador [kWh/año]	Generación-Paneles Fotovoltaicos [kWh/año]	Total [kWh/año]	Consumo Energético [kWh/año]
735.01	550.605 kWh	1285.615	6246.24

A continuación, en la tabla 30 se muestra el número de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos necesarios para este sistema híbrido, tomando en cuenta que este sistema debe de cubrir un 10% adicional a la demanda de energía, debido a las pérdidas que se producen en el sistema.

Tabla 30. Numero de aerogeneradores y paneles solares necesarios para cubrir toda la demanda del laboratorio de simulación en tiempo real.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Marca	Cantidad	Generación por Equipo [kWh/año]	Generación Total [kWh/año]
Aerogenerador	Zonhan S-600W	3	735.01	2205.03
Panel solar	ECO GREEN ENERGY 350 W	8	550.605	4404.84
Total				6609.87
Consumo Energético [kWh/año]	6246.24			

Para la correcta selección de un inversor hay que tener en cuenta diversos factores, el primero de ellos es que la potencia máxima de salida tiene que ser estable y debe abastecer la demanda de potencia requerida, no obstante, se recomienda sobredimensionar el cálculo del inversor para el caso de la incorporación de cargas futuras, lo segundo es que debe

proporcionar corrientes de arranque y al mismo tiempo abastecer al resto de cargas del sistema, el último factor es la tensión de salida.

El rendimiento de los inversores se encuentra en el rango del 80 y el 90%, debido a que hay pérdidas en la conversión de la energía en CC a energía en CA.

La potencia nominal del inversor apropiado será el valor dentro del siguiente rango:

$$\begin{aligned} \text{Suma consumo de cargas} \times 0.75 &> P_{\text{inversor}} \\ &> \text{Suma consumo de cargas} \times 0.5 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 12}$$

A partir de la ecuación 12 y la tabla 7 se tiene que la potencia del inversor está en el siguiente intervalo:

$$\begin{aligned} 1920W \times 0.75 &> P_{\text{inversor}} > 1920W \times 0.5 \\ 1440W &> P_{\text{inversor}} > 960W \end{aligned}$$

El inversor necesario para este sistema debe poseer una potencia inferior a 1440 W y superior a 960 W. Una vez realizado el cálculo de la potencia del inversor, se selecciona uno o varios que se ajusten a este valor. Los inversores que se utilizarían para cubrir toda la demanda del laboratorio serían dos de la marca ZONHAN (CD/CA) de 500 W dando una potencia total de 1000 W.

Para calcular el número de baterías en serie se aplica la siguiente fórmula:

$$\# \text{ Baterías en serie} = \frac{V_{\text{sistema}}}{V_{\text{nominal de la Batería}}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Se sabe que el voltaje de cada panel es de 24V, como estos van a estar conectados en paralelo, se tiene que el voltaje del sistema será $V_{\text{sistema}} = 24V$, por otro lado se escogerá baterías de 12V, por tanto $V_{\text{nominal de la Batería}} = 12V$. A partir de estos datos se tiene que el número de baterías para este sistema será:

$$\# \text{ Baterías en serie} = \frac{24V}{12V} = 2$$

3.3 Selección de equipos del sistema híbrido

Con los valores obtenidos en el capítulo 2 sobre la demanda energética se obtiene un promedio de consumo de la carga bajo estudio de la cual se obtuvo un valor de 15.60 kWh, con este resultado se puede aproximar la demanda total de energía mensual, tal como se observa en la tabla 31.

Tabla 31. Consumo energético mensual.

Fuente: Elaboración propia.

Mes	Número de días	Consumo total de energía [kWh]
Enero	31	483.6
Febrero	28	436.8
Marzo	31	483.6
Abril	30	468
Mayo	31	483.6
Junio	30	468
Julio	31	483.6
Agosto	30	468
Septiembre	31	483.6
Octubre	30	468
Noviembre	31	483.6
Diciembre	30	468
Total	365	5678.4

Los resultados de la tabla anterior presentan que el consumo anual de energía eléctrica es de 5678.4 kWh. Para el dimensionamiento del sistema híbrido es necesario tomar en cuenta las pérdidas generadas por otros dispositivos que intervienen en el funcionamiento, por lo tanto, se le suma el 10% extra a la demanda calculada, dando como resultado 6246.24 kWh anuales.

A continuación, se realiza el análisis de la tecnología implementada para el sistema híbrido del laboratorio de simulación en tiempo real, la cual consta de los equipos de la tabla 32.

Tabla 32. Equipos utilizados en el sistema híbrido.

Fuente: Elaboración propia.

Sistema Híbrido	
Equipo	Cantidad
Módulo Fotovoltaico ECO GREEN ENERGY 350W	2
Inversor de corriente (CD/CA) 500W ZONHAN	1
Controlador de tensión 24 V TriStar	1
Interruptor termomagnético 400 V 16 A	1
Baterías 12 V 100 Ah	2
Aerogenerador 600W	1

➤ **Descripción general de los equipos**

Panel Solar Fotovoltaico ECO GREEN ENERGY 350 W (Tabla 33 y figura 60)

Tabla 33. Datos Generales del módulo fotovoltaico ECO GREEN ENERGY 350 W

Fuente: Elaboración propia.

Características Eléctricas		
Características	Unidad	Valor
Potencia de salida	W	350
Eficiencia del panel	%	18.04
Máximo voltaje de operación	V	38.71
Máxima corriente de operación	A	9.04
Voltaje de circuito abierto	V	46.88
Corriente de cortocircuito	A	9.38
Tensión máxima del Sistema	V	1500

Límite de Corriente	A	15
Características Térmicas		
Características	Unidad	Valor
Rango de Temperatura	°C	45-85
Coeficiente de Temperatura de Pmax	%/°C	-0.41
Coeficiente de Temperatura de Voc	%/°C	-0.31
Coeficiente de Temperatura de Isc	%/°C	0.06
Características Mecánicas		
Características	Unidad	Valor
Dimensiones (A/A/F)	mm	1956x992x40
Tipo de Célula	---	PERC
Tamaño de las células	mm	156x156
Tipo de Vidrio	---	Alto Transparente, Bajo Hierro
Grosor de Vidrio	mm	3.2
Caja de Protección de Uniones	---	IP 65
Tipo de Conector	---	MC4
Largo de Cable	mm	900

 ECO GREEN ENERGY		
Module type: EGE-350M-72		
Rated maximum power	(P _{max})	350 W
Power tolerance		0-3 %
Current at P _{max}	(I _{mp})	8.93 A
Voltage at P _{max}	(V _{mp})	39.19 V
Short circuit current	(I _{sc})	9.25 A
Open circuit voltage	(V _{oc})	47.90 V
Nominal operating cell temp	(NOCT)	45 ± 2 °C
Weight		22.80 kg
Dimensions		1956x992x40 mm
Maximum system voltage		1500 V
Maximum series fuse rating		15 A
Cell type		Monocrystalline
Application class		A
All technical data at standard test conditions AM=1.5 E=1000 W/m ² Tc=25 °C		
 WARNING / ELECTRICAL HAZARD This photovoltaic module produces electricity when exposed to sun light. Follow all applicable electrical safety precautions. Only qualified personnel should install or perform maintenance work on this module. Do not damage or scratch the rear surface of the module. Do not handle the module when it is wet.		
   Eco Green Energy's management system has been certified by SGS as complying with ISO 9001		
JIANGSU ECO GREEN ENERGY CO. LTD Add: No. 3333 New Tong Jue Road, Tongzhou District, Nanjing, Jiangsu, P.R.China Tel: +86-513-86699181 Email: info@eco-greenenergy.com		
www.eco-greenenergy.com		

Figura 60. Datos de placa del módulo fotovoltaico ECO GREEN ENERGY 350 W

Fuente: Elaboración propia.

Aerogenerador Zonhan Liviano de 600W (Tabla 34 y figura 61)

Tabla 34. Datos Generales del Aerogenerador Zonhan de 600W.

Fuente: Elaboración propia.

Características Eléctricas		
Características	Unidad	Valor
Potencia nominal	W	600
Potencia Max	W	610
Voltaje de frenado automático	V	30
Voltaje de liberación automática	V	27
Corriente máxima de frenado	A	30
Corriente de autoconsumo	mA	≤20
Características Generales		
Características	Unidad	Valor
Diámetro de hélice	m	1.8
Velocidad de arranque	m/s	2.5
Velocidad potencia	m/s	12
Temperatura de operación	°C	-35+75
Protección IP	---	IP67

Wind Generator	
Model: 600M2	Rated power: 600W
blade number: 3	Rated voltage: 24V
Wheel diameter: 1.8m	Rated wind speed: 13m/s
IP grade: IP65	Net weight: 15kg
CE Production date: 22, 03. 2018	

Figura 61. Datos de placa del Aerogenerador Zonhan de 600W.

Fuente: Elaboración propia.

Inversor Zonhan 500 W (Tabla 35)**Tabla 35. Datos generales del Inversor Zonhan 500W****Fuente:** Elaboración propia.

Características Generales		
Características	Unidad	Valor
Rango de potencia	W	300-6000
Pico de potencia	W	600-12000
Voltaje de entrada	V	DC 12/24/48
Voltaje de salida	V	AC 100/110/120 $\pm 5\%$ AC 220/230/240 $\pm 5\%$
Frecuencia de salida	Hz	50/60 ± 0.5
Forma de onda de salida	---	Onda sinusoidal pura
Eficiencia	%	94.8 $\pm 5\%$
Protección	---	Altos/bajos voltajes de batería, sobrecargas, sobretensiones, Protección de cortocircuito en AC, Protección para cambios de polaridad
Dimensiones	mm	315x195x135

Controlador TRISTAR (Tabla 36)**Tabla 36. Datos Generales del controlador Tristar****Fuente:** Elaboración propia.

Características Generales		
Características	Unidad	Valor
Voltaje de Sistema	V	12/24/48
Consumo propio	mA	Controlador ≤ 20 Medidor ≤ 18
Máximo voltaje solar	V	125
Voltaje mínimo para operar	V	8V
Dimensiones	cm	26x12.7x7.1
Peso	kg	1.6
Encapsulado	---	Tipo 1, calificado para interiores
Temperatura ambiente de operación	°C	Controlador -40 a +60 Medidor -40 a +60
Temperatura de almacenamiento	°C	-55 a +85
Humedad	%	100 (Sin Condensación)
Protección	---	Polaridad Invertida, cortocircuitos, excesos de corriente, rayos y picos de tensión, alta temperatura, prevención de corrientes en reversa

Baterías SUNBRIGHT (Tabla 37 y figura 62)**Tabla 37. Datos Generales de las Baterías Sunbright****Fuente:** Elaboración propia.

Características Generales		
Características	Unidad	Valor
Voltaje nominal	V	12
Numero de celdas	---	6
Voltaje de carga (rango)	V	14.4-14.9
Máxima corriente de carga	A	25
Máxima corriente de descarga	A	1500 (5s)
Corriente de cortocircuito	A	5000
Temperatura en descarga	°C	-20-60
Temperatura de carga	°C	0+50
Temperatura de almacenamiento	°C	-20+60
Capacidad de almacenamiento	%	91 después de los 3 meses 82 después de los 6 meses 64 después de los 12 meses



Figura 62. Datos de placa de las Baterías Sunbright.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el sistema hibrido no es capaz de entregar la energía suficiente para las cargas, se propone trabajar con un circuito específico, en este caso la iluminación, el cual consta de 8 paneles led con sus especificaciones en la tabla 38.

Tabla 38. Característica Técnicas de los paneles LED marca LEDEX 650x650

Fuente: Elaboración propia

Características	Valor
Potencia	40W
Temp. De Color	6500K
Voltaje	100-240V
Frecuencia	50/60 Hz
Horas de Vida	20000 H

Por lo tanto, la potencia del circuito (ecuación 12) tomando en cuenta los datos de la tabla 38 es:

$$P_{total} = (\#puntos\ instalados) * (P_{instalada}) \quad Ecuacion\ 12$$

$$P_{total} = (8) * (40) = 320\ W$$

Finalmente, la demanda de potencia que se debe cubrir mediante el sistema hibrido es de 320W, mediante la ecuación 13 se procede a realizar el cálculo de la energía que consumirá este conjunto de lámparas anualmente.

$$E_{consumida} = \frac{(320W) * (12h)}{1000} * 365 = 1401.6\ kWh/año \quad Ecuación\ 13$$

El resultado de la ecuación 13 puede ser suministrado por el sistema híbrido debido a que está dentro del rango de energía generada.

3.4 Montaje de equipos

Esta sección está basada en el diagrama unifilar del anexo 3. Los principales componentes del sistema híbrido que se han elegido, requieren para su buen funcionamiento y operación una serie de estructuras de soporte, que deben ser ensambladas de forma adecuada bajo una serie de pautas y consideraciones que le permitan al sistema el aprovechamiento del máximo potencial energético del recurso solar y eólico, con un rendimiento cercano al esperado.

Los principales lineamientos y las estructuras elegidas para el montaje de los equipos serán detallados a continuación de mejor manera.

➤ Emplazamiento del aerogenerador

Una turbina eólica exige para su montaje la utilización de una torre, sobre la cual se pueda instalar. El montaje debe realizarse en el lugar donde el viento sopla con la mayor velocidad y uniformidad posible, el lugar ideal debe ser en una zona libre de obstáculos o en cualquier lugar tan alto como sea posible en relación a los obstáculos adyacentes para reducir al mínimo las turbulencias.

➤ Torre de Soporte

Las torres auto soportadas son ampliamente utilizadas en instalaciones de mini-turbinas. La principal característica que tienen estas torres es, tal y como su nombre indica, que se soportan así mismas; no requieren de tirantes de refuerzos para garantizar que la torre no se caiga.

➤ Características de la instalación del aerogenerador

El aerogenerador se instalará en el tejado del edificio y se montará en una torre sin necesidad de cables de anclaje.

Se ha optado por colocar el aerogenerador en el tejado de la edificación y no en una torre cimentada a nivel del suelo, con el objetivo de conseguir la mayor altura posible y minimizar la generación de turbulencias para maximizar el rendimiento del sistema.

La figura 63 muestra cómo se encuentra ubicado el aerogenerador sobre el edificio tal y como se explicó anteriormente.



Figura 63. Ubicación del aerogenerador en la azotea del edificio.

Fuente: Elaboración Propia.

➤ **Montaje de paneles solares**

El ensamblaje de los paneles solares que componen el conjunto fotovoltaico debe realizarse en una zona de la edificación que reciba la mayor radiación solar posible y en la que la sombra proyectada sea la menor posible. Por ello se ha elegido la cubierta como lugar de montaje de los paneles solares.

La figura 64 muestra una vista en planta del área de la azotea del edificio, donde se puede ver la distribución de los paneles solares que conforman el conjunto fotovoltaico del sistema híbrido.



Figura 64. Ubicación de los paneles solares en la azotea del edificio.

Fuente: Elaboración propia.

En anexo 4 se puede observar de forma detallada las instalaciones del sistema híbrido en el Laboratorio de Simulación en tiempo real CIITT.

A continuación, se presenta las mediciones realizadas del sistema, tabla 39 y en el Anexo 5.

Tabla 39 . Mediciones del sistema híbrido.

Fuente: Elaboración propia.

Ítem	Voltaje [V]	Corriente [A]
AC	123	2.25
DC	43.9	1.2

3.5 Presupuesto del sistema híbrido

3.5.1 Presupuesto de equipos principales (tabla 40)

Tabla 40. Presupuesto de los equipos principales del sistema híbrido.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Precio Total [\$]
Aerogenerador Zonhan 600 W	1	950	950
Modulo Fotovoltaico ECO GREEN ENERGY 350 W	2	220	440
Controlador de tensión 24 V TriStar	1	207,17	207,17
Inversor de corriente (CD/CA) 500 W ZONHAN	1	110	110
Baterías 12 V 100 Ah	2	280	560
Total			2267.17

3.5.2 Presupuesto del sistema eléctrico (Tabla 41)

Tabla 41. Presupuesto de los materiales que conforman el sistema Híbrido.

Fuente: Elaboración Propia.

Materiales	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Precio Total [\$]
Cable Concéntrico 2x12	15	1,13	16,95
Cable Centelsa #12	150	0,35	52,5
Cajas Herméticas Plásticas 20x20 Plastigama	1	7,95	7,95
Caja Hermética Dexon	1	5,25	5,25
Tubería Plástica Corrugada	50	0,26	13
Cajetines Metálicos	5	0,2	1
Amplificador De Señal Tpdlink	1	16,25	16,25
Amarras Plásticas Dexon	100	0,0325	3,25
Selector 3 Posiciones 35ª Camsco	1	32,5	32,5
Terminales Para Cable 10 Y 12awg	20	0,05	1
Terminales Ojo Para Para Cable #6	8	0,15	1,2
Metros Cable #6 Superflex Negro	4	1,25	5
Metros Cable #6 Superflex Rojo	4	1,3	5,2
Cinta Termo contraíble	1	5	5
Abrazaderas Metálicas	20	0,15	3
Protecciones Bifásicas Riel Dimm Chint	3	11,25	33,75
Protección Monofásicas Riel Dim Legrand	1	5,86	5,86
Canaleta Dexon 40x60	1	11,25	11,25
Canaleta Ranurada 40x40	1	7,25	7,25
Total			227,16

3.5.3 PRESUPUESTO DE ESTRUCTURAS (TABLA 42)

Tabla 42. Presupuesto de las estructuras de soporte de los equipos.

Fuente: Elaboración Propia.

Estructuras	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Precio Total [\$]
Mesón Para Paneles Solares Con Ángulos De 5 Cm Y Tubos Cuadrados De 4x4	1	200	200
Tubo De 4 Pulgadas Con 3,5m, Base Para Aerogenerador	1	225	225
Total			425

➤ **Análisis económico del Sistema híbrido**

El estudio económico es la fase final en la que se plantea la confiabilidad de realizar o no un proyecto en términos financieros, sin importar la magnitud del mismo. Se procede a definir términos económicos como VAN y TIR, debido a que con estos conceptos se puede realizar la validación del proyecto.

➤ **Valor actual neto (VAN)**

Este concepto nos indica la validez de un proyecto solo si su valor actual neto (VAN) es igual o mayor que cero, siendo el VAN la diferencia entre todos sus ingresos y gastos expresados en moneda corriente. La formulación matemática de este término se muestra en la ecuación 14 (Sapag & Sapag, 2008).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Y_t : Flujo de ingresos del proyecto

E_t : Egresos del proyecto

I_0 : Inversión Inicial

i : Tasa de descuento

De acuerdo con (Guerrero & León, 2018) la tasa de descuento es de 6%.

➤ **Tasa interna de retorno (TIR)**

El criterio de la tasa interna de retorno evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son

exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. La formulación matemática de este término se muestra en la ecuación 15 (Sapag & Sapag, 2008).

$$\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} + I_0 \quad \text{Ecuación 15}$$

Tabla 43. Costo de Inversión del sistema híbrido bajo estudio

Fuente: Elaboración Propia.

Sistema Híbrido		
Cantidad	Equipo/Material	Precio Final [\$]
1	Aerogenerador Zonhan 600W	950
2	Modulo Fotovoltaico ECO GREEN ENERGY 350W	440
1	Controlador de tensión 24 V TriStar	207,17
1	Inversor de corriente (CD/CA) 500 W ZONHAN	110
2	Baterías 12 V 100 Ah	560
1	Mesón Para Paneles Solares Con Ángulos De 5 Cm Y Tubos Cuadrados De 4x4	200
1	Tubo De 4 Pulgadas Con 3,5m, Base Para Aerogenerador	225
---	Materiales Varios	227,16
---	Mano de obra	250
Gastos Totales		3169.3

Para el siguiente proceso es necesario conocer el costo de generación por el sistema híbrido tomando en cuenta que el precio por kWh es de 0.0933 USD\$ según la normativa nacional dispuesta por el ARCONEL (Arconel, 2013). Los costos de operación y mantenimiento están alrededor de 0.0142 \$/kWh según la normativa internacional IRENA (IRENA, 2017). El análisis se realiza para 20 años que es el tiempo de vida útil aproximado de los equipos en los cuales funcionan a su máxima eficiencia.

Tabla 44. Validación económica del proyecto**Fuente:** Elaboración Propia.

Año	Inversión [\$]	Ingresos [\$]	Egresos [\$]	Ingresos y Egresos [\$]
0	-3169.3	0	-3169.3	-3169.3
1		119.95	-18.256	101.69
2		119.95	-18.256	101.69
3		119.95	-18.256	101.69
4		119.95	-18.256	101.69
5		119.95	-18.256	101.69
6		119.95	-18.256	101.69
7		119.95	-18.256	101.69
8		119.95	-18.256	101.69
9		119.95	-18.256	101.69
10		119.95	-18.256	101.69
11		119.95	-18.256	101.69
12		119.95	-18.256	101.69
13		119.95	-18.256	101.69
14		119.95	-18.256	101.69
15		119.95	-18.256	101.69
16		119.95	-18.256	101.69
17		119.95	-18.256	101.69

18		119.95	-18.256	101.69
19		119.95	-18.256	101.69
20		119.95	-18.256	101.69
VAN				-2002.3

De acuerdo con los resultados obtenidos de la tabla 44 se puede observar que el proyecto no es viable debido al valor negativo del VAN, debido a esto no es necesario el cálculo del TIR debido a que no se va a obtener un beneficio con el proyecto del sistema híbrido. Finalmente se realiza el cálculo del proyecto para su viabilidad ambiental, de acuerdo con (Cárdenas, 2019) en el Ecuador la generación eléctrica equivale a 0.6945 toneladas de CO₂/kWh, por lo tanto:

$$1285.615 \frac{kWh}{año} * 0.6945 \frac{toneladas\ de\ CO_2}{kWh} = 892.86 \frac{toneladas\ de\ CO_2}{año}$$

Desde el punto de vista ambiental el proyecto es absolutamente viable debido a que se evita la emisión de 892.86 toneladas de CO₂ al año.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El aerogenerador del sistema híbrido entrega una energía anual relativamente baja de 735,01 KWh que es el 13.98% de la energía máxima que puede entregar el mismo, debido a que la velocidad del viento es baja en el sitio, por lo que la turbina no llega a su potencia nominal, de ahí la necesidad de la instalación de paneles fotovoltaicos.
- Los dos paneles fotovoltaicos instalados entregan una energía total anual de 1101,21 KWh que equivale al 17,96% de la energía total que pueden entregar los mismos, sin embargo, no cubren la demanda de todo el sitio de estudio (6246,24 KWh), por lo que lo que solo se analizó el circuito de iluminación de 8 lámparas del laboratorio, logrando así que el sistema híbrido cubra esta demanda (1401,6 *kWh/año*). Es decir, el sistema híbrido instalado en el laboratorio solo cubre el 22, 44% de la demanda total.
- El montaje de los equipos es muy sencillo para este tipo de instalaciones, debido a que se lo realiza sobre la azotea del edificio, logrando así evitar instalar el aerogenerador sobre una torre robusta atirantada desde el suelo hasta el punto más alto en el sitio de estudio.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, el sistema híbrido no es viable desde el punto de vista económico debido a que su valor actual neto (VAN) en 20 años es negativo, este resultado se interpreta como que no habrá una recuperación de la inversión en todo este tiempo, por otro lado, no es necesario el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) debido a que no se obtendrá un beneficio del proyecto lo cual implica que no existirá financiamiento del estado. Sin embargo, desde el punto de vista ambiental el proyecto es totalmente viable debido a la reducción de CO₂ al año.

4.2 Recomendaciones.

- Se recomienda seguir con las mediciones tanto del viento como de la radiación solar, para analizar si es factible la incorporación de nuevos aerogeneradores y paneles solares.
- Es importante realizar un análisis a micro escala del viento mediante herramientas computacionales para conocer en qué punto del lugar de estudio existe la mayor cantidad de viento, y de esta manera colocar otra turbina, obteniendo así un mejor aprovechamiento energético.
- Por último, pero no menos importante, se recomienda dar un mantenimiento y calibración continua de los instrumentos de medición, logrando así obtener datos lo más preciso y reales posible.

REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- [1] AEG-TELEFUNKEN, S. A. (2005). Instrucciones de servicio para transformador. Alemania.
- [2] Álvaro, R., Larrea , M., & Álvarez, E. (2018). Autoconsumo Eléctrico Normativa actual y experiencias internacionales de promoción de autoconsumo. Instituto Vasco de Competitividad, España .
- [3] Ames Arroyo, H. Z., Arias Valenzuela, H. S., Olivera Ruiz, J. L., & Zacarías Cárdenas, R. (2014). Pérdidas en el Transformador y Eficiencia. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- [4] Arconel. (2013). "Participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales". Ecuador.
- [5] Arcos Aguilar, O. G. (2011). "ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES FLUORESCENTES Y SU INCIDENCIA EN EL CONTROL DE CALIDAD DE LAS JUNTAS SOLDADAS EN ACEROS AL CARBONO". Fonte: Universidad Tecnica de Ambato:
<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1367/1/Tesis%20I.%20M.%2082%20-%20Arcos%20Aguilar%20Oswaldo%20Giovanny.pdf>
- [6] ARNOUX, C. (2010). Guía de la medición de aislamiento. España: Chauvin ARNOUX Ibérica, S.A.
- [7] Autosolar. (19 de 04 de 2015). Autosolar. Fonte: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/como-son-los-inversores-de-onda-cuadrada>
- [8] Cajamarca Encalada, E. A., & Sigua Maxi, X. F. (2010). CARGABILIDAD EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA, INCIDENCIA EN LA VIDA ÚTIL, PÉRDIDAS DE ENERGÍA Y CONDICIONES OPERATIVAS. CUENCA: Tesis previa la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico.
- [9] Calderón. (Junio de 2012). Universidad Nacional del Callao. Fonte: Facultad de Ciencias Administrativas:
http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_JUNIO_2012/IF_CALDERON%20OTOYA_FCA/capitulo%208.pdf
- [10] Cañafe, C. (18 de Noviembre de 2014). Relé Buchholz. Fonte: Universidad Politecnica Salesiana: <http://es.slideshare.net/christian091672/rele-buchholz>
- [11] Cárdenas, M. (2019). Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- [12] Cardona Madariaga, D. F., González Rodríguez, J. L., Lozano Rivera, M., & Cárdenas Vallejo, H. E. (2012-2013). Aplicación de la regresión lineal en un problema de prueba. Interacción Vol.12, 75-76.
- [13] Cayambe Abad , F. P., & Martínez Garzón , J. G. (2013). Análisis de la vida útil del transformador de potencia en régimen de explotación. Aplicación al sistema de transmisión Ecuatoriano. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

- [15] Chapman, S. J. (2000). Transformador. Em S. J. Chapman, Maquinas Electricas (pp. 62-63). Colombia: Mc Graw Hill.
- [16] Chumo, E. A. (2018). Eficiencia Energética en Función del Desarrollo del Plan Maestro de Electrificación (PME) en Ecuador. Quito: Manthra Comunicación.
- [17] Cilveti, I. P. (2010). encuentran en una estructura rígida para asegurar la estanqueidad, esto favorece la captación de radiación solar y evacuación de calor, de esta manera se garantiza un mayor rendimiento. Barcelona.
- [18] Corrales Leon, J. C. (1999). Pruebas para instalacion, puesta en servicio, operación y mantenimiento de transformadores de potencia. Quito: Tesis previa a la obtencion del título de Ingeniería en Sistemas Electricos de Potencia.
- [19] Cortés, M. A. (2015). Determinación del Consumo y Eficiencia Energética del inmueble: Edificio Pabellón de Anatomía Humana. Trabajo de titulación. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- [20] De La Fuente, M. A. (Julio de 2013). ABB. Fonte: Jornadas Técnicas Diagnóstico / Ensayos Básicos:
[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/14939065d9a9f38fc1257ba50052a6aa/\\$file/1307Seminario+Tecnico+Lisboa+5-diagnosticos+Ensayos+b%C3%A1sicos.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/14939065d9a9f38fc1257ba50052a6aa/$file/1307Seminario+Tecnico+Lisboa+5-diagnosticos+Ensayos+b%C3%A1sicos.pdf)
- [21] Dr. Hernández, O. (s.f). Mantenimiento a transformadores de potencia. CUJAE.
- [22] Electricidad, C. F. (2003). Comisión Federal de Electricidad Manual de Procedimientos de pruebas de Campo para Equipo Primario de Subestaciones de Distribución . Mexico: CFE.
- [23] Enair.(1970-2020).Enair.Fonte:
https://www.enair.es/es/app?fbclid=IwAR2I6MrMB7cjuM9rW1eOhPSqk22LJGnKjkP1WGiiF03GeUe43nzB9_1SdEenergiaeolicacts. (25 de 10 de 2010).
energiaeolicacts.energy.gov. (s.d.). energy.gov. Fonte:
<https://www.energy.gov/energysaver/buying-and-making-electricity/hybrid-wind-and-solar-electric-systems>
- [24] Engineers, I. o. (2005). IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus- Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors. New York : Institute of Electrica and Electronics Engineers.
- [25] Engineers, T. I. (1977). IEEE Standard Test Code for Resistance Measurement. IEEE Standards Board.
- [26] Farfán, F. P. (2018). Agroclimatología. Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala.
- [27] Flores, W., Mombello, E., Rattá, G., & Jardini, J. A. (2007). Vida de transformadores de potencia sumergidos en aceite: Situación actual. Parte I. Correlación entre la vida y la temperatura. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, 51-53.
- [28] Galbarro, H.R.(s.d.).ingmecanica.Fonte:
<https://ingmecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>
- [29] GALLEGO, N. S. (2016). DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO SOLAR PARA EL BOMBEO DE AGUA. PEREIRA.

- [30] Galván, G. (2018). Engimía. Fonte: <https://engimia.com/blog/sistemas-autonomos-hibridos-eolico-y-fotovoltaico-ventajas-y-desventajas>
- [31] Gobierno de España. (2019). Real Decreto 244/2019. España.
- [32] González, A. G., & Guerrero, E. Z. (2014). ESTRATEGIAS DE CONTROL DE AEROGENERADORES. XVI Congreso de Confiabilidad, pp. 4-8. Fonte: XVI Congreso de Confiabilidad.
- [33] GREENTOUCH. (s.d.). Diagrama de Interconexión. Fonte: <https://www.greentouch.com.mx/productos/sistemas-fotovoltaicos/diagrama-interconexi%C3%B3n-a-cfe/>
- [34] Guerrero, C., & León, D. (2018). Estudio preliminar del potencial solar y de implementación de una central solar térmica concentrada en Ecuador. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- [35] Harper, E. (1989). Pruebas a los Transformadores. Em H. Enríquez, el ABC de las maquinas Electricas I. Transformadores (pp. 268-303). Noriega: Editorial Limusa.
- [36] Herrera, V. C. (2011). Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico para la Generación de Energía Eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa. Trabajo de Grado. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- [37] Herrero, C. (2016). Estudio de la velocidad del viento: análisis espacial y ajuste a una función de distribución. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Valladolid, Valladolid.
- [38] JHimelco. (s.d.). HIMELCO.LTDA. Fonte: <https://himelco.cl/inversor-de-voltaje/tipos-de-inversores/>
- [39] Horning, M., Kelly, J., Myers, S., & Stebbins, R. (2005). Guía para el Mantenimiento del Transformador. Estados Unidos: División de S.D Myers.
- [40] Hueichapan, J. (s.d.). newensolar. Fonte: <https://www.newensolar.cl/proyectos-solares-fotovoltaicos-conectados-a-la-red-con-respaldo/#>
- [41] IEEE, I. o. (2009). IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers. New York: IEEE.
- [42] INEN. (1998). TRANSFORMADORES. DEFINICIONES. . Fonte: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2110.1998.pdf>
- [43] Ing. Gallo Martínez, E. (2010). DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO A TRANSFORMADORES DE CAMPO. Bogotá: GERENCIA Y DISEÑO Ltda.
- [44] IRENA. (2017). IRENA (International Renewable Energy Agency). Fonte: <https://www.irena.org/>
- [45] Labaien, E., & Carrasco, G. (12 de 11 de 2009). CURSO sobre MANTENIMIENTO PREDICTIVO y sus distintas TÉCNICAS de APLICACIÓN. Fonte: Ingeniariak: <http://www.coiig.com/COIIG/dmdocuments/Formacion%20IKASI/cursos%20presenciales/mantenpredic.documentacion.pdf>
- [46] LAGUNA, F. (2017). Instalaciones Seguras y Eficientes. Coahuila de Zaragoza, Mexico.

- [47] Long Ng, A. J. (2012). Pruebas Eléctricas de diagnostico a los Transformadores de Potencia. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- [48] LTD, C. G. (05 de Mayo de 2012). Smart solution. Strong relationships. India. Fonte: MANUAL DE MONTAJE, FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA 127/114 MVA, 13.8/138 KV.
- [49] Manassero, U., Zóttico, A., Furlani, R., Torres, J., & Acosta, J. (2015). Envejecimiento de la aislación eléctrica en transformadores de potencia. Desarrollo de un algoritmo de cálculo según guías de carga IRAM 2473 e IEEE C57. 91-2002. 4º Simposio Argentino de Informática Industrial. (pp. 158-168). Argentina: ISSN: 2451-7542.
- [50] Margalló Gasco, I. (2012). DIAGNÓSTICO DEL CONSUMO DE VIDA DE UN TRANSFORMADOR A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE COMPUESTOS FURÁNICOS. Fonte: Universidad Carlos III de Madrid: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16837/TFG_Isabel_Margallo_Gasco.pdf?sequence=1
- [51] Martínez, J. S. (2012). CONTROL DE UN AEROGENERADOR. memoria tecnica, Universidad Politecnica de Cataluña, Cataluña.
- [52] MBA. Martínez, J. (2013). TRANSFORMADORES DE POTENCIA: Características, ensayos y gestión de mantenimiento . Ambato: ECUACIER.
- [53] Mediascape. (06 de 03 de 2013). Ecuador: Siete provincias de la Sierra tienen un potencial eólico de 885 megavatios. Fonte: B2B Energías renovables: http://www.renewablesb2b.com/ahk_mexico/es/portal/index/news/show/c3c18efbf0def876
- [54] Megger. (Julio de 2010). Pruebas Eléctricas para Puestas en Marcha y Mantenimiento de Transformadores. Argentina: Megger. Fonte: Pruebas Eléctricas para Puesta en Marcha y Mantenimiento de Transformadores.
- [55] Megger. (03 de Octubre de 2012). Artec. Fonte: Pruebas de Factor de Potencia / Disipación: <http://es.slideshare.net/ckikefee/megger-3-factor-depotencia-pruebas>
- [56] Molina, A., & Martínez, F. (2017). Modelo de generacion fotovoltaica. Santiago.
- [57] Morningstar, C. (2010). Installation, Operation and Maintenance Manual.
- [58] Moya, R. (1990). Sección Manual Técnico. Cuenca: DONSI-INECEL.
- [59] OAKLON.(s.f).OAKLON.Fonte:INNOCAL:
http://www.4oakton.com/PDF/WD_3227SP_78.indd.pdf
- [60] Pagán, J. A. (2016). “DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO, EÓLICO-FOTOVOLTAICO, PARA EL AUTOCONSUMO EN VIVIENDA UNIFAMILIAR”. Cartogena.
- [61] Rentería, I. (2019). Estudio del Viento y Cálculode Generación Teórico. Universidad Católica de Cuenca-Universidad Politécnica de Sinaloa, Cuenca.
- [62] Rodríguez, P. C. (2014). Aerogeneradores (I): funcionamiento y marco.
- [63] Sánchez Blázquez, J. C. (2009). Diseño de un transformador de 5MVA, 33/11kV Dyn 11. Leganés: Universidad Varlos III de Madrid.

- [64] Sánchez García, B. (2011). Influencia del arrollamiento terciario ante corrientes de cortocuito en transformadores estrella-estrella. Madrid: Universidad CARLOS III DE MADRID.
- [65] Santisteban Díaz, A. (Julio de 2014). CARACTERIZACIÓN FLUIDO-TÉRMICA DE LÍQUIDOS ALTERNATIVOS EN UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA CON REFRIGERACIÓN ZIG-ZAG. Fonte: Uversidad de Cantabria: <http://docplayer.es/1886740-Trabajo-fin-de-grado.html>
- [66] Sapag, N., & Sapag, R. (2008). Preparación y Evaluación de Proyectos. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- [67] SARABIA, J. M. (08 de 02 de 2019). Sunfield Europe. Fonte: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-parametros-fundamentales/#comment-11>
- [68] Serván-Sócola, J. (2014). ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UN SISTEMA HIBRIDO DE BAJA POTENCIA CONECTADO A UNA RED.
- [69] Society, I. P. (2007). IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of insulating Oil in Equipment. New York: IEEE Power Engineering Society.solutions, d. (12 de 2018). emovil-solar. Cuenca.
- [70] TECH4CDM. (2008). ENERGIA EOLICA EN EL ECUADOR.
- [71] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, I. (2009). IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [72] Vasco Molina, J. P. (2015). Diseño de un esuqema de reconexión automática para alimentadores primarios en siete subestaciones tipo de la Empresa Eléctrica Quito S.A. Quito: Tesis previa a la obtención del título de. Ingeniero Eléctrico.

ANEXOS

Anexo 1: Normativa y Marco legal.

La Constitución de la República del Ecuador con Registro Oficial N° 449.

Artículo 15. El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Artículo 313. El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.

Artículo 413. El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

La Ley de Régimen del Sector Eléctrico LRSE, Suplemento-Registro Oficial N° 43.

Artículo 63. El Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas. El CONELEC asignará con prioridad fondos del FERUM a proyectos de electrificación rural a base de recursos energéticos no convencionales tales como energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras de similares características.

“Artículo 67. Exonérese el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras previo el informe favorable del CONELEC.

Exonérese del pago de impuesto sobre la renta, durante cinco años a partir de su instalación a las empresas que, con su inversión, instalen y operen centrales de producción de electricidad usando los recursos energéticos no convencionales señalados en el inciso anterior”

Reglamento para la administración del fondo de electrificación rural y urbana marginal FERUM Suplemento Registro-Oficial N° 373

Artículo 2. Sobre los organismos planificadores, la utilización de los fondos del FERUM, requeridos para obras, ampliación y mejoramiento de sistemas de distribución en sectores rurales o urbano marginales; o para construcción de sistemas de generación que utilicen energías renovables no convencionales, destinados al servicio exclusivo de sectores rurales y también para la operación y mantenimiento de sistemas eléctricos no incorporados, ubicados en las provincias fronterizas de la Amazonía y Galápagos.

Reglamento general de la ley de régimen del sector Registro Oficial N° 401.

“Artículo 53. La operación de las centrales de generación que utilicen fuentes no convencionales de energía se sujetará a las regulaciones específicas dictadas por el CONELEC”.

“Artículo 77. El Estado fomentará el uso de los recursos energéticos renovables, no convencionales, a través de la asignación prioritaria de fondos del FERUM, por parte del CONELEC, quien introducirá estos elementos en el Plan Maestro de Electrificación como un programa definido”.

Código de la Producción, Comercio e Inversiones, Registro Oficial N° 351

Se rigen por la presente normativa todas las personas naturales y jurídicas y demás formas asociativas que desarrollen una actividad productiva, en cualquier parte del territorio nacional.

Artículo 24. Para los sectores que contribuyan al cambio de la matriz energética, a la sustitución estratégica de importaciones, así como para el desarrollo rural de todo el país, se reconoce la exoneración total del impuesto a la renta por cinco años a las inversiones nuevas que se desarrollen en estos sectores.

Regulaciones del CONELEC que incentivan las energías renovables en Ecuador

Regulación del CONELEC 006/08, Aplicación del Mandato Constituyente No. 15, Resolución N° 106/08 del 12 de agosto de 2008

El objetivo de la presente Regulación es establecer los parámetros regulatorios específicos para el establecimiento de una tarifa única que deben aplicar las empresas eléctricas de distribución, para cada tipo de consumo de energía eléctrica. La presente regulación establece lo siguiente:

- Definir nuevas reglas comerciales para el funcionamiento del mercado.
- Establecer los nuevos parámetros regulatorios que se considerarán para el cálculo de las tarifas eléctricas.

- Aplicación de los pliegos tarifarios.
- Mecanismo de coordinación con el Ministerio de Finanzas.
- Proceso de transición.

Anexo 2: laboratorio de simulación en tiempo real CIITT circuitos de tomacorrientes e iluminación.

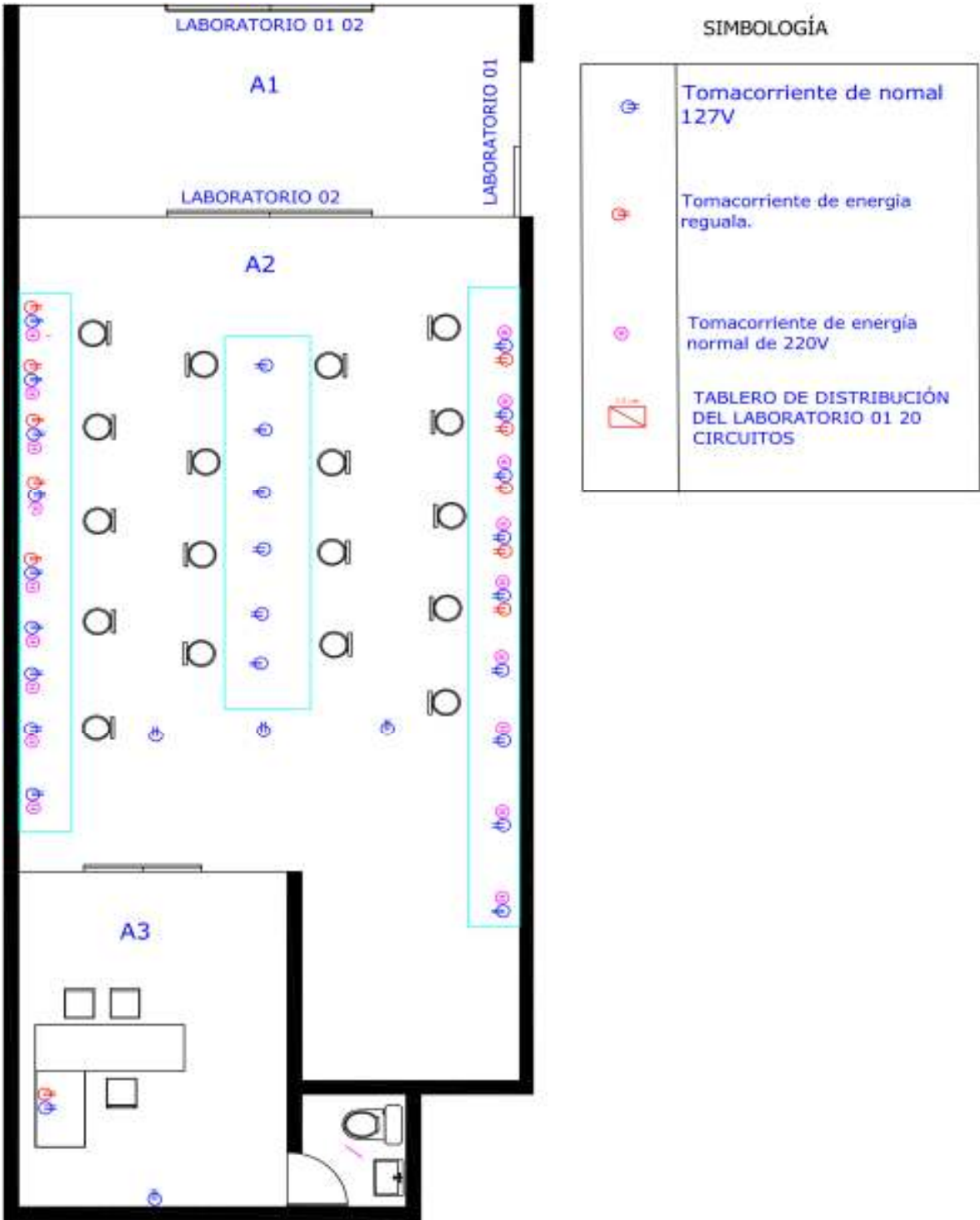


Figura 65.Laboratorio de simulación de tiempo real distribución de tomacorrientes.

Fuente: Elaboración Propia

Laboratorio de simulación en tiempo Real CIITT

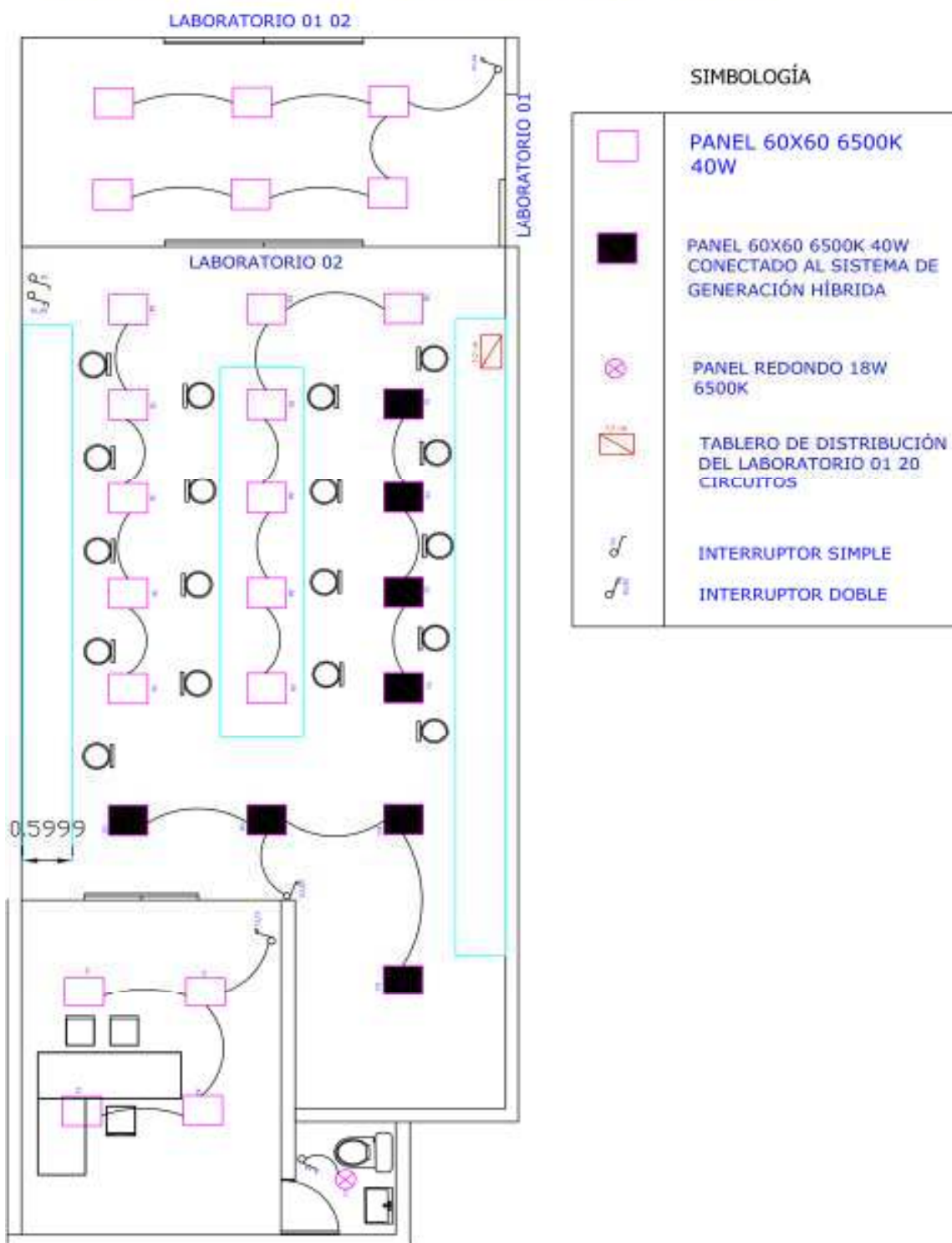


Figura 66. Laboratorio de simulación de tiempo real CIITT distribución de iluminación.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3: Diagrama unifilar del sistema híbrido bajo estudio.

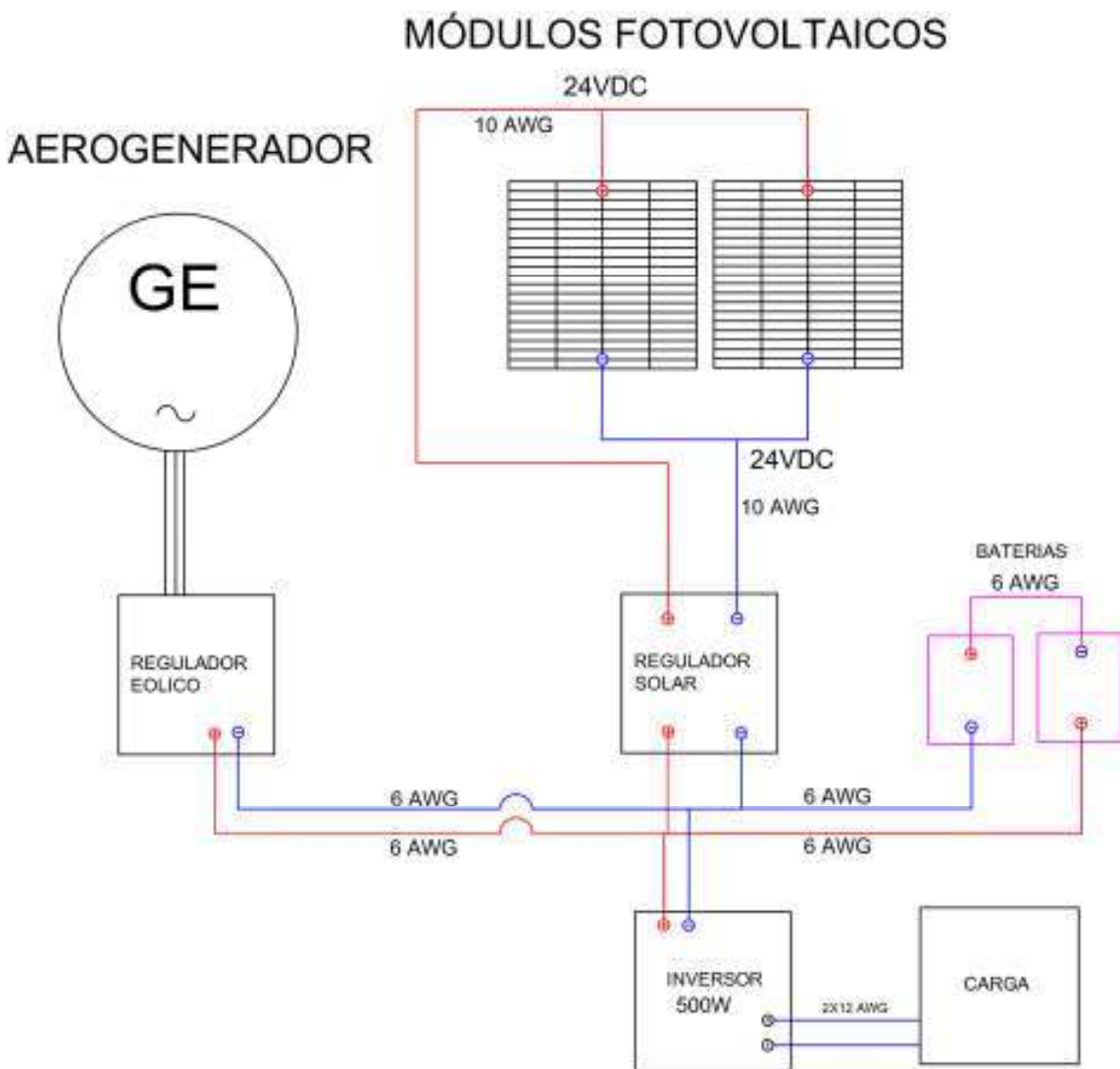


Figura 67. Diagrama unifilar del sistema de generación híbrido.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Montaje de equipos.



Figura 68. lugar de instalación del aerogenerador y sistema de generación híbrida.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 69. Instalación y medición del controlador de aerogenerador.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 70. Instalación de tablero del sistema híbrido.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 71. Montaje e instalación del tablero de sistema de generación híbrida.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 72. Instalación de banco de baterías.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 73. Conexión del aerogenerador al tablero del sistema híbrido.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Mediciones de Corrientes y voltajes del sistema de generación híbrido



Figura 74: Medición de Voltaje en AC del sistema de generación híbrido

Fuente: Elaboración propia.



Figura 75: Medición de la corriente AC del sistema de generación híbrida.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 76. Medición de voltaje en CD del sistema de generación híbrido.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 77: Medición de corriente DC en el sistema de generación híbrido.

Fuente: Elaboración propia.

**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Yo, **Geovanny Martin Pesantez Narvaez** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0104853494. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Análisis Técnico - Económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 05 de Marzo de 2020

F: 
Geovanny Martin Pesantez Narvaez
C.I. 0104853494