

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA  
INTEGRACIÓN DE RECURSOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDOS EN  
EDIFICACIONES MEDIANTE MATLAB.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**AUTORES:**  
Carlos Efraín Minchala Yarigsichi.  
Manuel Godoy Ramón.

**TUTOR:**  
Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza. Mer.

**Cuenca, Junio 2016.**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros, Carlos Efraín Minchala Yarigsichi, con documento de identificación N° 0103948121 y Manuel Godoy Ramón, con documento de identificación N° 105613608, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado intitulado “IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA INTEGRACIÓN DE RECURSOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDOS EN EDIFICACIONES MEDIANTE MATLAB.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



**CARLOS E. MINCHALA Y.**

**010394812-1**



**MANUEL GODOY R.**

**010561360-8**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Los autores son los únicos responsables por los contenidos, conceptos, ideas, análisis, resultados investigativos y manifestados en el presente proyecto técnico “IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA INTEGRACIÓN DE RECURSOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDOS EN EDIFICACIONES MEDIANTE MATLAB.”

A través de la presente declaración, cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normativa vigente.

**Cuenca, Junio de 2016**



**CARLOS E. MINCHALA Y.**

**010394812-1**



**MANUEL GODOY R.**

**010561360-8**

## **CERTIFICACIÓN**

En calidad de DIRECTOR DEL PROYECTO TECNICO “IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA INTEGRACIÓN DE RECURSOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDOS EN EDIFICACIONES MEDIANTE MATLAB.”, elaborada por CARLOS EFRAÍN MINCHALA YARIGSICHI y MANUEL GODOY RAMÓN, declaro y certifico la aprobación del presente trabajo de tesis basándose en la supervisión y revisión de su contenido.

**Cuenca, junio de 2016**



Ing. JORGE ROJAS ESPINOZA. MER.

**TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado de manera especial a mis padres María y Blas en quienes siempre encontré apoyo y confianza a pesar de las innumerables derrotas, también está dedicado a mis hermanas, amigos, compañeros y a mí gran amigo Juan Naula, con quienes compartí momentos alegres y tristes a lo largo de mi vida universitaria.

*Carlos Minchala*

Dedico el siguiente trabajo a toda mi familia de manera especial mis padres Jesús y Clara, y también a mis hermanos ya que sin el apoyo incondicional brindado por cada uno de ellos en todo momento de mi trayectoria universitaria no lo hubiera culminado con éxito. De manera especial a mi padre que en paz descansa quien durante los primeros años de mi carrera me brindó todo su apoyo. También agradezco a la familia Flores Montesdeoca y mis compañeros quienes durante esta trayectoria me brindaron su apoyo.

*Manuel Godoy R.*

## AGRADECIMIENTOS

De manera especial al Ing. Jorge Rojas por la dedicación mostrada al dirigir nuestro proyecto de titulación desde su inicio hasta su exitosa culminación.

Además un sincero agradecimiento a todos los profesores, compañeros y amigos que a lo largo de la carrera nos brindaron su apoyo.

*Carlos E. Minchala Y. – Manuel Godoy R.*

## TABLA DE CONTENIDO

1. ESTADO DEL ARTE .....	2
1.1. Generación distribuida .....	2
1.2. Generación distribuida en Ecuador .....	2
1.3. Factores en los que se basa la generación distribuida .....	3
1.3.1. Factores técnicos de la generación distribuida .....	4
1.3.2. Factores tecnológicos de la generación distribuida .....	4
1.3.3. Aspectos económicos de la generación distribuida .....	4
1.4. Recursos ambientales en el Ecuador .....	5
1.4.1. Solar .....	5
1.4.2. Eólica .....	5
1.4.3. Hídrico .....	5
1.4.4. Biomasa .....	5
1.5. Modalidades de generación distribuida .....	6
1.5.1. Sistemas interconectados a la red eléctrica .....	6
1.6. Tecnologías utilizadas en la generación distribuida para la generación eléctrica .....	8
1.6.1. Generador eólico .....	8
1.6.2. paneles fotovoltaicos. ....	9
1.6.3. Biomasa .....	11
1.6.4. colectores térmicos. ....	13
1.7. Ventajas de la generación distribuida .....	14
1.8. Barreras de la generación distribuida. ....	14
1.9. Proyectos de generación distribuida en el Ecuador .....	15
1.10. Regulación de la generación distribuida en Ecuador .....	15
1.11. Generadores diésel .....	17
1.12. Acumuladores .....	17
1.12.1. Tipos de baterías .....	18
2. MODELO MATEMÁTICO DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA .....	19
2.1. Modelo Matemático del panel fotovoltaico .....	19
2.1.1. Nomenclatura empleada para el modelo del panel fotovoltaico. ....	19
2.2. Modelo matemático de turbina eólica. ....	22
2.2.1. Nomenclatura empleada en el modelo matemático .....	22

2.2.2. Densidad del Aire.....	25
2.3. Modelo matemático de un generador trifásico síncrono de rotor de polos salientes.....	26
3. DATOS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....	29
3.1. Levantamiento y recopilación de información de consumo de energía eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.....	29
3.1.1. Recopilación de información del consumo de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.....	29
3.2. Consumo energético del transformador 1860.....	30
3.2.1. Consumo del edificio “Cornelio Merchán”.....	31
3.2.2. Consumo del edificio “Mario Rizzini”.....	31
3.2.3. Consumo total del transformador 1860.....	31
Capítulo 4 .....	33
4. DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN .....	33
4.1. Planteamiento de variables para el sistema fotovoltaico y eólico .....	33
4.1.1. Temperatura (°C).....	33
4.1.2. Irradiación solar ( $\lambda$ ).....	34
4.1.3. Velocidad del viento $V_w$ .....	35
4.1.4. Planteamiento de variables para el sistema auxiliar de generación por diésel.....	36
4.1.5. Diagrama de bloques del modelo de simulación para la integración de recursos de generación distribuida.....	37
4.2. Implementación del software de simulación .....	38
4.2.1. Panel fotovoltaico.....	38
4.2.2. Aerogenerador.....	39
4.2.3. Generador diésel.....	40
4.3. Validación del Sistema.....	40
4.3.1. Validación de paneles fotovoltaicos.....	40
4.3.2. Validación del generador micro eólico.....	41
5. PRUEBAS DEL MODELO DE SIMULACIÓN BASADA EN ESCENARIOS .....	45
5.1. Propuesta de generación con el sistema.....	45
5.2. Determinación de módulos fotovoltaicos para escenarios.....	46
5.2.1. Selección de módulos para sistema fotovoltaico.....	46

5.3. Determinación del número de paneles o módulos fotovoltaicos.....	47
5.3.1. Determinación de módulos en serie y paralelo .....	48
5.4. Selección del micro generador eólico. ....	49
5.4.1. Fd3.6- 2000 de turbina de viento.....	49
5.4.2. Inversor BZS-2000W .....	50
5.5. Análisis del Escenario 1 .....	50
5.6. Análisis del Escenario 2 .....	53
5.7. Análisis del Escenario 3 .....	56
5.8. Análisis del Escenario 4 .....	60
5.9. Análisis del Escenario 5 .....	64
5.10. Resumen de los escenarios. ....	69
<b>6. ANÁLISIS ECONÓMICO AMBIENTAL DE LA INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE RECURSOS DISTRIBUIDOS EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, FRENTE A SISTEMAS CONVENCIONALES. ....</b>	<b>70</b>
6.1. Análisis de Impacto ambiental. ....	70
6.2. Pliego tarifario Agencia de regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) para el periodo 2016. ....	71
6.3. Consumo eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.....	72
6.4. Cálculo de consumo del Transformador 1860. ....	73
6.4.1. Costo energético del Transformador 1860 de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.....	73
6.5. Costo de equipos para montaje de sistema distribuido.....	75
6.5.1. Costo de sistema fotovoltaico.....	75
6.5.2. Costo de sistema mini eólico.....	75
6.5.3. Costo total de equipos. ....	75
6.6. Costo por energía cada escenario. ....	76
6.6.1. Análisis de costo energético de los escenarios.....	76
6.7. Análisis de costos energético total por cada mes. ....	76
6.8. Análisis de la rentabilidad tir y van.....	77
6.8.1. VAN (Valor actualizado neto) .....	77
6.8.2. TIR (Tasa interna de retorno).....	77
6.8.3. Ingresos y Egresos del sistema fotovoltaico.....	77
6.8.4. Ingresos y Egresos del mini eólico. ....	79

6.8.5. Ingreos y Egresos total del sistema. ....	80
7. CONCLUSIONES.....	82
8. Recomendaciones.....	85
9. REFERENCIAS .....	86
10. ANEXOS.....	90
10.1. Anexo 1. ....	90
10.2. Anexo 2. ....	91
10.3. Anexo 3. ....	92
10.4. Anexo 4. ....	93
10.5. Anexo 5. ....	93
10.5.1. Cálculo de módulos en serie y paralelo.....	93
10.6. Anexo 6. ....	95

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Potencia por tipo de central (MEER y ARCONEL 2014) .....	4
Tabla 2. Tipo de baterías con sus características básicas. (Diaz T y Carmona G 2010) .....	18
Tabla 3. Factor de linealidad (A). (Singla y Kumar 2013).....	20
Tabla 4. Coeficientes para obtener valores de (Cp.) .....	23
Tabla 5. Constantes utilizadas para obtener la densidad del aire .....	25
Tabla 6. Demanda energética de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca 2015.....	30
Tabla 7. Consumo total del edificio Cornelio Merchán .....	31
Tabla 8. Consumo total del edificio Mario Rizzini .....	31
Tabla 9. Consumo total del transformador 1860 .....	32
Tabla 10. Especificaciones técnicas Sunnily X-600. ....	42
Tabla 11. Escenarios en los cuales se analiza la potencia generada por los sistemas de generación distribuida .....	45
Tabla 12. Propuesta de generación mensual por el sistema. ....	45
Tabla 13. Propuesta de generación por sistemas .....	46
Tabla 14. Número paneles y arreglos fotovoltaico del sistema propuesto .....	48
Tabla 15. Sistema mini eólico .....	50
Tabla 16. Resumen de cada escenario y la generación total década uno. ....	69
Tabla 17. Consumo energético del Transformador 1860. ....	70
Tabla 18. Pliego tarifario general de baja tensión con registrador de demanda. (ARCONEL Enero- Diciembre,2016) .....	71
Tabla 19. Detalle de Factura del Cliente .....	72
Tabla 20. Detalle de consumo del mes de abril 2016.....	72
Tabla 21. Detalle de Factura del mes de Abril 2016 .....	73
Tabla 22. Detalle de consumo del mes de abril 2016.....	73
Tabla 23. Detalle de costo de energía del mes de abril 2016. ....	74
Tabla 24. Detalle de costo de energía para alumbrado público del mes de abril 2016.....	74
Tabla 25. Detalle del costo total a pagar del mes de abril del 2016.....	75
Tabla 26. Precios sistema fotovoltaico.....	75
Tabla 27. Precios del sistema mini eólico .....	75
Tabla 28. Precio total del sistema fotovoltaico más el sistema mini eólico.....	75

Tabla 29. Costo por energía de cada escenario. ....	76
Tabla 30. Costo mensual de cada mes.....	76
Tabla 31. Costo del sistema fotovoltaico. ....	78
Tabla 32. Costo por mantenimiento de los sistemas fotovoltaico y mini eólico.....	78
Tabla 33. Costo de energía por año que se deja de percibir.....	78
Tabla 34. Análisis del TIR y el VAN.....	78
Tabla 35. Costo del sistemas mini eólico.....	79
Tabla 36. Costo por mantenimiento de los sistemas fotovoltaico y mini eólico.....	79
Tabla 37. Costo de energía por año del sistema.....	79
Tabla 38. Análisis del TIR y el VAN.....	80
Tabla 39. Costo total de los sistemas. ....	80
Tabla 40. Egreso total del sistema.....	80
Tabla 41. Costo de energía por año.....	81
Tabla 42. Análisis del TIR y el VAN.....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Red de generación distribuida. (C. N. CONELEC 2012).....	2
Figura 2. Demanda de energía a nivel mundial. (REN21. 2012).....	3
Figura 3. Sistema fotovoltaico suministrando energía a la red eléctrica. (Perpiñán O. 2015) .....	7
Figura 4. Sistema distribuido que intercambia energía con la red eléctrica. (Chuqui M. 2014).....	7
Figura 5. Centro amazónico con energía fotovoltaica. (M. d. MEER 2016) .....	8
Figura 6. Aerogeneradores del parque nacional Villonaco. (M. d. MEER 2016).....	8
Figura 7. Célula fotovoltaica. (Diaz T y Carmona G 2010).....	9
Figura 8. Panel construido con Silicio monocristalino. (REN21. 2012).....	10
Figura 9. Panel construido con Silicio policristalino (REN21. 2012).....	11
Figura 10. Panel construido con Silicio amorfo. (REN21. 2012) .....	11
Figura 11. Ciclo de generación de biomasa. (ARCONEL Enero- Diciembre,2016) .....	12
Figura 12. Clasificación de la biomasa .....	13
Figura 13. Sistema solar térmico. (Fenercom 2007) .....	13
Figura 14. Circuito equivalente de una célula solar. ....	19
Figura 15. Esquema del modelo matemático de un panel fotovoltaico.....	21
Figura 16. Ráfaga de aire en un aerogenerador. (Hernández A 2008).....	22
Figura 17. Esquema del modelo matemático de la turbina eólica.....	24
Figura 18. Esquema del modelo matemático de la densidad del aire.....	25
Figura 19. Esquema del modelo matemático del generador diésel. ....	27
Figura 20. Curva de Demanda energética del año 2015 de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. ....	30
Figura 21. Temperatura promedio ambiente del año 2015 (Datos INER-UPS) .....	33
Figura 22. Temperatura ambiente del mes de enero del año 2015 (Datos INER-UPS).....	34
Figura 23. Radiación solar global promedio del año 2015 (Datos INER-UPS).....	34
Figura 24. Radiación solar global del mes de enero del año 2015 (Datos INER-UPS).....	35
Figura 25. Velocidad del viento promedio del año 2015 (Datos INER-UPS) .....	35
Figura 26. Velocidad del viento del mes de enero del año 2015 (Datos INER-UPS).....	36

Figura 27. Diagrama de bloques del simulador de generación de recursos distribuidos.....	37
Figura 28. Diagrama de bloques de la composición interna del panel fotovoltaico. ....	38
Figura 29. Diagrama de bloques de la composición interna del aerogenerador.....	39
Figura 30. Diagrama de bloques de la composición interna del generador Diésel .....	40
Figura 31. Datos técnicos del panel SIMAX 660 (Ver anexo 1) .....	41
Figura 32. Curvas obtenidas del modelo variando la irradiancia solar. ....	41
Figura 33. Curva de potencia con respecto a la velocidad Sunnily X-600 (Ver anexo 2).....	42
Figura 34. Coeficiente de rendimiento $C_p$ con respecto a $\lambda$ .....	43
Figura 35. Curva de potencia de salida con respecto a la velocidad del viento. ....	43
Figura 36. Modelo de simulación que integra sistemas de generación distribuida conformada por: sistema fotovoltaico, sistema eólico y sistema de generación a diésel. ....	44
Figura 37. SIMAX 156 Solar module (SM660-230W) (Ver anexo 1) .....	46
Figura 38. BZP-5KW (Ver anexo 2).....	47
Figura 39. Calculadora para obtener el número de paneles del sistema.....	49
Figura 40. Fd3.6- 2000 de turbina de viento (ver anexo 3).....	49
Figura 41. Inversor BZS-2000W (ver anexo 4) .....	50
Figura 42. Datos de irradiación y Temperatura durante de febrero del año 2015.....	51
Figura 43. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de febrero del 2015.....	51
Figura 44. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.....	52
Figura 45. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.....	52
Figura 46. Potencia obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida. ....	53
Figura 47. Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.....	53
Figura 48. Datos de irradiación y Temperatura durante de julio del año 2015.....	54
Figura 49. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de julio del 2015.....	54
Figura 50. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de julio del 2015.....	55

Figura 51. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de julio del 2015.....	55
Figura 52. Potencia total obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida. ....	56
Figura 53. Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.....	56
Figura 54. Datos de irradiación, Temperatura, velocidad del viento durante el mes de febrero del año 2015.....	57
Figura 55. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de febrero del 2015.....	57
Figura 56. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.....	58
Figura 57. Potencia eólica generada durante el mes de febrero del 2015. ....	58
Figura 58. Potencia eólica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.....	59
Figura 59. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.....	59
Figura 60. Potencia obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida. ....	60
Figura 61. Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.....	60
Figura 62. Datos de irradiación, Temperatura, velocidad del viento durante de julio del año 2015.....	61
Figura 63. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de julio del 2015.....	61
Figura 64. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de julio del 2015.....	62
Figura 65. Potencia eólica generada durante el mes de julio del 2015. ....	62
Figura 66. Potencia eólica generada promedio por día del mes de julio del 2015.....	63
Figura 67. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de julio del 2015.....	63
Figura 68. Potencia obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida. ....	64
Figura 69 Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.....	64

Figura 70. Datos de irradiación, Temperatura, velocidad del viento durante de febrero del año 2015.....	65
Figura 71. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de febrero del 2015.....	65
Figura 72. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.....	66
Figura 73. Potencia eólica generada durante el mes de febrero del 2015. ....	66
Figura 74. Potencia eólica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.....	67
Figura 75. Potencia producida por el generador diese de 10kW.....	67
Figura 76. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.....	68
Figura 77. Potencia obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida. ....	68
Figura 78. Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.....	69

---

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS.**

---

UPS: Universidad Politécnica Salesiana

ARCONEL: Agencia de Regulación y control de electricidad.

EERCS: Empresa Eléctrica regional Centro Sur

MEER: Ministerio de Electricidad y Energías Renovables

GD: Generación Distribuida

DC: Corriente Directa

AC: Corriente Alterna

UDS: Dólares de los Estados Americanos.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

MAE: Ministerio del Ambiente

CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad

## INTRODUCCIÓN

---

La red eléctrica en el Ecuador actualmente debe responder a la creciente demanda por parte de los consumidores, ya sea por la utilización de nuevos dispositivos electrónicos, o la utilización de cocinas de inducción. Debido a este elevado consumo de energía se ha planteado desarrollar redes eléctricas inteligentes, dentro de las cuales consta la generación distribuida (GD).

La generación distribuida pretende que cada vivienda, edificio o industria disponga de su propio sistema de generación de energía basado en energías renovables como: solar fotovoltaico, solar térmico o eólica, para de esta manera lograr cubrir las necesidades energéticas.

En el presente trabajo se pretende realizar un modelo de simulación para la generación distribuida mediante la utilización de simulink en Matlab para lo cual se empleará:

- La climatología de la zona bajo estudio.
- La velocidad del viento en la zona donde se encuentra emplazado el edificio.
- La radiación solar en la zona.
- La energía consumida por el edificio en estudio.

## **ANTECEDENTES**

---

En el Ecuador actualmente se está impulsando el uso eficiente de la energía; para de esta manera reducir las emisiones contaminantes, reforzar la seguridad y la calidad del suministro de energía eléctrica; es por ello que se pretende desarrollar las denominadas redes eléctricas inteligentes.

Las redes eléctricas inteligentes tienen como objetivo integrar todas las acciones de los usuarios conectados a ella, lo cuales van desde los generadores hasta consumidores, para distribuir de una manera eficiente y segura el suministro eléctrico.

Previo a las redes eléctricas inteligentes, es necesario incorporar al sistema eléctrico la generación distribuida, la cual tiene como objetivo suministrar energía a la red o satisfacer las necesidades energéticas propias del sistema. La energía generada puede ser proveniente de energías renovables como: solar fotovoltaico, solar térmico o eólica.

## **JUSTIFICACIÓN**

---

En Ecuador actualmente se encuentra promoviendo el uso de energías renovables no convencionales para la generación de energía eléctrica, retomando de esta manera un conocido concepto como lo es la generación distribuida, la cual consiste en generar energía eléctrica cerca al centro de consumo, aprovechando para ello las condiciones naturales que dada a su posición geográfica posee el Ecuador como es el caso de la energía solar y eólica. También cabe señalar que al ser el Ecuador un país con una elevada producción agrícola, otro tipo de materia prima para la generación de energía eléctrica es la biomasa, la cual está siendo empleada en ingenios azucareros.

Por estos motivos cobra importancia implementar un modelo de simulación para la integración de recursos distribuidos que permita conocer la cantidad de energía que se puede generar en un determinado sitio, de los cuales se conozca previamente las condiciones climáticas como la radiación solar y la velocidad del viento, para de esta manera establecer si es factible o no realizar la implementación de un sistema de generación solar y eólico en un determinado lugar.

# CAPÍTULO 1

## 1. ESTADO DEL ARTE

### 1.1. GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La generación distribuida tiene como principal objetivo la obtención de energía eléctrica mediante pequeñas fuentes de energía renovables las mismas que pueden ser solar, eólica, instaladas cerca del centro de consumo, por lo que se trata de una generación descentralizada, consiguiendo con esto reducir las pérdidas de energía al momento de la distribución, y la contaminación ambiental. (Chuqui M. 2014)

### 1.2. GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN ECUADOR

En el Ecuador la producción de energía eléctrica proviene de fuentes renovables y no renovables, en el caso de las renovables se posee centrales hidroeléctricas, fotovoltaicas, eólicas y biomasa. La producción de energía eléctrica que tiene como fuente primaria la biomasa, se encuentran en los ingenios azucareros que en estos lugares emplean el bagazo de caña como combustible, logrando de esta manera la generación eléctrica cerca del centro de consumo. (Chuqui M. 2014)

Actualmente en el Ecuador debido al cambio de la matriz energética, se encuentra promoviendo el desarrollo y el uso de recursos energéticos no convencionales, de los cuales los sistemas que más repunte han tenido es el fotovoltaico y el eólico debido a la posición geográfica del Ecuador.

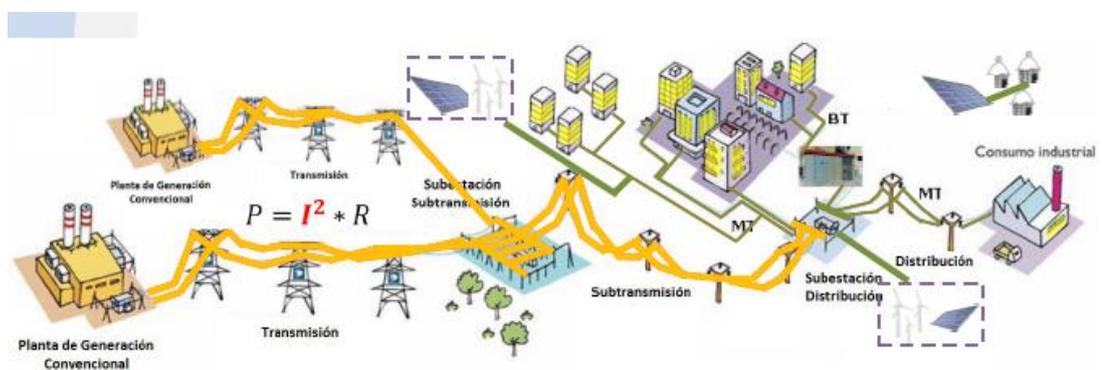


Figura 1. Red de generación distribuida. (C. N. CONELEC 2012)

### 1.3. FACTORES EN LOS QUE SE BASA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Con el resurgimiento de un antiguo concepto de la industria eléctrica como lo es la generación distribuida se debe tener en cuenta que el mismo abarca factores tales como técnicos, ambientales, económicos y tecnológicos. (Chuqui M. 2014)

A nivel mundial la generación de energía eléctrica actualmente tiene como su mayor fuente primaria a los provenientes de combustibles fósiles.

Según el GLOBAL STATUS REPORT publicado en el año 2012 la mayor producción de energía eléctrica a nivel mundial, tiene como fuente primaria a los combustibles fósiles, dejando en segundo lugar a las fuentes renovables, y en tercer lugar a las nucleares. Dentro de las fuentes renovables encontramos que el 8.5% tiene como fuente primaria a la biomasa, un 8.2% proviene de otros tipos de fuente primaria como: solar, geotérmica, viento, fuerza hidráulica, biocombustibles. (REN21. 2012)

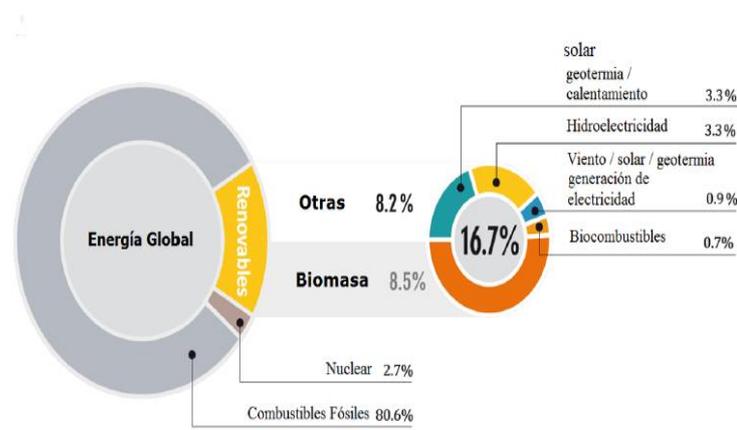


Figura 2. Demanda de energía a nivel mundial. (REN21. 2012)

En lo referente a Ecuador la generación de energía eléctrica actualmente consta de dos fuentes primarias en las que encontramos las renovables, y las no renovables. Dentro de las renovables el país posee centrales eólicas, fotovoltaicas, hidráulicas, térmica turbovapor; con una potencia nominal de 2.439,95MW que representa el 42.57% de la producción energética del país. Dentro de las centrales de tipo no renovables se tiene: térmica MCI, térmica turbogas, térmica turbovapor alcanzando una producción de 3.291,58MW lo que representa un 57.43% de la producción energética. (MEER y ARCONEL 2014)

Tabla 1. Potencia por tipo de central (MEER y ARCONEL 2014)

Tipo de energía	Tipo de Central	Potencia Nominal		Potencia Efectiva	
		MW	%	MW	%
Renovable	Eólica	21,15	0,37	21,15	0,40
	Fotovoltaica	26,41	0,46	26,37	0,50
	Hidráulica	2.248,09	39,22	2.240,77	42,29
	Térmica Turbovapor (*)	144,30	2,52	136,40	2,57
<b>Total Renovable</b>		<b>2.439,95</b>	<b>42,57</b>	<b>2.424,69</b>	<b>45,76</b>
No Renovable	Térmica MCI	1.748,15	30,50	1.448,85	27,34
	Térmica Turbogas	1.085,19	18,93	977,30	18,44
	Térmica Turbovapor	458,24	8,00	448,24	8,46
<b>Total No Renovable</b>		<b>3.291,58</b>	<b>57,43</b>	<b>2.874,39</b>	<b>54,24</b>
<b>Total</b>		<b>5.731,52</b>	<b>100,00</b>	<b>5.299,09</b>	<b>100,00</b>

(\*) Corresponde a generación cuyo combustible es biomasa (bagazo de caña).

### 1.3.1. FACTORES TÉCNICOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

En la actualidad las innovaciones que se han producido en la electrónica así como en dispositivos de almacenamiento de energía, y reducción de costos de los mismos, hace más factible la instalación de pequeñas plantas generadoras de energía en edificios, hogares o empresas, para de esta manera cubrir un porcentaje de la demanda de energía, o en el caso de sectores donde no exista red eléctrica convencional, poder brindar este servicio. (Yadaicela J 2011)

### 1.3.2. FACTORES TECNOLÓGICOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Un factor que está influenciando a que la generación distribuida pueda ser más aplicable es el de modularidad, mediante el cual el tamaño de los sistemas puede crecer para conseguir la potencia que se requiera, esto se logra agregando o quitando unidades, y debido a que la tecnología que se utiliza en la generación distribuida es pequeña se puede fabricar por unidades modulares. (Yadaicela J 2011)

### 1.3.3. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Los sistemas de generación centralizada representan una inversión económica elevada ya que se debe generar, transportar, y distribuir; también se debe considerar los gastos de operación, mantenimiento y readecuaciones que la red pueda necesitar, lo que representa una clara desventaja de estos sistemas con respecto a los sistemas de generación distribuidos en los cuales la generación se realiza cerca del centro de consumo, con lo cual se reduce el costo por transporte y distribución. (Yadaicela J 2011)

## **1.4. RECURSOS AMBIENTALES EN EL ECUADOR**

Los recursos ambientales que pueden ser explotados mayormente en el país son: solar, eólico, biomasa e hídrica según el ARCONEL.

### **1.4.1. SOLAR**

El Ecuador por su situación geográfica posee una gran ventaja, ya que los rayos solares caen de manera casi perpendicular durante la mayor parte del año, situación que no poseen otros países ubicados al norte o sur del continente en los que la incidencia solar varía con las estaciones del año.

Para la producción de energía eléctrica por medio de este tipo de fuente primaria se necesita una incidencia solar perpendicular de 5,2 horas diarias lo cual es muy factible para el país dado que el Ecuador tiene 6 horas de luz directa cada día. (Chuqui M. 2014), (Moya V 2012)

### **1.4.2. EÓLICA**

La energía eólica emplea la energía cinética del viento para producir energía eléctrica por medio de un aerogenerador. Actualmente este tipo de fuente renovable ha tenido un gran crecimiento.

En Ecuador la presencia de los Andes y la cercanía con el océano Pacífico permite que existan zonas con potencial eólico con los cuales se pueden emprender proyectos a pequeña escala. (Chuqui M. 2014)

### **1.4.3. HÍDRICO**

El Ecuador es un país con gran cantidad de recursos hídricos que en mayor cantidad tienen como origen la cordillera de los Andes, los cuales pueden tomar dos destinos diferentes como; los que atraviesan el litoral Ecuatoriano y desembocan en el océano Pacífico, y los que tienen como destino las llanuras amazónicas, para después a través de otras corrientes desembocar en el océano Atlántico. (Chuqui M. 2014)

### **1.4.4. BIOMASA**

En cuanto a biomasa el Ecuador es un país con un gran potencial en el sector agrícola en el cual se produce; plátano, caña de azúcar, palma africana, arroz por citar algunos casos. Al entrar estos productos en su etapa de cosecha y posterior procesamiento se genera una gran cantidad de desechos orgánicos, los cuales pueden ser usados como fuentes primarias de energía.

## **1.5. MODALIDADES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

La generación distribuida tiene como objetivo formar parte de las redes eléctricas existentes para de esta manera ayudar a la red a cubrir los niveles de potencia requeridos por parte de los abonados, aunque también se puede disponer de una generación distribuida para cubrir las necesidades propias del abonado, y de esta manera no están conectadas a ninguna red eléctrica existente, teniendo de esta manera dos tipos de conexiones existente en las redes de generación distribuida como son; sistemas interconectados a la red, y los sistemas aislados de la red.

### **1.5.1. SISTEMAS INTERCONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA**

Los sistemas de generación distribuida que están conectados a red pueden tomar energía de la misma en ciertos momentos en los cuales la demanda de energía lo requiera; así también podrían suministrar energía a la red en momentos en los cuales la demanda de energía por parte de su carga sea baja. (Chuqui M. 2014)

Dentro de los sistemas interconectados a la red tenemos dos tipos los cuales son; sistemas que entregan energía a la red, y sistemas que intercambian energía con la red.

#### **➤ Sistemas interconectados que entregan energía a la red**

Los sistemas distribuidos que entregan energía a la red, se caracterizan por suministrar toda la energía producida, logrando una elevada eficiencia y confiabilidad, a más de que su costo y tiempo de construcción son menores. (Chuqui M. 2014)

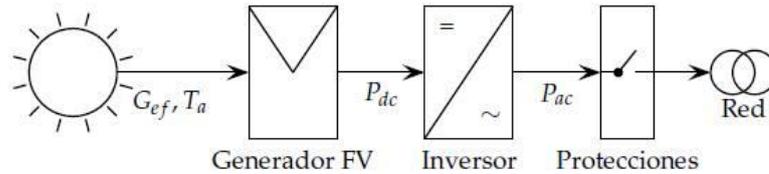


Figura 3. Sistema fotovoltaico suministrando energía a la red eléctrica. (Perpiñán O. 2015)

➤ **Sistemas de G.D. que intercambian energía con la red eléctrica**

En estos tipos de sistemas los abonados están en la capacidad de consumir energía de la red convencional, o vender energía en el caso de obtener excedentes de su producción energética proveniente de fuentes renovables. (Chuqui M. 2014)



Figura 4. Sistema distribuido que intercambia energía con la red eléctrica. (Chuqui M. 2014)

➤ **Sistemas aislados de la red eléctrica**

Los sistemas de generación distribuida que se encuentran aislados de la red, tienen como objetivo principal cubrir las necesidades energéticas de un determinado centro de consumo, los cuales suelen estar en lugares remotos que se encuentran por lo general en el sector rural, o en la región amazónica del país. (Chuqui M. 2014).



*Figura 5. Centro amazónico con energía fotovoltaica. (M. d. MEER 2016)*

En la actualidad también se dispone de sistemas de generación distribuida aisladas de la red para suministrar energía eléctrica a radares para el control de velocidad en autopistas, semáforos, o sistemas de control de autobuses en las ciudades.

## **1.6. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA**

### **1.6.1. GENERADOR EÓLICO**

Los aerogeneradores producen energía eléctrica aprovechando para esto la energía cinética proveniente del viento, pero dependen de las condiciones atmosféricas por lo cual resultan muy variables, por lo tanto se deben emprender exhaustivos estudios de velocidad y dirección del viento en los lugares donde se pretenda emplazar un proyecto con este tipo de tecnología. (Fenercom 2007)



*Figura 6. Aerogeneradores del parque nacional Villonaco. (M. d. MEER 2016)*

Para la conversión de energía mecánica producida por el aerogenerador a energía eléctrica, se emplean dos tipos de tecnologías en lo que se refiere a generadores; los cuales pueden ser síncronos o asíncronos.

### ➤ Tipos de aerogeneradores

Dentro de los tipos de aerogeneradores se tienen los generadores de eje horizontal, y los de eje vertical.

- **Aerogeneradores de eje horizontal;** Este tipo de aerogeneradores son los más empleados actualmente ya que su eje de rotación está en paralelo con el suelo, este tipo de aerogeneradores son más costosos y no pueden soportar grandes velocidades de viento, pero son más eficaces que los de eje vertical.
- **Aerogeneradores de eje vertical;** Una de sus principales características es que su eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo

### 1.6.2. PANELES FOTOVOLTAICOS.

Denominado también célula solar es la encargada de convertir a energía solar en energía eléctrica, a través del efecto foto eléctrico; este dispositivo está elaborado de materiales semiconductores de forma similar a un diodo, donde la parte N está expuesta a la luz solar, mientras que la parte P se encuentra en la zona de oscuridad. Para la obtención de la intensidad, así como el voltaje, la célula solar posee terminales conectados en el semiconductor N y P, en el semiconductor N el contacto tiene forma de peine a fin de que la radiación solar sea captada por el semiconductor, mientras que el semiconductor tipo P el contacto metálico cubre toda la zona. (Fernández Ferichola Julio 2009)

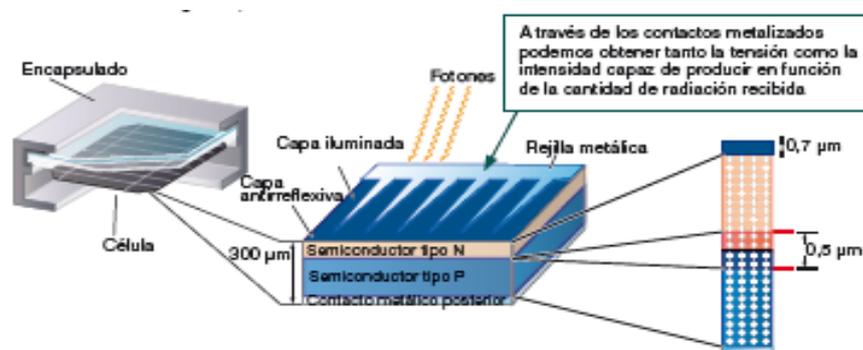


Figura 7. Célula fotovoltaica. (Diaz T y Carmona G 2010)

Para la obtención de voltaje y corriente las células pueden ser conectadas en serie o paralelo. Si se realiza una conexión en paralelo la corriente obtenida es la suma de la corriente producida por cada célula, mientras que el voltaje será el equivalente a una sola célula; mientras que al conectar las células solares en serie obtendremos una corriente equivalente a una sola célula solar, mientras que el voltaje total será la suma de cada uno de los voltajes de las células solares. (Díaz T y Carmona G 2010)

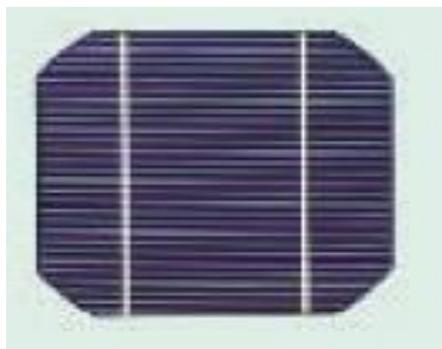
### ➤ Tipos de paneles fotovoltaicos

Dentro del mercado actual existen dos tipos de células como son las de silicio cristalino y silicio multi cristalino, las cuales son capaces de producir un voltaje de 0.5 voltios con una corriente de  $35mA/cm^2$  durante un día de sol promedio.

Los tipos de paneles solares se establecen según la tecnología empleada para su fabricación de los cuales se destacan los siguientes: (REN21. 2012)

- **Silicio monocristalino**

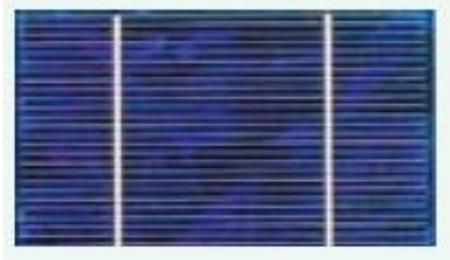
Este tipo de panel solar se encuentra elaborado a base de silicio puro fundido y dopado con boro. Su rendimiento va desde el 15% al 18%



*Figura 8. Panel construido con Silicio monocristalino. (REN21. 2012)*

- **Silicio policristalino**

Este tipo de panel solar es de igual construcción al monocristalino, con la diferencia que se disminuye el número de fases de cristalización. Este tipo de panel fotovoltaico posee un rendimiento del 12% al 14%



*Figura 9. Panel construido con Silicio policristalino (REN21. 2012)*

- **Silicio amorfo**

Este tipo de panel se encuentra construido por una lámina delgada y depositada sobre un sustrato como vidrio o plástico. Su rendimiento es menor al 10%



*Figura 10. Panel construido con Silicio amorfo. (REN21. 2012)*

### **1.6.3. BIOMASA**

#### **Definición**

*“Todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización” (CONELEC 2012)*

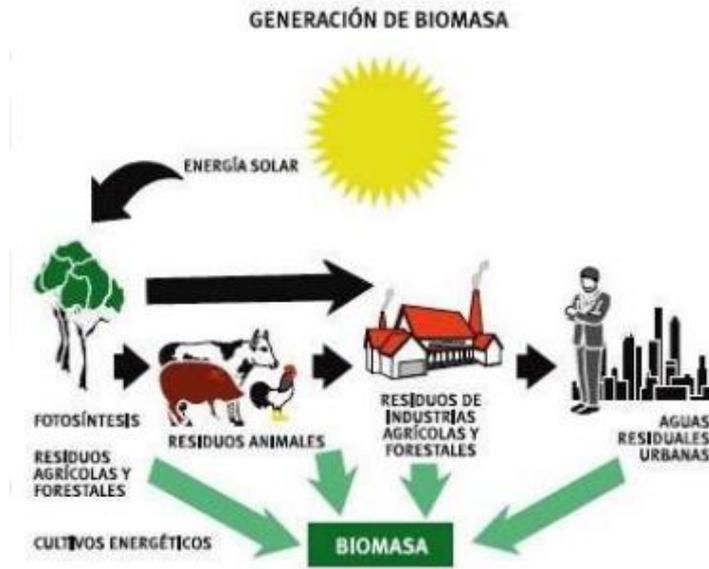
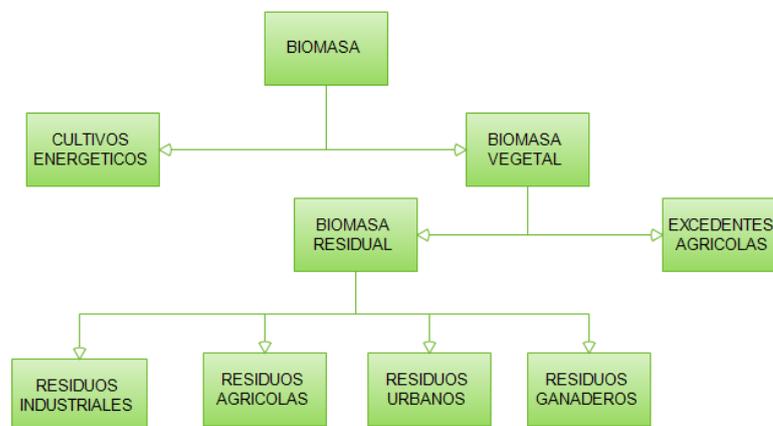


Figura 11. Ciclo de generación de biomasa. (ARCONEL Enero- Diciembre,2016)

En el Ecuador las fuentes generadoras de biomasa son en su mayoría de origen agrícola dentro de los cuales tenemos; cultivos energéticos y biomasa vegetal.

- **Cultivos energéticos;** Se trata de plantaciones que son utilizadas como fuente de energía o materia prima para la obtención de biocarburantes. (Fenercom 2007)
- **Biomasa vegetal;** Dentro de este tipo de biomasa tenemos los residuos y excedentes. (Fenercom 2007)

Es necesario considerar con respecto a la biomasa; que la misma posee niveles de combustión muy por debajo a los alcanzados con los combustibles fósiles, debido a que la biomasa posee gran humedad y densidad energética baja. (Fenercom 2007)



*Figura 12. Clasificación de la biomasa*

#### **1.6.4. COLECTORES TÉRMICOS.**

Este tipo de tecnología aprovecha el calor del sol como fuente primaria para la generación de energía eléctrica, pero no de manera directa, ya que el calor de la radiación solar es transferida a un fluido que a menudo es agua; y en base a la máxima temperatura que le fluido pueda alcanzar se puede tener los siguientes sistemas: de baja, media y alta temperatura.

- **Sistemas de baja temperatura;** Dentro de los sistemas de baja temperatura se encuentran los captadores planos y de tubos de vacío.
- **Sistemas de media temperatura;** En este tipo de sistema se encuentran los cilindros parabólicos.
- **Sistemas de alta temperatura**

Dentro de este tipo de sistemas tenemos:

- Discos parabólicos.
- Centrales de Torre.

De los sistemas mencionados anteriormente generan potencias menores a 10MW y se pueden considerar para la generación distribuida ya que de ser superiores no estarían cerca del centro de consumo. (Fenercom 2007)



*Figura 13. Sistema solar térmico. (Fenercom 2007)*

## **1.7. VENTAJAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

La generación distribuida puede llegar a ser de gran respaldo para las redes eléctricas existentes, y posible solución en lugares donde no existan redes eléctricas convencionales ya que mediante este tipo de generación se puede incrementar la fiabilidad de la red al momento de entregar energía.

Dentro de las ventajas más relevantes generadas por la GD tenemos:

- La cercanía de las fuentes de energía renovables que se emplean en la generación distribuida produce una reducción en los costos por transporte, distribución y mantenimiento de las redes eléctricas.
- Al tener fuentes de energía no convencionales, la reducción de residuos contaminantes representa una clara ventaja.
- Ayuda a cubrir las demandas elevadas de potencia durante horas pico ya que la generación distribuida puede ser considerada como reserva.
- Los sistemas de generación distribuida pueden incrementar su potencia según la demanda energética, ya que utiliza una tecnología modular, mediante la cual puede variar su potencia al aumentar o disminuir módulos.
- En regiones apartadas como la amazonía o en sectores rurales donde no se cuenta con redes de energía eléctrica, permite brindar un servicio confiable y de calidad.
- Diversifica las fuentes primarias de energía como en el caso de la biomasa.
- Reducen el tiempo empleado para su emplazamiento en lugares cercanos al centro de consumo.

## **1.8. BARRERAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.**

Dentro de la generación distribuida se presentan barreras e inconvenientes al momento de pretender implementar este tipo de sistemas:

- Falta de madurez en determinadas tecnologías empleadas en la generación distribuida, lo que conlleva a tener un bajo nivel de eficacia en algunos sistemas.

- Al disponer de fuentes de energía no convencionales como las renovables, la generación distribuida posee un inconveniente que se debe a la aleatoriedad de los recursos renovables como el viento y el sol.
- Los costos iniciales debido a que algunas tecnologías no son lo suficiente maduras pueden resultar elevados.

### **1.9. PROYECTOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL ECUADOR**

El proyecto Euro solar impulsador por la comunidad Europea y el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador (MEER) ha dotado de energía eléctrica a los habitantes de Quichua en Añangu, mediante la colocación de paneles solares a las riberas del Rio Napo.

La generación eléctrica mediante viento se tiene proyectos como el instalado en la isla San Cristóbal, el cual está en funcionamiento desde octubre del 2007 con una potencia de 2,4 MW; también se encuentra en funcionamiento el parque nacional Villonaco el cual produce una potencia total de 16,5 MW ya que consta de 11 aerogeneradores.

En cuanto a la generación de energía eléctrica mediante la utilización de biomasa tenemos los ingenios azucareros Valdez y San Carlos los cuales emplean el bagazo de caña.

Dentro de los proyectos hidroeléctricos tenemos Abanico el cual se encuentra ubicado a 15km de la ciudad de Macas, este proyecto es una central a filo de agua por no poseer reservorio, y está en la capacidad de generar 37.5MW.

### **1.10. REGULACIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN ECUADOR**

El ARCONEL se encuentra promoviendo proyectos de generación distribuida a través de energías renovables como: fotovoltaica, eólico, e hidráulicos con límite de potencia de 1MW

Mediante la regulación No. ARCONEL-004/15 se establece los criterios y requerimientos técnicos para la conexión de generadores renovables no

convencionales a las redes de transmisión y distribución para no alterar la calidad y la confiabilidad en el servicio.

➤ **A continuación se presenta un extracto de la regulación No. ARCONEL-004/15.**

Se considera centrales de generación renovable no convencional a la que empleen las siguientes tecnologías:

*1 Solar fotovoltaica y solar termoeléctrica*

*2 Eólica*

*3 Pequeñas centrales hidroeléctricas potencia nominal menor o igual a 10MW*

*4 Geotérmica*

*5 Biomasa*

*6 Biogás*

*7 Mareomotriz*

➤ **Estudios para el acceso**

El usuario interesado a desarrollar un proyecto de generación mediante fuentes renovables no convencionales deberá realizar estudios técnicos para de esta manera verificar que no producirá efectos adversos al sistema al que se conecta.

**a. Escenarios a ser analizados**

Los escenarios que deben ser analizados son los siguientes:

- Red sin el generador renovable
- Red con el generador renovable
- Red de distribución solo con generación renovable en el caso que se permita funcionamiento en isla eléctrica.

**b. Flujos de potencia**

Se realizarán estudios de flujo de potencia considerando la incorporación de las nuevas instalaciones, considerando la mínima y máxima demanda.

**c. Estudios de cortocircuitos**

Se deberán realizar estudios de cortocircuitos trifásicos y monofásicos como mínimo para las condiciones de demanda y topología de tal manera

que representen niveles de corrientes de cortocircuitos mínimas y máximas, en los puntos de la red que se consideren más críticos.

#### **d. Estudio de coordinación de protecciones**

Se deben realizar estos estudios a fin de coordinar las protecciones del sistema generador y la línea de interconexión.

### **1.11. GENERADORES DIÉSEL**

Este tipo de generadores transforman la energía mecánica en energía eléctrica, y son utilizados para brindar respaldo a las edificaciones cuando por alguna circunstancia se deje de tener aporte de energía eléctrica desde la red convencional. Estos aparatos a su vez pueden ser conectados en paralelo a otros, mediante el proceso de sincronización, para lo cual se deberá tener en consideración la velocidad de las máquinas diésel, para lograr brindar mayor capacidad a la red, eficiencia y redundancia. (Fenercom 2007)

Una de las principales características de un generador diésel es su capacidad de producir su potencia nominal por varios años

### **1.12. ACUMULADORES.**

La aleatoriedad de los factores ambientales hace que sea necesario la utilización de sistemas de almacenamiento para la energía producida por los sistemas de generación distribuida, es así que las baterías son recargadas a partir de las fuentes de energía renovable como es el caso de los paneles fotovoltaicos y aerogeneradores. Las baterías son capaces de transformar la energía química en energía eléctrica.

Las principales funciones que cumplen las baterías dentro de un sistema de generación distribuida en la que intervengan sistemas como el eólico o fotovoltaico son:

- Almacenar energía por un determinado periodo de tiempo
- Proporcionar una potencia elevada
- Fijar la tensión de operación de la instalación

También es importante determinar la capacidad de la batería, la cual indica la capacidad de electricidad que se puede obtener durante una descarga completa a partir de un estado de carga completa y es medido en amperios hora (Ah), y puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$C = t * I$$

### 1.12.1. TIPOS DE BATERÍAS

Las baterías se pueden clasificar en función de la tecnología utilizada para su fabricación así como los electrolitos utilizados. En la tabla 2 podemos observar el tipo de baterías con sus características básicas.

*Tabla 2. Tipo de baterías con sus características básicas. (Díaz T y Carmona G 2010)*

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

## CAPÍTULO 2

### 2. MODELO MATEMÁTICO DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

#### 2.1. MODELO MATEMÁTICO DEL PANEL FOTOVOLTAICO

Para la realización del modelo matemático del panel fotovoltaico se parte del análisis de una célula solar y su respectivo circuito equivalente presentado en la figura 14.

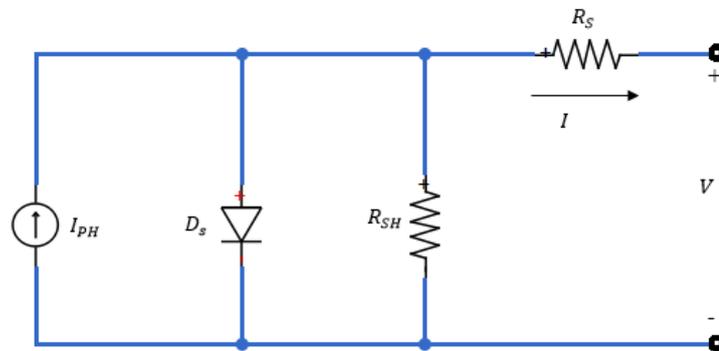


Figura 14. Circuito equivalente de una célula solar.

#### 2.1.1. NOMENCLATURA EMPLEADA PARA EL MODELO DEL PANEL FOTOVOLTAICO.

A continuación se presenta la nomenclatura empleada en el modelo matemático del panel fotovoltaico.

$I_{PH}$ , corriente generada por la luz solar. [A]

$I_S$ , corriente de saturación de la célula en la obscuridad. [A]

$q$ , carga de un electrón ( $q = 1.6E^{-19}C$ )

$k$ , constante de Boltzmann ( $k = 1.38E^{-23}J/k$ )

$T_C$ , temperatura a la que se encuentra trabajando la célula solar. [°C]

$R_S$ , resistencia en serie que representa la resistencia interna al flujo de corriente.

[ $\Omega$ ]

$R_{SH}$ , resistencia en paralelo que representa la corriente de fuga. [ $\Omega$ ]

$V$ , voltaje producido por la célula fotovoltaica. [V]

$I_{SC}$ , corriente de cortocircuito en la célula a  $1kW/m^2$  y  $25^\circ C$ . [A]

$k_i$ , coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito.

$T_{ref}$ , temperatura de referencia de la célula (dato de la hoja técnica del fabricante). [°C]

$\lambda$ , irradiancia solar [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ]

$I_{RS}$ , corriente de saturación inversa de la célula solar. [A]

$v_{OC}$ , voltaje de circuito abierto. [V]

$N_P$ , número de células conectadas en paralelo.

$N_S$ , número de células conectadas en serie.

$P_{max}$ , potencia máxima. [W]

$P_{min}$ , potencia mínima. [W]

$\gamma$ , factor de relleno de las células que determina la calidad de las mismas

$V_{max}$ , voltaje máximo. [V]

$V_{min}$ , voltaje mínimo. [V]

$I_{PV}$ , corriente generada por el panel fotovoltaico. [A]

$A$ , factor de linealidad.

Valores de  $A$  dependiendo del material del cual estén construidas las células del panel fotovoltaico. (Singla y Kumar 2013)

*Tabla 3. Factor de linealidad (A). (Singla y Kumar 2013)*

Descripción	Tecnología	A(adimensional)
Silicio monocristalino	Si-mono	1.2
Silicio policristalino	Si-poly	1.3
Silicio amorfo hidrogenado	a-Si:H	1.8
Silicio amorfo hidrogenado	a-Si:H triple	3.3
Teluro de cadmio	CdTe	5
Cobre Indio y Selenio	CIS	1.5
Arseniuro de galio	AsGa	1.3

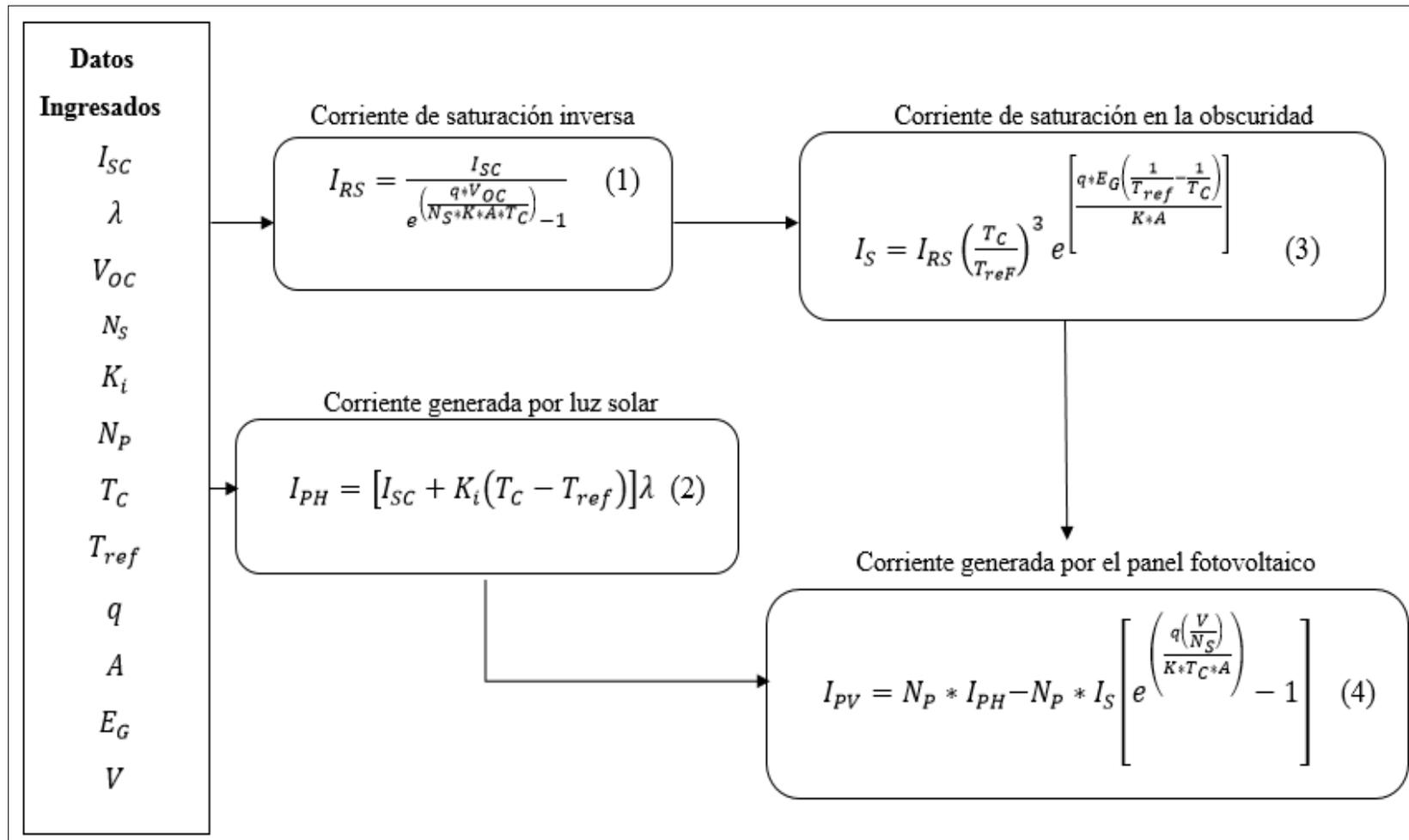


Figura 15. Esquema del modelo matemático de un panel fotovoltaico.

## 2.2. MODELO MATEMÁTICO DE TURBINA EÓLICA.

La turbina eólica es un dispositivo diseñado para aprovechar la energía producida por el movimiento del viento, produciendo así una potencia mecánica y moviendo un generador, para convertirla en energía eléctrica.

La cantidad de energía que puede ser aprovechada por la turbina eólica depende de tres parámetros como, la velocidad del viento, área de barrido del rotor de las aspas del rotor y eficiencia máxima de la turbina.

El matemático de la turbina de parte de la masa de corriente de aire del viento que pasa a través del área de barrido de la turbina, la cual está en función de la densidad del aire y la velocidad del viento. Como podemos ver en la figura 16.

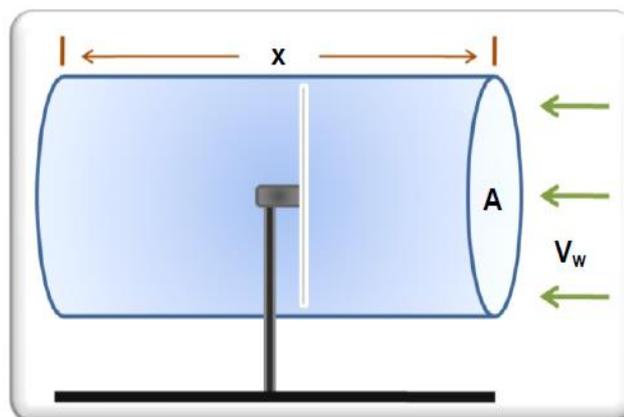


Figura 16. Ráfaga de aire en un aerogenerador. (Hernández A 2008)

### 2.2.1. NOMENCLATURA EMPLEADA EN EL MODELO MATEMÁTICO.

A continuación se presenta la nomenclatura empleada en el modelo matemático de la turbina eólica.

$m$ , masa de corriente de aire. [ $kg$ ]

$x$ , tamaño de corriente de aire. [ $m$ ]

$A$ , área de superficie de barrido de las palas. [ $m^2$ ]

$\rho$ , densidad del aire. [ $kg/m^3$ ]

$R$ , radio del rotor de la turbina. [ $m$ ]

$E_{ec}$ , energía cinética producida por la ráfaga de aire. [J]

$P_w$ , potencia útil producida por la turbina. [W]

$V_w$ , velocidad del viento. [m/s]

$\beta$ , ángulo de paso de las palas con respecto al viento. [grados]

$\lambda$ , relación de la velocidad específica o periférica.

$w_r$ , velocidad angular de la turbina. [rad/s]

$P_m$ , potencia media aprovechable. [ W]

$T_m$ , par mecánico del eje de la turbina. [ kNm]

$C_p$ , coeficiente de potencia máximo o límite teórico de Betz.

*Tabla 4. Coeficientes para obtener valores de ( $C_p$ .)*

Descripción	Valor (adimensionales)
$c1$	0.5176
$c2$	116
$c3$	0.4
$c4$	5
$c5$	21
$c6$	0.0068

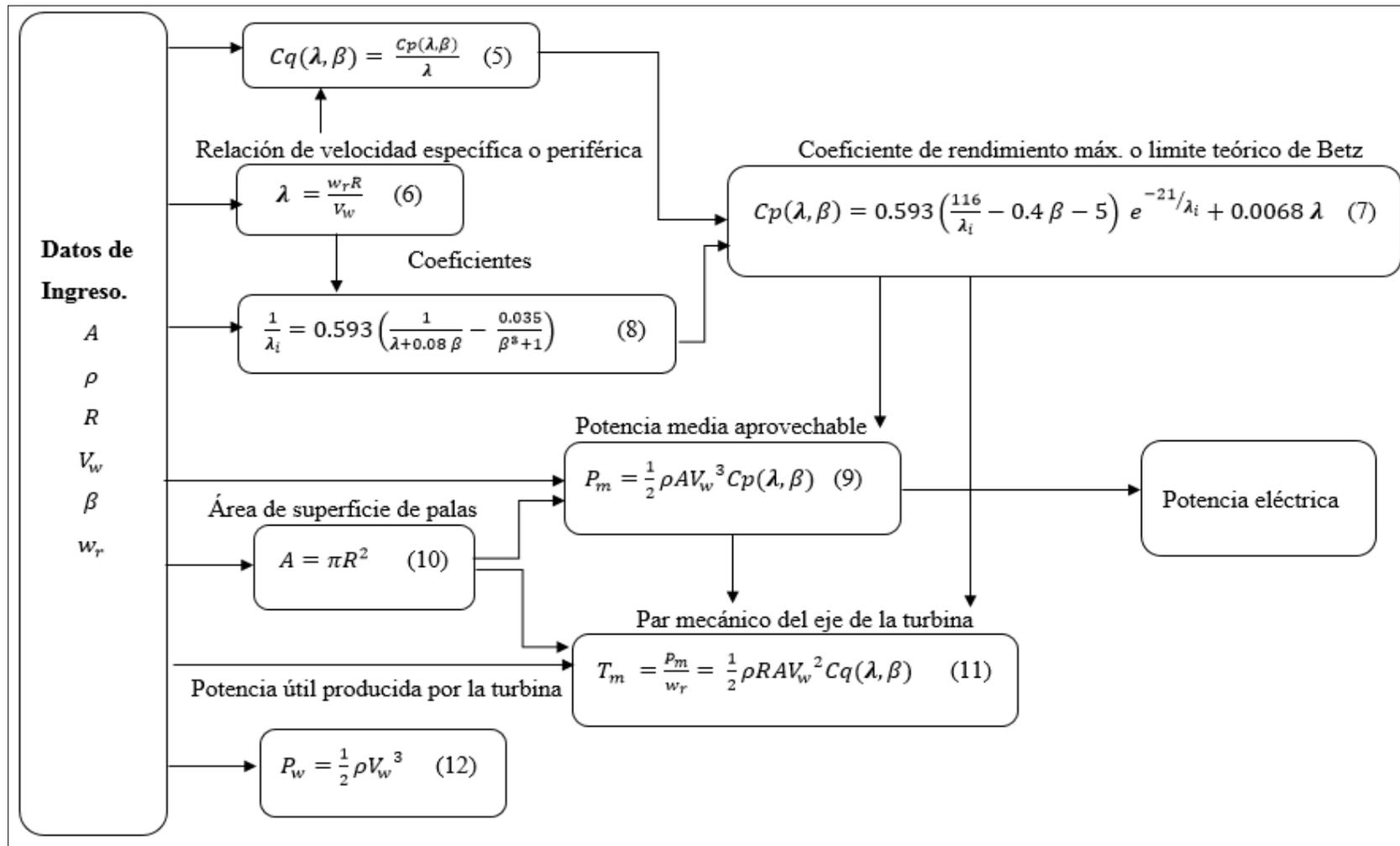


Figura 17. Esquema del modelo matemático de la turbina eólica.

### 2.2.2. DENSIDAD DEL AIRE.

A continuación se presenta la nomenclatura empleada en el modelo matemático de la densidad del aire.

$p$ , presión atmosférica. [ $kPa$ ]

$T$ , temperatura ambiente. [ $^{\circ}K$ ]

$h_t$ , altitud sobre el nivel del mar. [ $km$ ]

$R_c$ , constante de gases ideal del aire. [ $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ ]

$\rho_0$ , densidad del aire de referencia a nivel del mar. [ $kg\ m^{-3}$ ]

$g$ , aceleración gravitacional. [ $m\ s^{-2}$ ]

A continuación se presenta los valores de las diferentes constantes para la obtención de la densidad del aire dependiendo del lugar.

Tabla 5. Constantes utilizadas para obtener la densidad del aire

Descripción	Valor
$R_c$	$287.05\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
$g$	$9.80665\ m\ s^{-2}$
$p$	$101.325\ kPa$
$\rho_0$	$1.2250\ kg\ m^{-3}$
$T$	$273.15\ K$
$h_t$	De 0 a 11 km

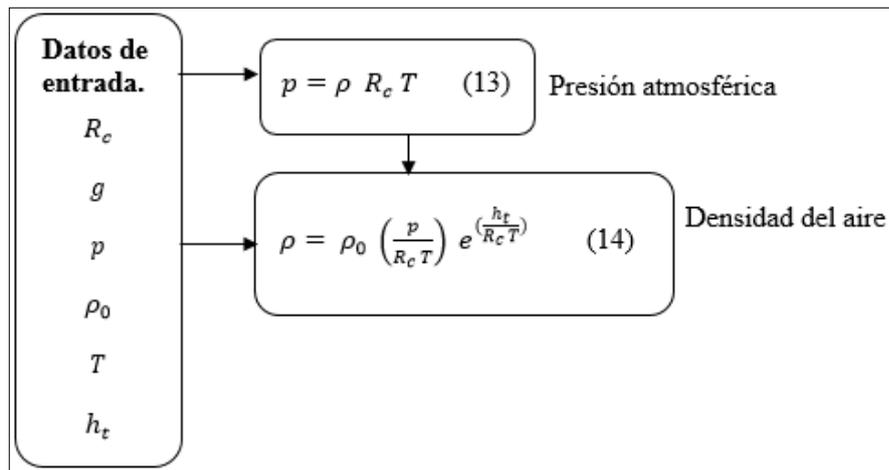


Figura 18. Esquema del modelo matemático de la densidad del aire.

### 2.3. MODELO MATEMÁTICO DE UN GENERADOR TRIFÁSICO SÍNCRONO DE ROTOR DE POLOS SALIENTES

Nomenclatura empleada para encontrar los parámetros característicos de un generador trifásico síncrono de polos salientes. (Aller J 2008)

$P_E$ , potencia activa [kW]

$V_L$ , voltaje de línea [V]

$f$ , frecuencia [Hz]

$\cos(\varphi)$ , factor de potencia

$I_L$ , corriente de línea [A]

$n_n$ , velocidad nominal [rpm]

$S$ , potencia aparente [VA]

$I_f$ , corriente de campo [A]

$Z_B$ , impedancia base [ $\Omega$ ]

$L_B$ , inductancia base [Hz]

$\omega_B$ , velocidad angular base [rad/seg]

$L_{df}$ , inductancia directa de campo [mH]

$L_d$ , inductancia directa [mH]

$L_{dm}$ , inductancia directa de magnetización [mH]

$N_f$ , número de vueltas del bobinado de campo

$N_d$ , número de vueltas del bobinado directo

$I_B$ , corriente base [A]

$I_{Bf}$ , corriente base de campo [A]

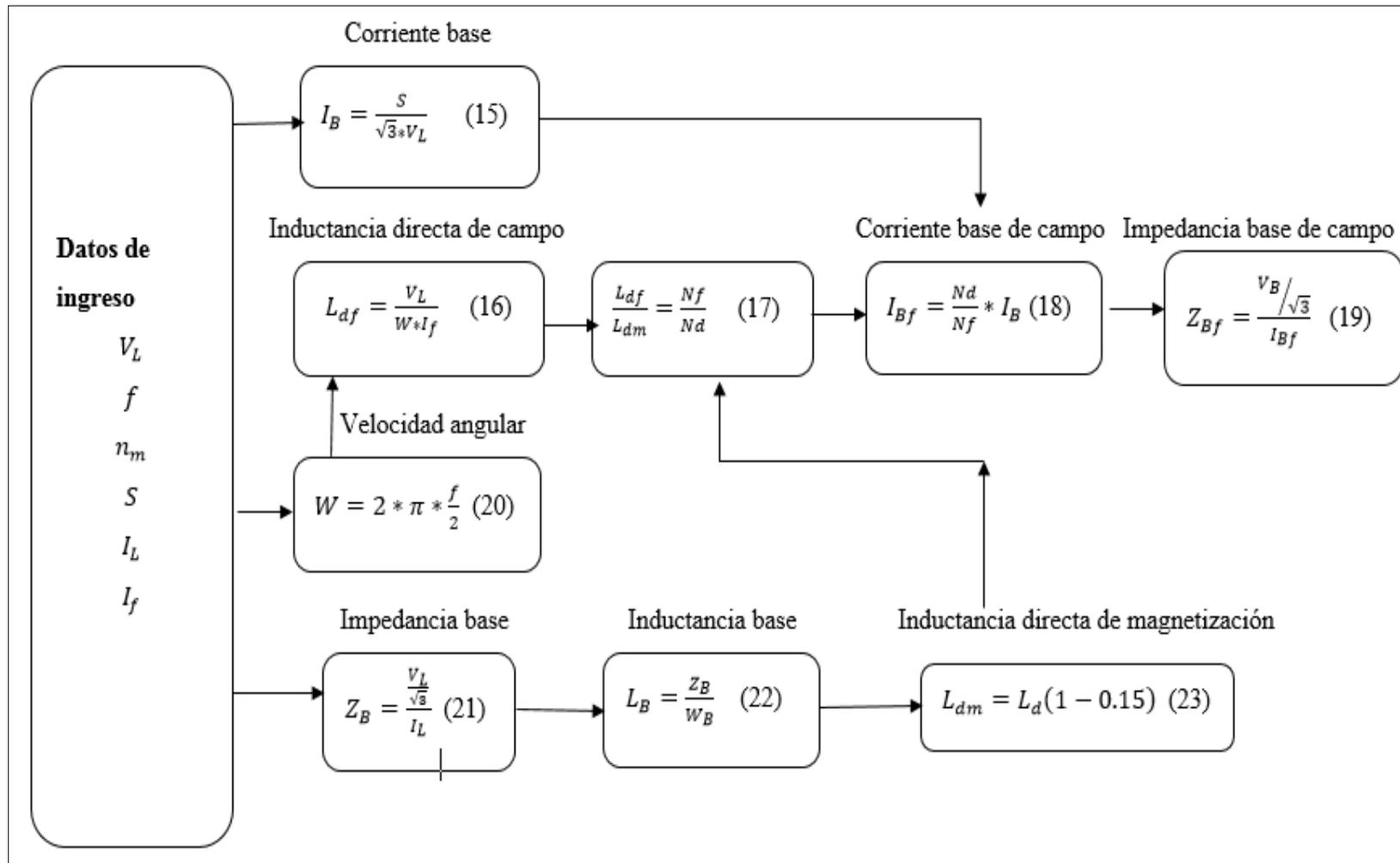


Figura 19. Esquema del modelo matemático del generador diésel.

Cálculos realizados para determinar los parámetros característicos de un generador de polos salientes. (Aller J 2008)

$$n_n = 1800 \text{ rpm}$$

$$V_L = 208 \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$S = 13000 \text{ VA}$$

$$I_B = \frac{13000VA}{\sqrt{3} * 208V} = 36A$$

$$Z_B = \frac{\frac{208V}{\sqrt{3}}}{36A} = 3.33\Omega$$

$$L_B = \frac{Z_B}{W_B} = \frac{3.33\Omega}{377\text{rad/seg}} = 8.84 \times 10^{-3} H$$

$$w = 2 * \pi * \frac{60}{2} = 188\text{rad/seg}$$

$$L_{df} = \frac{V_L}{w * I_f} = \frac{208V}{188.5 * 3A} = 0.3678H$$

$$L_{dm} = L_d * (1 - 0.15) = 8.83 * 0.85 = 7.5mH$$

$$\frac{L_{df}}{L_{dm}} = \frac{N_f}{N_d} = \frac{0.3678H}{7.5mH} \approx 49 \text{ vueltas}$$

$$I_B * N_d = N_F * I_{BF} = \frac{I_B}{49} = \frac{36A}{49} = 0.736A$$

$$Z_{BF} = \frac{\frac{V_B}{\sqrt{3}}}{I_{BF}} = \frac{\frac{208V}{\sqrt{3}}}{0.736A} = 163\Omega$$

## **CAPÍTULO 3**

---

### **3. DATOS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

#### **3.1. LEVANTAMIENTO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.**

La alimentación de todas las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca está compuesta por varios transformadores debido a que la demanda energética es considerable, por este motivo anteriormente la facturación por consumo energético constaba de un medidor por cada transformador, en la actualidad por nuevas disposiciones se han unificado la demanda al medidor número 272385. (Pesántes J y Cueva D 2016)

El consumo de energía es diferente en cada transformador, en algunos se mantiene en cierto periodo de tiempo y para otros no, esto se debe a los periodos de vacaciones por semestres, días festivos y fines de semana.

##### **3.1.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL CONSUMO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.**

Para realizar el estudio correspondiente se ha recopilado la información de datos de demanda de energía eléctrica del año 2015 de la página Web del EERCS (Empresa Eléctrica Regional Centro Sur) de la Universidad politécnica Salesiana sede Cuenca, en la tabla 6 presenta el consumo energético debido a la unión de los todos los transformadores.

Tabla 6. Demanda energética de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca 2015.

Mes	Energía consumida			Total de energía consumida por mes (kWh)
	Horario de consumo por mes por día			
	(7-18)horas	(18-22) horas	(22-7) horas	
Enero	43.729	17.954	16.385	78.068 (kWh)
Febrero	48.276	19.273	16.302	83.851 (kWh)
Marzo	39.783	17.473	14.878	72.134 (kWh)
Abril	40.836	17.391	16.034	74.261 (kWh)
Mayo	47.613	19.155	16.059	82.827 (kWh)
Junio	49.134	19.972	16.633	85.739 (kWh)
Julio	51.688	21.507	16.548	89.743 (kWh)
Agosto	54.593	21.563	17.295	93.451 (kWh)
Septiembre	35.967	14.174	16.453	66.594 (kWh)
Octubre	40.619	14.999	16.102	71.720 (kWh)
Noviembre	50.383	19.979	17.255	87.617 (kWh)
Diciembre	46.598	18.814	17.304	82.716 (kWh)
Potencia total consumida en año 2015				968721 (kWh)

La figura 20 presenta el consume energético total por cada mes del 2015.

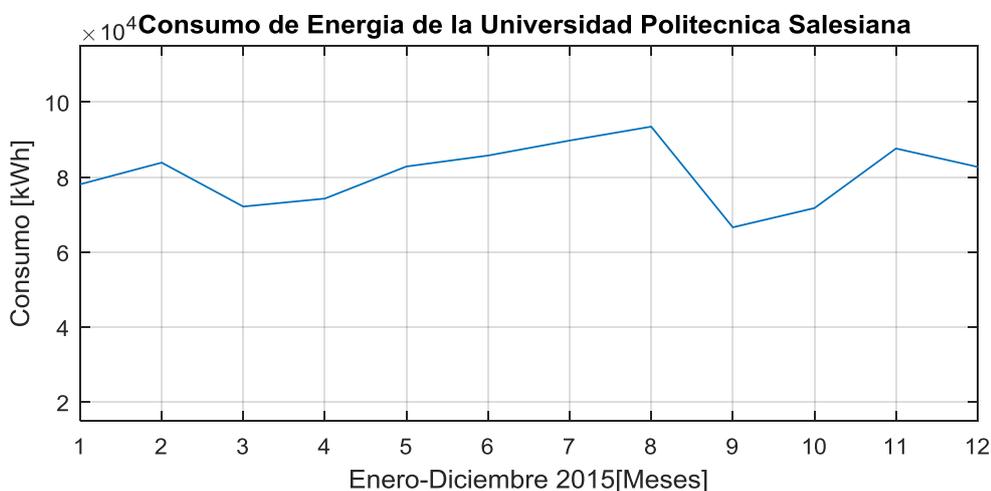


Figura 20. Curva de Demanda energética del año 2015 de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

### 3.2. CONSUMO ENERGÉTICO DEL TRANSFORMADOR 1860.

Tras una investigación y levantamiento del consumo del Transformador 1860 que consta de una potencia de 300kVA, se ha establecido que dicho transformador alimenta al edificio Cornelio Merchán, Maro Rizzini y Teatro Carlos Crespi de la

Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca y representaría un 35% de la energía total consumida, la cual estaría entre 30 y 35 MWh/mes. (Pesántes J y Cueva D 2016)

### 3.2.1. CONSUMO DEL EDIFICIO “CORNELIO MERCHÁN”.

El edificio Cornelio Merchán es uno de los edificios más grandes y de mayor consumo de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. En la tabla 7 se presenta el consumo total mensual estimado del edificio Cornelio Merchán. (Pesántes J y Cueva D 2016)

*Tabla 7. Consumo total del edificio Cornelio Merchán*

Edificio Cornelio Merchán	Consumo Mensual Estimado			
	Potencia (kW)	Energía (kWh)	Pico (kWh)	Potencia Pico (kW)
Total.	203,6	2.4780,4	4.662,3	154,6

### 3.2.2. CONSUMO DEL EDIFICIO “MARIO RIZZINI”.

El edificio Mario Rizzini también es alimentado por el transformador 1860 de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, como se puede observar en la tabla 8 el consumo total mensual estimado del edificio Mario Rizzini. (Pesántes J y Cueva D 2016)

*Tabla 8. Consumo total del edificio Mario Rizzini*

Edificio Mario Rizzini	Consumo Mensual Estimado			
	Potencia (kW)	Energía (kWh)	Pico (kWh)	Potencia Pico (kW)
Total.	27,9	6.853,4	1.835,8	26,2

### 3.2.3. CONSUMO TOTAL DEL TRANSFORMADOR 1860

El consumo total del transformador 1860 se obtiene de la suma de las energías consumidas por los edificios Cornelio Merchán y Mario Rizzini, como se puede ver en la tabla 9. (Pesántes J y Cueva D 2016)

*Tabla 9. Consumo total del transformador 1860*

Transformador 1860	Consumo Mensual Estimado			
	Potencia (kW)	Energía (kWh)	Pico (kWh)	Potencia Pico (kW)
Total.	231,5	31.633,8	498,1	180,8

## CAPÍTULO 4

### 4. DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN

#### 4.1. PLANTEAMIENTO DE VARIABLES PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO Y EÓLICO

La simulación del panel fotovoltaico requiere de variables de temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ ), e irradiación solar ( $\lambda$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]); la simulación del aerogenerador requiere la velocidad del viento ( $V_w$  [ $\text{m}/\text{s}$ ]); todas estas variables fueron obtenidas de la base de datos de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER-UPS) en un periodo de 12 meses del año 2015 en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

##### 4.1.1. TEMPERATURA ( $^{\circ}\text{C}$ )

La figura 21 se presenta la temperatura ambiente cercano a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca durante el año 2015.

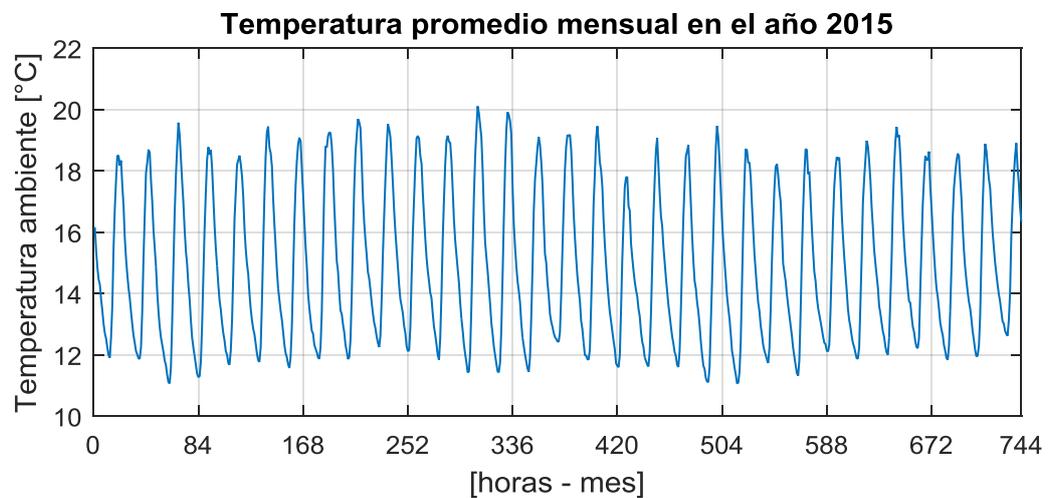


Figura 21. Temperatura promedio ambiente del año 2015 (Datos INER-UPS)

La figura 22 muestra el comportamiento de la temperatura ambiente cercano a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca durante el mes de enero del año 2015.

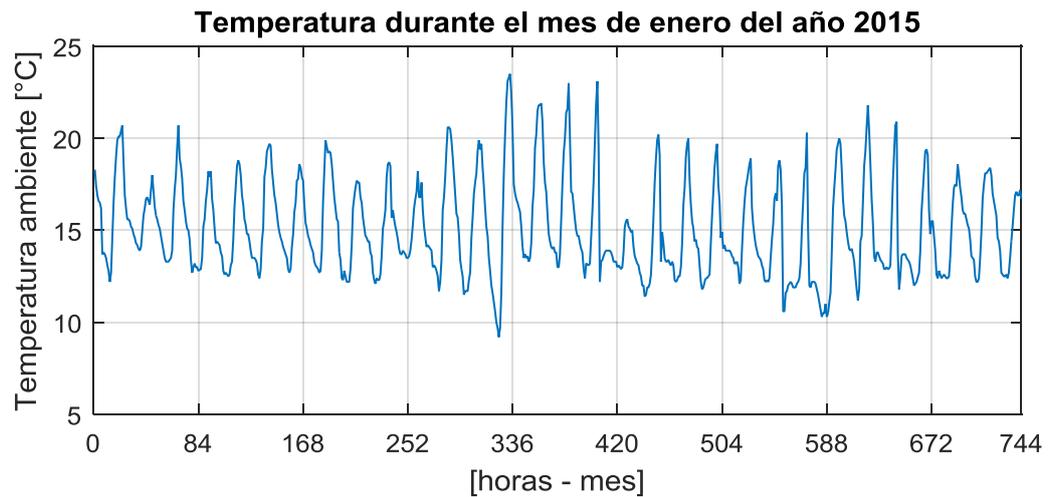


Figura 22. Temperatura ambiente del mes de enero del año 2015 (Datos INER-UPS)

#### 4.1.2. IRRADIACIÓN SOLAR ( $\lambda$ )

La figura 23 muestra el comportamiento de la radiación solar global cercano a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca durante el año 2015.

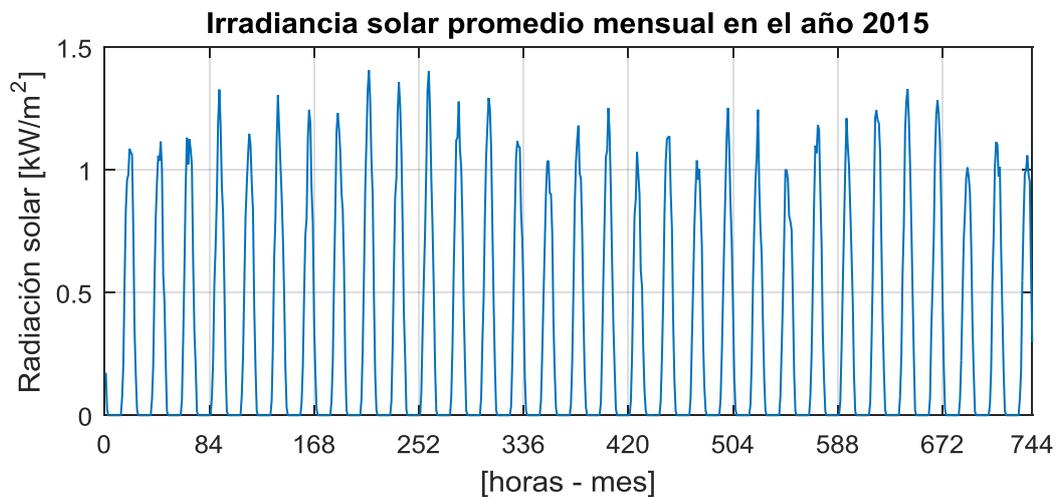


Figura 23. Radiación solar global promedio del año 2015 (Datos INER-UPS)

La figura 24 muestra el comportamiento de la radiación solar global cercano a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca durante el mes de enero del año 2015.

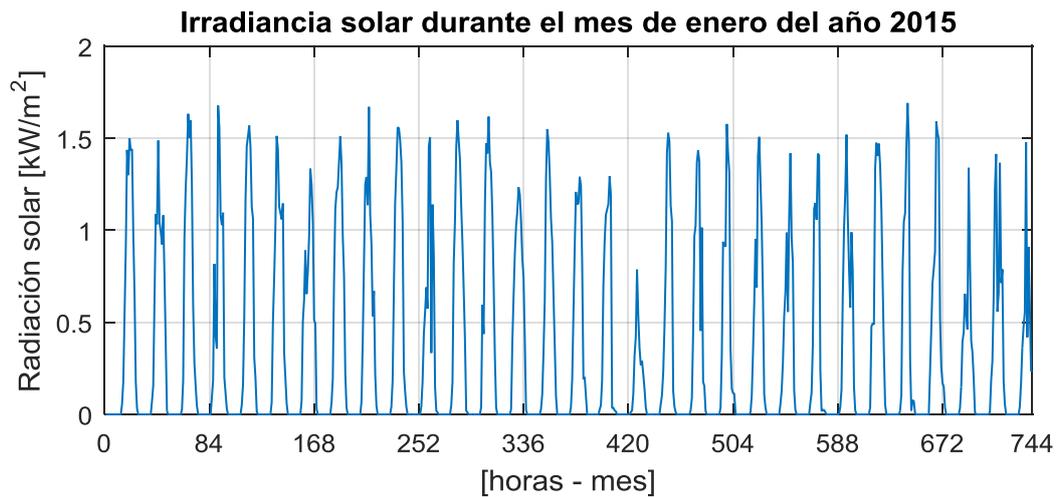


Figura 24. Radiación solar global del mes de enero del año 2015 (Datos INER-UPS)

#### 4.1.3. VELOCIDAD DEL VIENTO ( $V_w$ )

La figura 25 muestra el comportamiento de la velocidad del viento cercano a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca durante el año 2015.

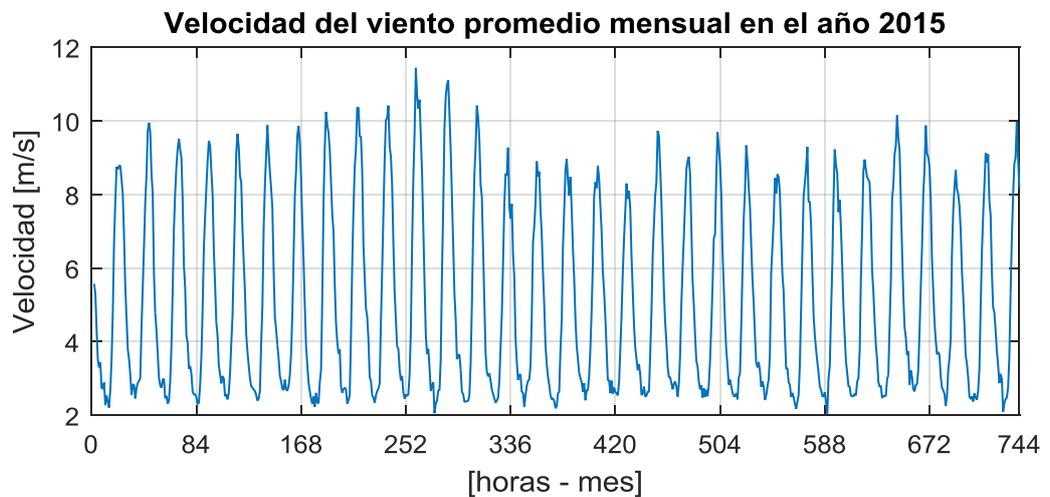


Figura 25. Velocidad del viento promedio del año 2015 (Datos INER-UPS)

La figura 26 muestra el comportamiento de la velocidad del viento cercano a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca durante el mes de enero del año 2015.

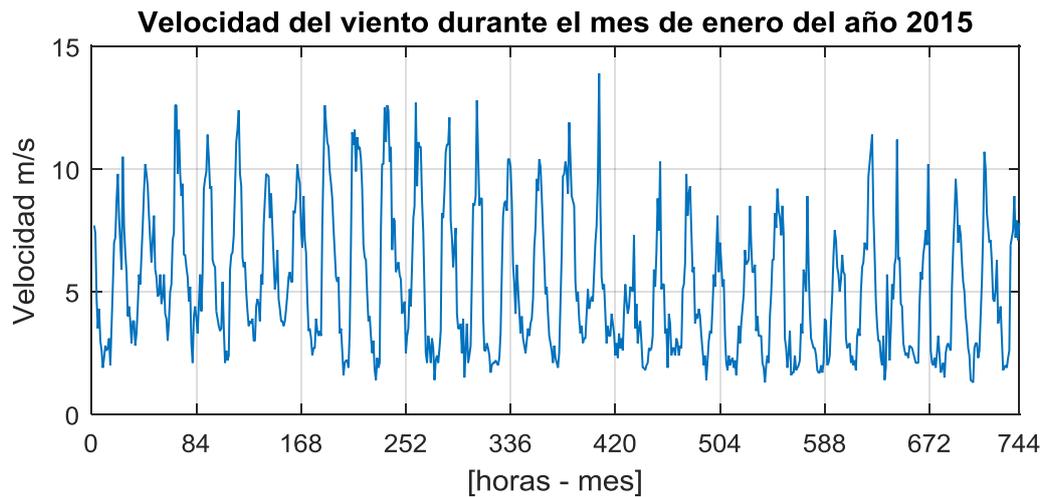
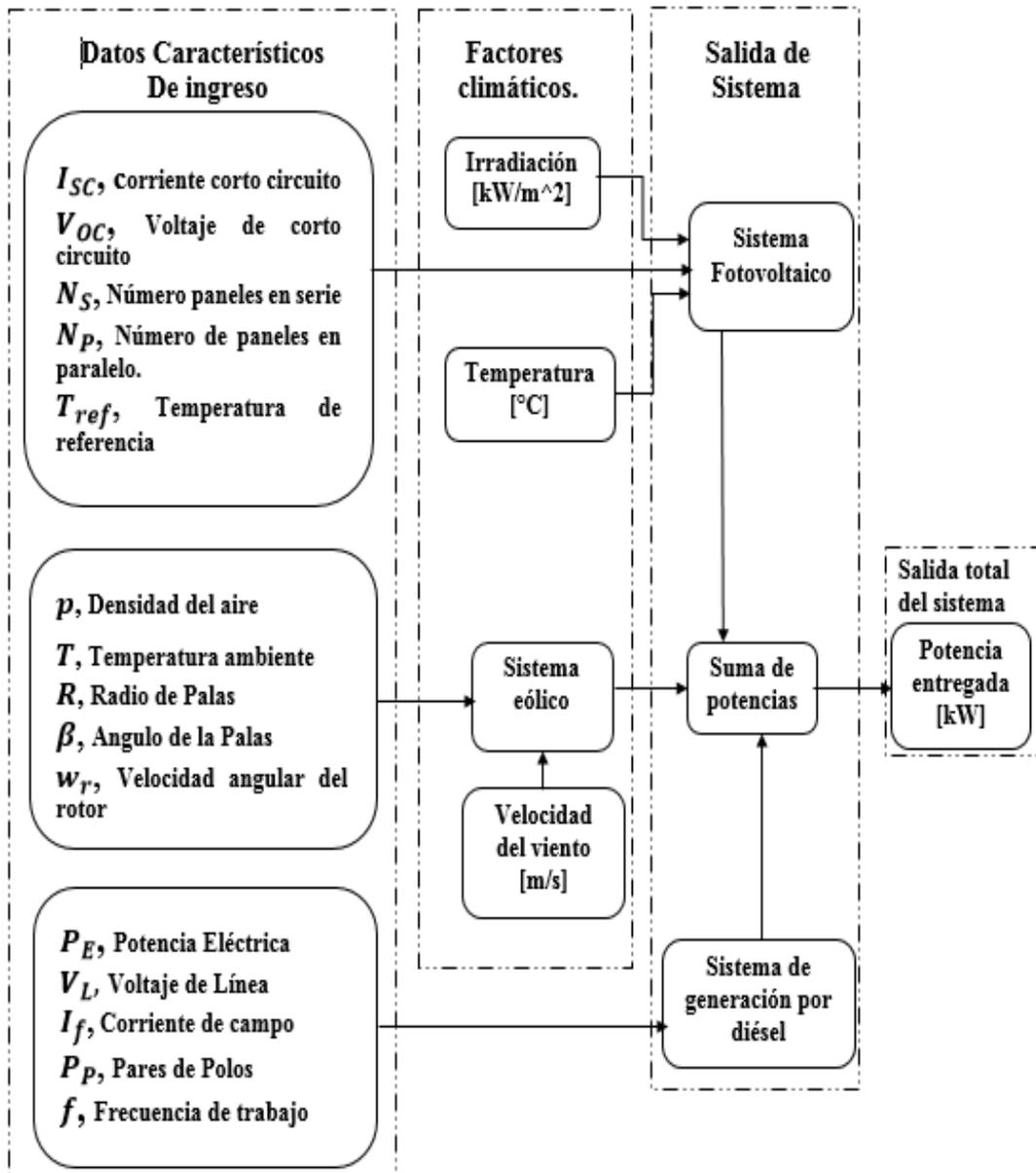


Figura 26. Velocidad del viento del mes de enero del año 2015 (Datos INER-UPS)

#### 4.1.4. PLANTEAMIENTO DE VARIABLES PARA EL SISTEMA AUXILIAR DE GENERACIÓN POR DIÉSEL.

Para realizar la simulación del sistema de generación a diésel se ha tomado como modelo de referencia uno de los generadores existentes en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, del cual se ha tomado los datos característicos de la placa como son: potencia activa [kW], frecuencia [f], pares de polos [ $P_p$ ], voltaje de línea [ $V_L$ ], y corriente de campo [ $I_f$ ].

**4.1.5. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODELO DE SIMULACIÓN  
PARA LA INTEGRACIÓN DE RECURSOS DE GENERACIÓN  
DISTRIBUIDA.**



*Figura 27. Diagrama de bloques del simulador de generación de recursos distribuidos*



## 4.2.2. AEROGENERADOR.

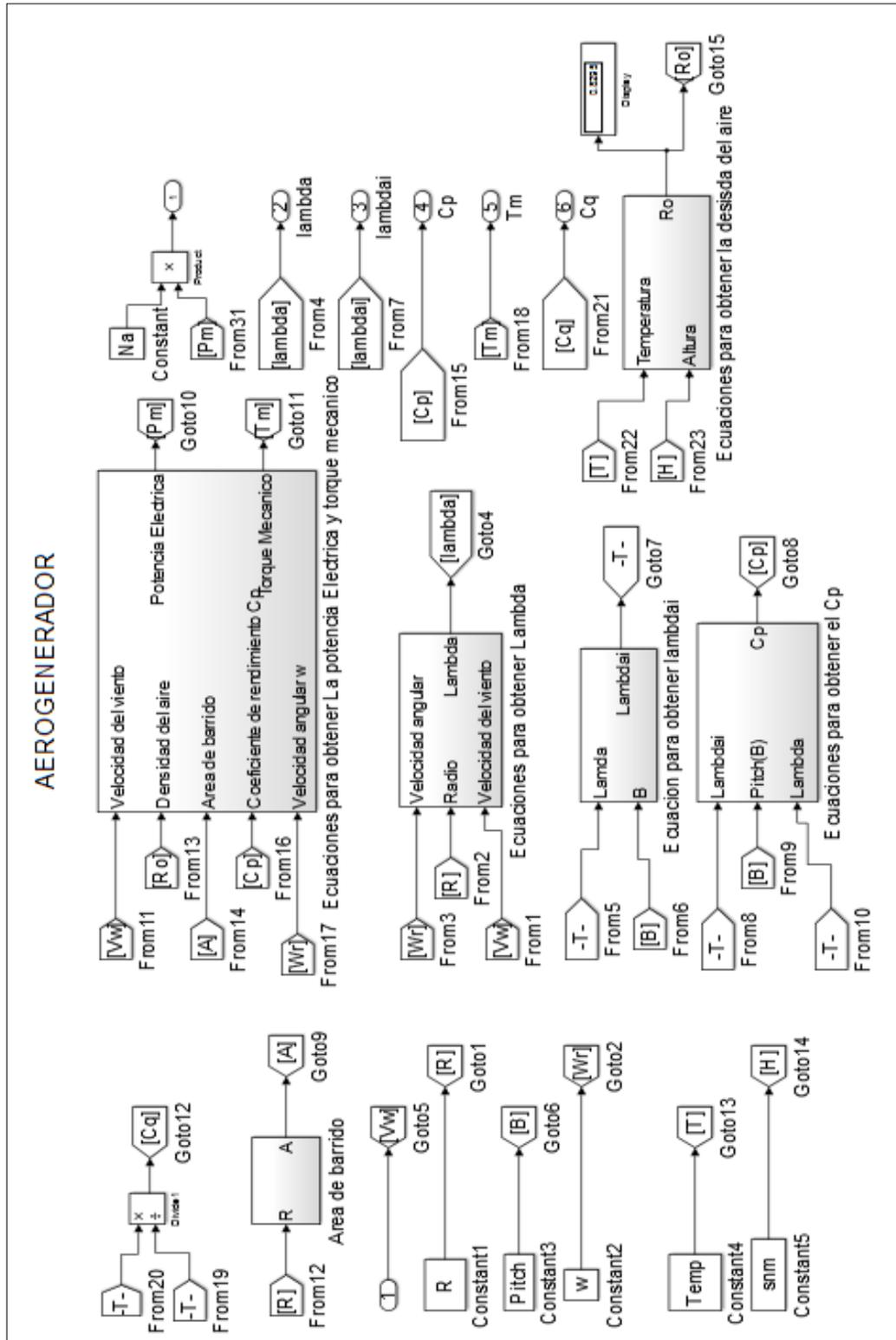


Figura 29. Diagrama de bloques de la composición interna del aerogenerador.

### 4.2.3. GENERADOR DIESEL.

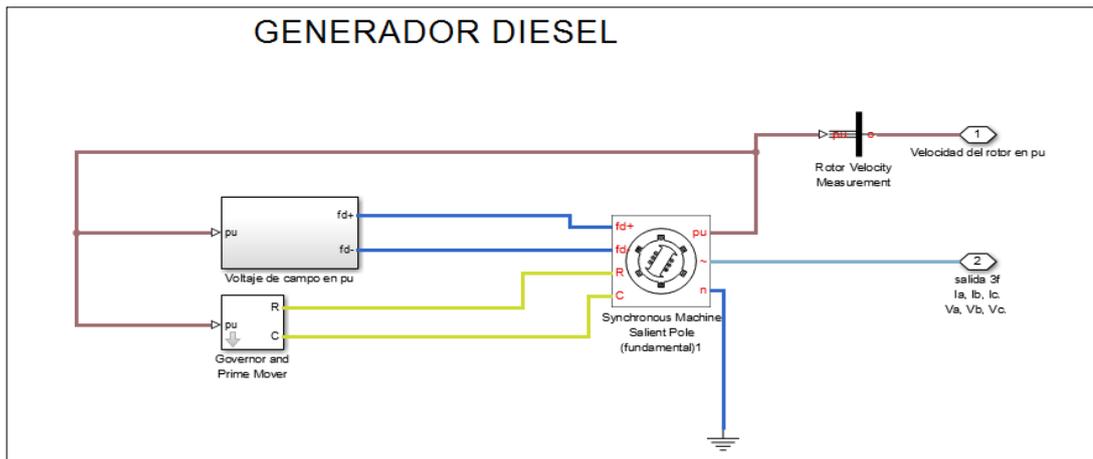


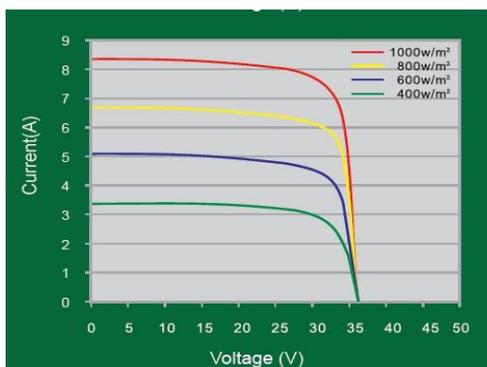
Figura 30. Diagrama de bloques de la composición interna del generador Diésel

### 4.3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA.

Para garantizar que el sistema funcione de manera correcta se han considerado modelos matemáticos establecidos por investigadores y libros de energías renovables. (Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu y and Yi-Jie Su 2008), (M. E. González Elías, y otros 2011) También se ha realizado una validación de mediante pruebas nominales de los equipos los cuales son datos dado por el fabricante que se encuentran en los anexos.

#### 4.3.1. VALIDACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

La validación del modelo matemático empleado en el módulo fotovoltaico se lo consigue obteniendo las curvas características del mismo y comparándolas con las curvas entregadas por el fabricante. Para este caso puntual se toma la información técnica del panel fotovoltaico de marca SIMAX 660 de 230W. En la figura 31 se presenta los datos técnicos del panel SIMAX 660.



Parameters	SP660-230
Peak power [Wp] $P_{mpp}$	230W
Power Tolerance	0~+3%
Module Efficiency (%)	14.3%
Open circuit voltage [V] $V_{oc}$	36.6
Maximum Power Voltage [V] ( $V_{mpp}$ )	29.5
Maximum Power Current [A] ( $I_{mpp}$ )	7.80
Short circuit Current [A] ( $I_{sc}$ )	8.42

Figura 31. Datos técnicos del panel SIMAX 660 (Ver anexo 1)

En la siguiente figura 32 se presenta las curvas de voltaje vs corriente y voltaje vs potencia obtenidas al variar los valores de irradiación desde los  $400 \text{ W/m}^2$  hasta los  $1000 \text{ W/m}^2$ , manteniendo una temperatura constante de  $25^\circ\text{C}$ .

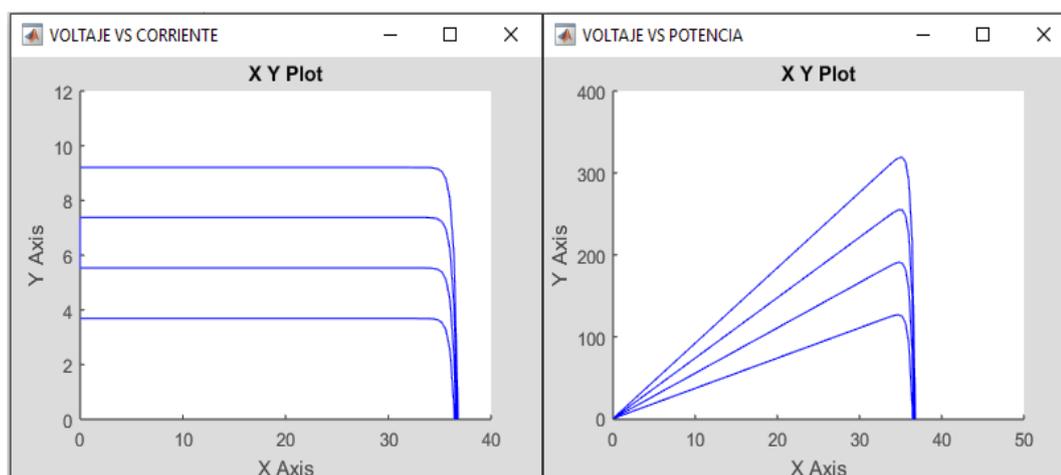


Figura 32. Curvas obtenidas del modelo variando la irradiancia solar.

En la figura 32 presentada se observa que la corriente tiende a subir cuando se incrementa la irradiación solar, que para esta prueba tomo valores de  $400 \text{ W/m}^2$  hasta los  $1000 \text{ W/m}^2$  en rangos de  $200 \text{ W/m}^2$ ; en esta figura también se presenta el comportamiento de voltaje vs la potencia la misma que tiene incrementos a medida que se varia la irradiación solar.

Con los resultados obtenidos se ha realizado una contrastación entre las gráficas generadas mediante el modelo matemático implementado en simulink de Matlab y las gráficas obtenidas desde el fabricante y se observa que las variaciones son mínimas, lo cual indica que el modelo implementado es bastante aproximado.

#### 4.3.2. VALIDACION DEL GENERADOR MICRO EÓLICO.

Para la validación se tomó como ejemplo un generador micro eólico de la marca Sunnily X-600, en tabla 10 se muestra las especificaciones técnicas del fabricante. (ecopowershop 2015)

Tabla 10. Especificaciones técnicas Sunnily X-600.

Rated power	600W
Maximum power	700W
Voltage	24V
Start wind speed	2.0m/s
Rated wind speed	12.5m/s
Security wind speed	45m/s
Net Weight	15kg
Packing size	98*58*26cm
Wind wheel diameter	1.85m

En figura 33 se muestra la potencia de salida del generador con una velocidad viento determinada del Sunnily X-600.

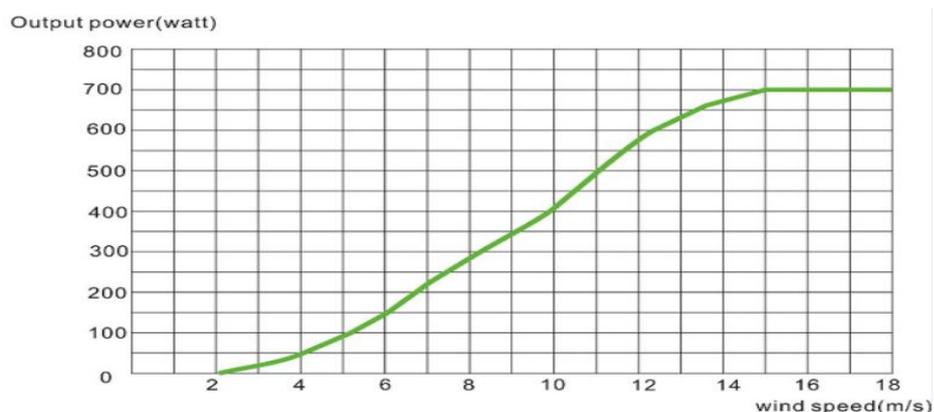


Figura 33. Curva de potencia con respecto a la velocidad Sunnily X-600 (Ver anexo 2)

En la figura 34 se muestra el coeficiente de rendimiento de la micro generador eólico con respecto a  $\lambda$ , la curva es obtenida del sistema en condiciones nominales del generador.

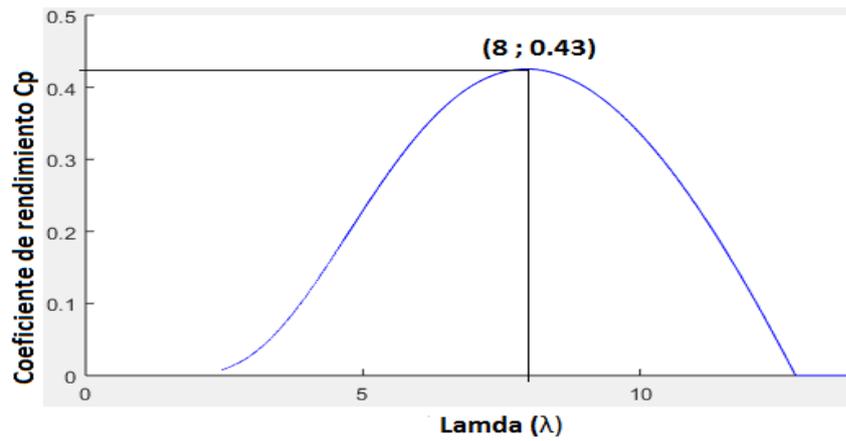


Figura 34. Coeficiente de rendimiento  $C_p$  con respecto a  $\lambda$ .

En la figura 35 se muestra la potencia de salida del micro generador eólico con respecto a la velocidad del viento, la curva es obtenida del sistema en condiciones nominales del generador.



Figura 35. Curva de potencia de salida con respecto a la velocidad del viento.



## CAPÍTULO 5

### 5. PRUEBAS DEL MODELO DE SIMULACIÓN BASADA EN ESCENARIOS

Las pruebas a las que se somete al modelo de simulación de generación de recursos de generación distribuidos está basado en 5 escenarios, en los cuales se realiza diferentes combinaciones de los tres sistemas de generación distribuida, con parámetros de ingreso de las condiciones ambientales como de: irradiación solar, temperatura ambiente y velocidad del viento obtenidas por el INER, en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. También propone la generación entre 30 y 35% del consumo del transformador 1860.

*Tabla 11. Escenarios en los cuales se analiza la potencia generada por los sistemas de generación distribuida*

Escenario	Sistemas			Condiciones ambientales					
				Irradiación [kW/m <sup>2</sup> ]		Temperatura [°C]		Velocidad del viento [m/s]	
	Solar	Eólico	Diésel	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
1	x				x	-	-		
2	x			x		-	-		
3	x	x			x	-	-		x
4	x	x		x		-	-		x
5	x	x	x		x	-	-		x

#### 5.1. PROPUESTA DE GENERACIÓN CON EL SISTEMA.

Para determinar la cantidad de energía a generar se partió del consumo de un mes de mayor consumo de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

En la tabla 11 se presenta la propuesta de generación del 30% mensual con los sistemas: eólico, fotovoltaico, a más de 10kW producidos por un generador diésel como auxiliar.

*Tabla 12. Propuesta de generación mensual por el sistema.*

Mes	Consumo total UPS.	33% Consumo transformador 1860.	30% propuesta de generación por el modelo
Noviembre	87617 (kWh)	28913,61 (kWh)	8674,083 (kWh)

La generación distribuida con las condiciones climatológicas observadas puede generar por un periodo de ocho horas al día mediante el cual se ha propuesto generar un 10% con el sistema mini eólico, 90% con el sistema fotovoltaico y adicionalmente con el generador diésel de 10kW.

*Tabla 13. Propuesta de generación por sistemas*

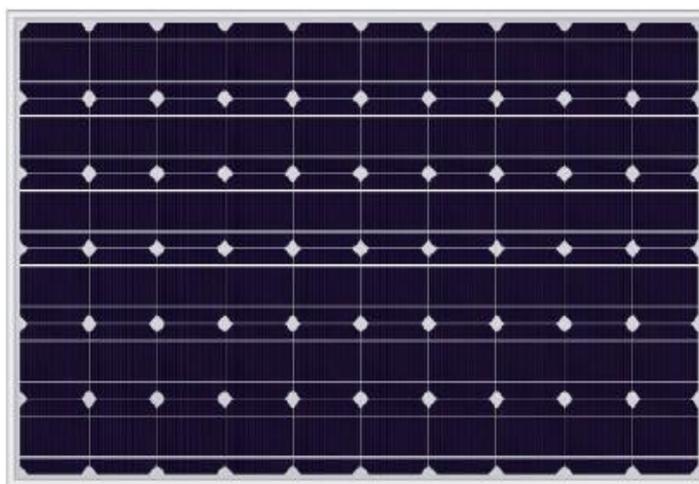
Día (8 horas)	30% Consumo transformador 1860	10% propuesta de generación mini eólico	90% propuesta de generación por el sistema fotovoltaico.
	12,047 (kWh)/día	9,63787 (kWh)/día	86,74083 (kWh)/día

## 5.2. DETERMINACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA ESCENARIOS.

### 5.2.1. SELECCIÓN DE MÓDULOS PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Para determinar el número de arreglos de un sistema fotovoltaico es necesario saber la cantidad de energía que se desea generar por día, determinar el tipo de panel a usar, voltaje y corriente de salida de cada arreglo para un inversor comercial.

#### 5.2.1.1. Panel fotovoltaico SIMAX 156 Solar module (SM660-230W)



*Figura 37. SIMAX 156 Solar module (SM660-230W) (Ver anexo 1)*

### 5.2.1.2. Inversor DC/AC 5000W 120V a 380VAC Inversor de Energía Solar de 3 Fases para Sistema Solar.



Figura 38. BZP-5KW (Ver anexo 2)

### 5.3. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PANELES O MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Para determinar el número de paneles de un sistema fotovoltaico, se considera la energía diaria a producir, horas sol pico diaria (HSP) con un promedio de 4.2 horas de pico solar (Macancela Vázquez y Regalado Cajamarca 2012), rendimiento energético de la instalación y los parámetros de los módulos fotovoltaico como se puede observar en la ecuación 15. (Ver anexo 1)

$$N_{\text{módulos}} = \frac{E_{de}}{V_{\text{módulo}} * I_{\text{módulo}} * HSP * PR} \quad (24)$$

Fuente: (Loeza F, Carmona C y Tenorio J 2012)

$N_{\text{módulos}}$ , Numero de módulos. [adimensional]

$E_{de}$ , Energía diaria estimada, [kWh]

$V_{\text{módulo}}$ , Voltaje máximo del módulo, [V]

$I_{\text{módulo}}$ , Corriente máxima del módulo. [A]

$HSP$ , Horas de sol pico [h]

$PR$ , Performance Ratio o Rendimiento Energético de la Instalación

### 5.3.1. DETERMINACIÓN DE MÓDULOS EN SERIE Y PARALELO

Para la determinación de los módulos en serie y paralelo se requiere saber la potencia, voltaje de entrada y corriente de entrada del inversor en DC.

$$N_{\text{módulos serie}} = \frac{V_{\text{inversor}}}{V_{\text{modulo}}} \quad (25)$$

$V_{\text{inversor}}$ , Voltaje de entrada del inversor [ $V_{cc}$ ]

$$N_{\text{módulos paralelo}} = \frac{I_{\text{inversor}}}{I_{\text{modulo}}} \quad (26)$$

$I_{\text{inversor}}$ , Corriente de entrada del inversor

$$N_{\text{número módulos por arreglo}} = N_{\text{módulos serie}} * N_{\text{módulos paralelo}}$$

Mediante el cálculo de la ecuación 25 y 26 tenemos un total de módulos o paneles lo cual representa un solo arreglo en la siguiente ecuación se podrá determinar el número de arreglos y en número de inversores para aproximarse a la energía requerida.

$$N_{\text{número total de arreglos}} = \frac{N_{\text{módulos}}}{N_{\text{número módulos por arreglo}}} \quad (27)$$

En número inversores es igual número de arreglos en paralelo del sistema de esta manera podemos determinar el número total de paneles del sistema para obtener una aproximado dela energía requerida, cabe recalcar que el número de paneles puede aumentar o disminuir esto depende la datos técnicos del inversor.

$$N_{\text{número estimado de módulos}} = N_{\text{número total de arreglos}} * N_{\text{número módulos por arreglo}} \quad (28)$$

En la tabla 13 se puede observar un ejemplo para el modelo en simulink de matlab, número de arreglos, número total de módulos en serie y paralelo del sistema fotovoltaico, para suplir una de manda de energía diría de 86.140 kWh (Ver anexo 5)

Tabla 14. Número paneles y arreglos fotovoltaico del sistema propuesto

Sistema fotovoltaico.	Serie	Paralelo	Arreglos	Total paralelo	Total
Numero de módulos	3	7	5	35	105

En la figura 39 se presenta el modelo de la calculadora en simulink de matlab para obtener el número de módulos del sistema.

Parámetros de ingreso	Resultados
Energía promedio a generar [kWh]: 86.140	No. Paneles totales: 106
Panel fotovoltaico: SMAx/SM-660-230W/29.7 Mono...	No. Paneles en serie: 3
Panel fotovoltaico: Cargar manualmente	No. Paneles paralelo: 7
Inversor: 5000W/96Vcc/52A	No. de arreglos: 5
Inversor: Cargar manualmente	No de inversores: 5
No. de horas de sol pico diarias: 4.2	
Calcular	

Figura 39. Calculadora para obtener el número de paneles del sistema

#### 5.4. SELECCIÓN DEL MICRO GENERADOR EÓLICO.

Para determinar el número de micro generadores eólicos del sistema mini eólico es necesario saber la cantidad de energía que se desea generar y el promedio de viento por día, en su mayoría incluye su propio regulador de tensión para lo cual se propuso usar la siguiente turbina.

##### 5.4.1. FD3.6- 2000 DE TURBINA DE VIENTO



Figura 40. Fd3.6- 2000 de turbina de viento (ver anexo 3)

#### 5.4.2. INVERSOR BZS-2000W



Figura 41. Inversor BZS-2000W (ver anexo 4)

Para determinar el sistema mini eólico no se presenta mayor dificultad debido a que la mayoría viene todo en un solo kit, todos lo mini generadores se los conecta en paralelo.

Tabla 15. Sistema mini eólico

Sistema mini eólico	Micro generador	Total
Número micro generadores eólicos	4	4

#### 5.5. ANÁLISIS DEL ESCENARIO 1

Para realizar la simulación del primer escenario se han tomado datos climáticos correspondientes a irradiación máxima, temperatura ambiental del mes de febrero del año 2015. En la figura 42 se presenta los factores ambientales de ingreso al modelo de simulación.

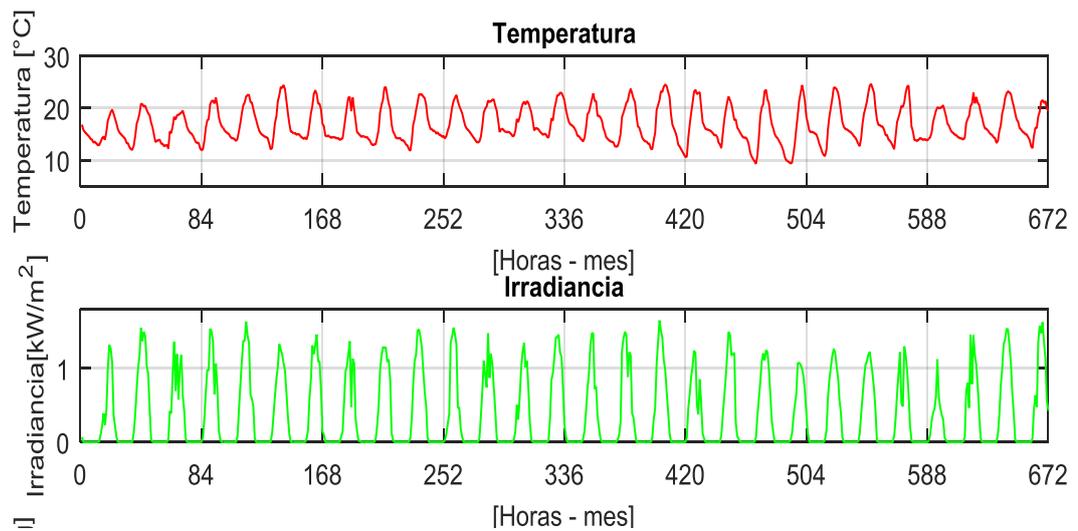


Figura 42. Datos de irradiación y Temperatura durante de febrero del año 2015.

En la figura 43 se presentan la curva de potencia fotovoltaica generada por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.

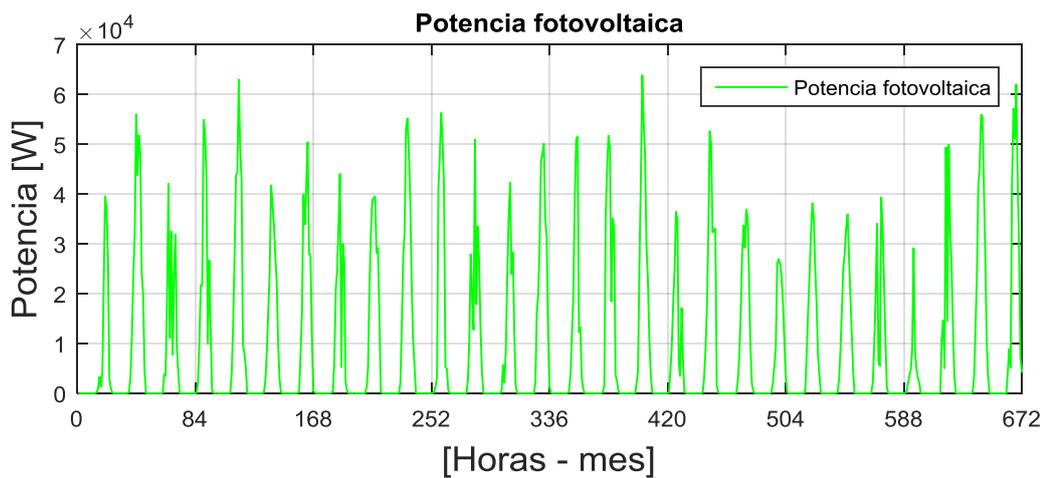
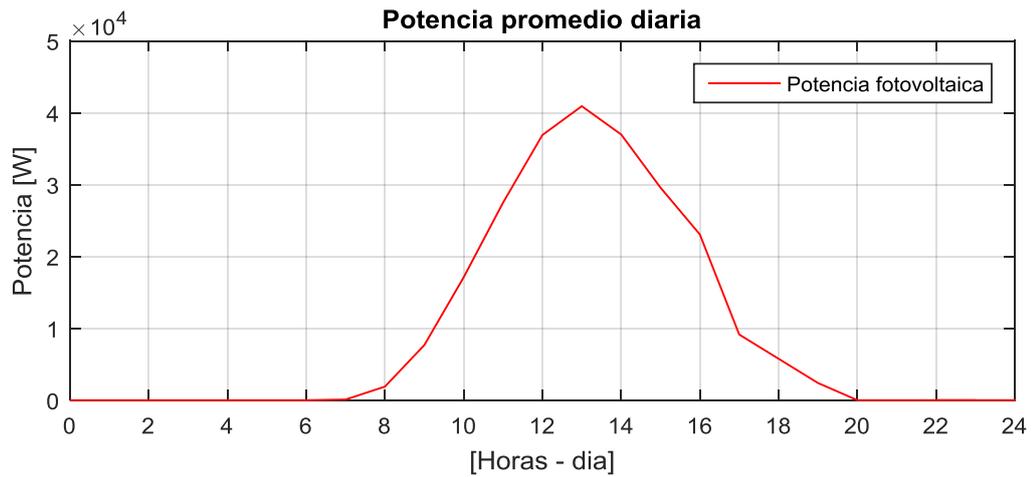


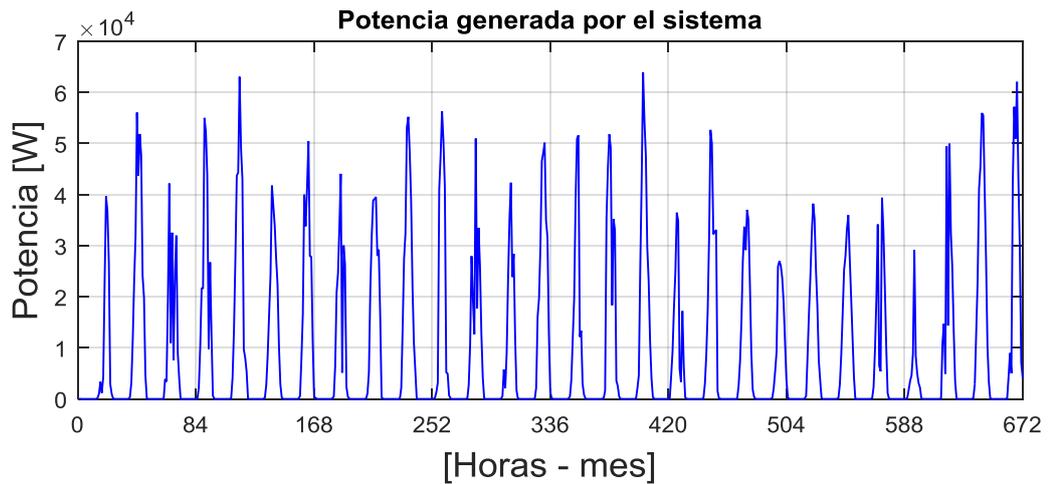
Figura 43. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de febrero del 2015.

En la siguiente figura 44 se presentan la curva de potencia generada por el sistema fotovoltaico promedio por día del mes de febrero del 2015.



*Figura 44. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.*

En la siguiente figura 45 se presenta la potencia obtenida por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.



*Figura 45. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.*

En la siguiente figura 46 se presentan las curvas de potencia generada por el sistema de generación distribuida y la potencia consumida por el transformador 1860 durante el mes de febrero del 2015.

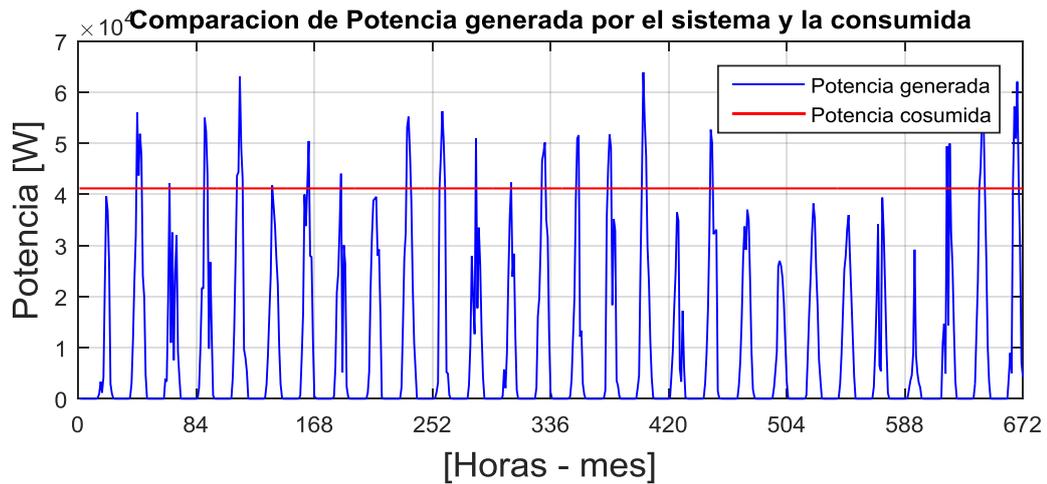


Figura 46. Potencia obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida.



Figura 47. Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.

## 5.6. ANÁLISIS DEL ESCENARIO 2

Para realizar la simulación del segundo escenario se han tomado datos climáticos correspondientes a irradiación mínima y temperatura ambiental del mes de julio del año 2015. En la figura 48 se presenta los factores ambientales que ingresan al simulador.

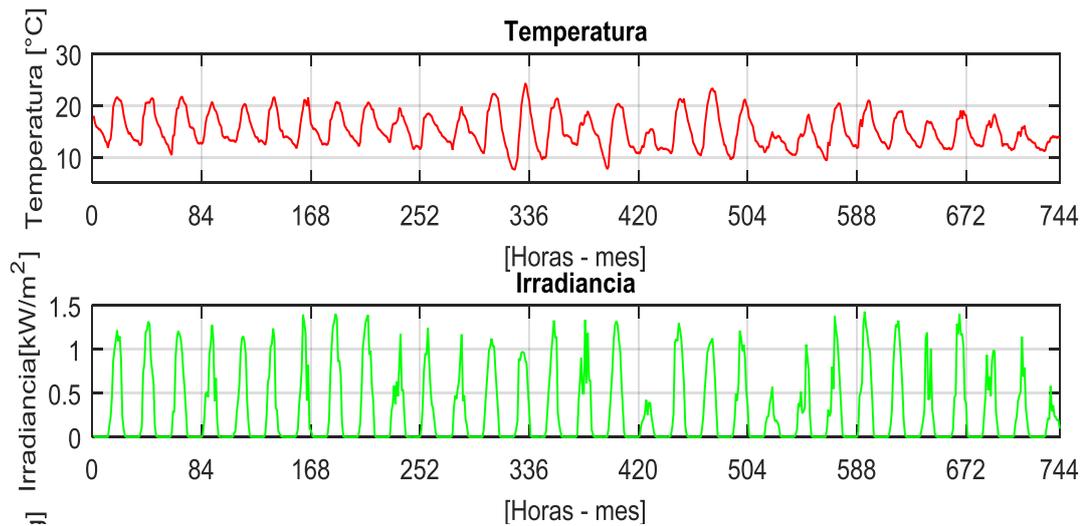


Figura 48. Datos de irradiación y Temperatura durante de julio del año 2015.

En la siguiente figura 49 se presentan las curvas de potencia generada por el sistema fotovoltaico con factores ambientales mínimos durante el mes de julio del 2015.

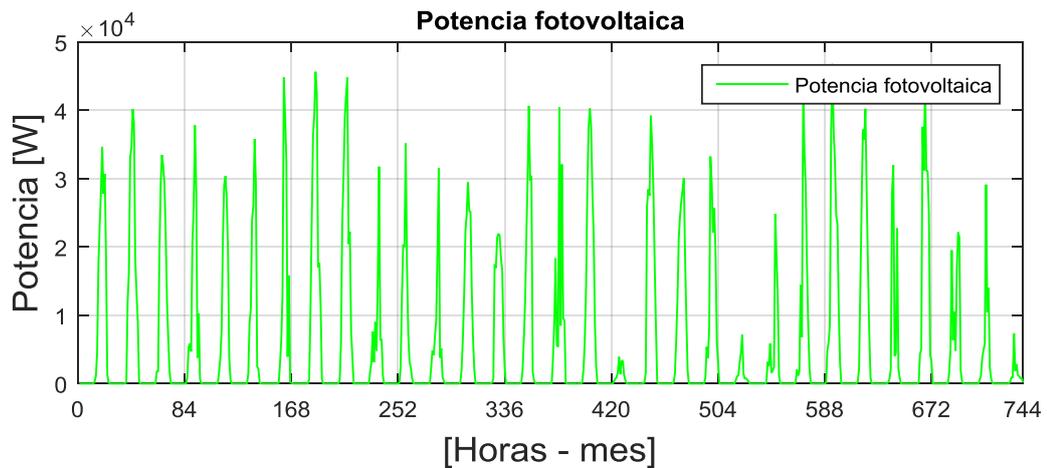
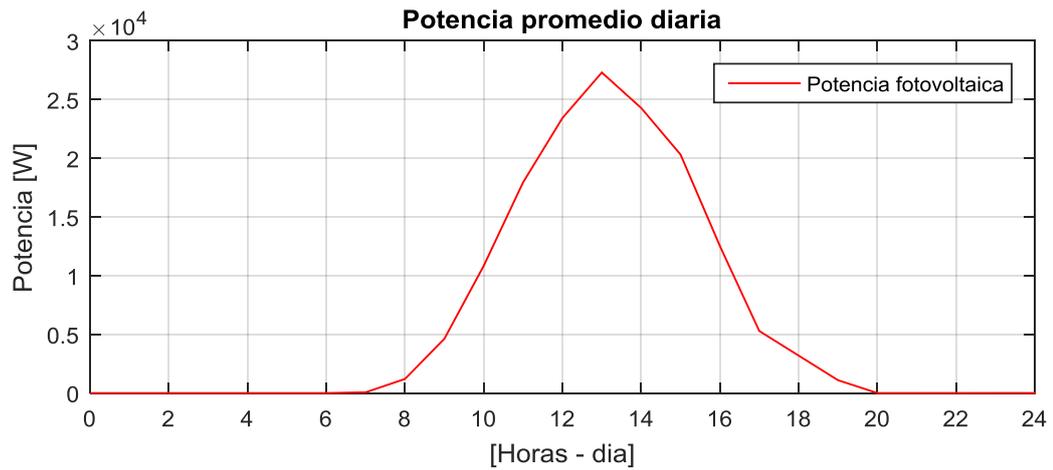


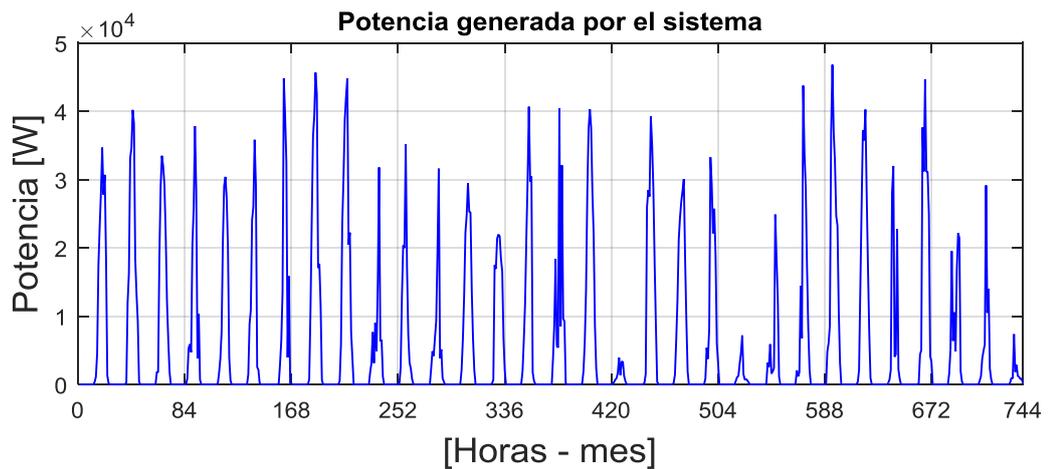
Figura 49. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de julio del 2015

En la figura 50 se presentan la curva de potencia generada por el sistema fotovoltaico promedio por día del mes de julio del 2015.



*Figura 50. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de julio del 2015.*

En la figura 51 se presenta la potencia obtenida total por el sistema distribuido durante el mes de julio del 2015.



*Figura 51. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de julio del 2015.*

En la siguiente figura 52 se presentan las curvas de potencia total generada por el sistema de generación distribuida del mes de julio del 2015.

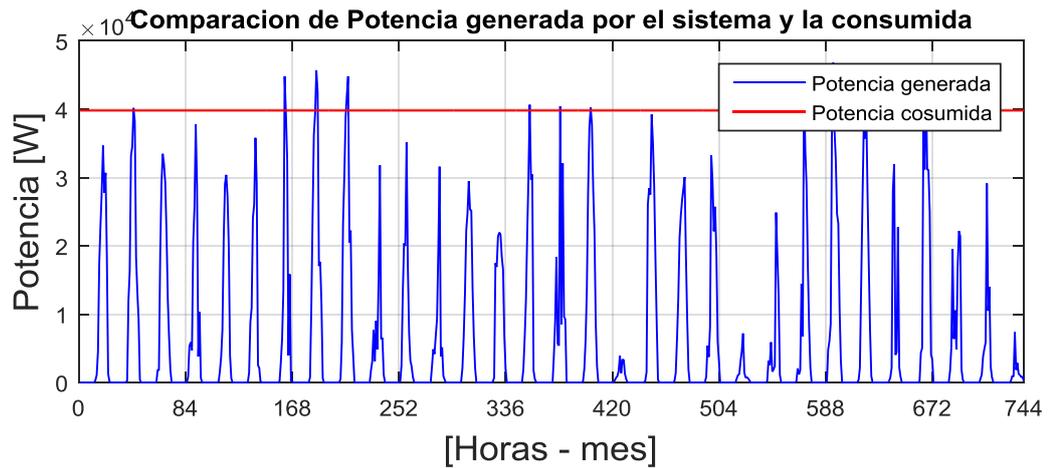


Figura 52. Potencia total obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida.



Figura 53. Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.

### 5.7. ANÁLISIS DEL ESCENARIO 3

Para la simulación del escenario 3 se han considerado las condiciones máximas de los factores ambientales de irradiación solar, temperatura ambiental y velocidad de viento del mes de febrero del 2015. En la figura 54 se presenta los factores ambientales de ingreso al modelo de simulación.

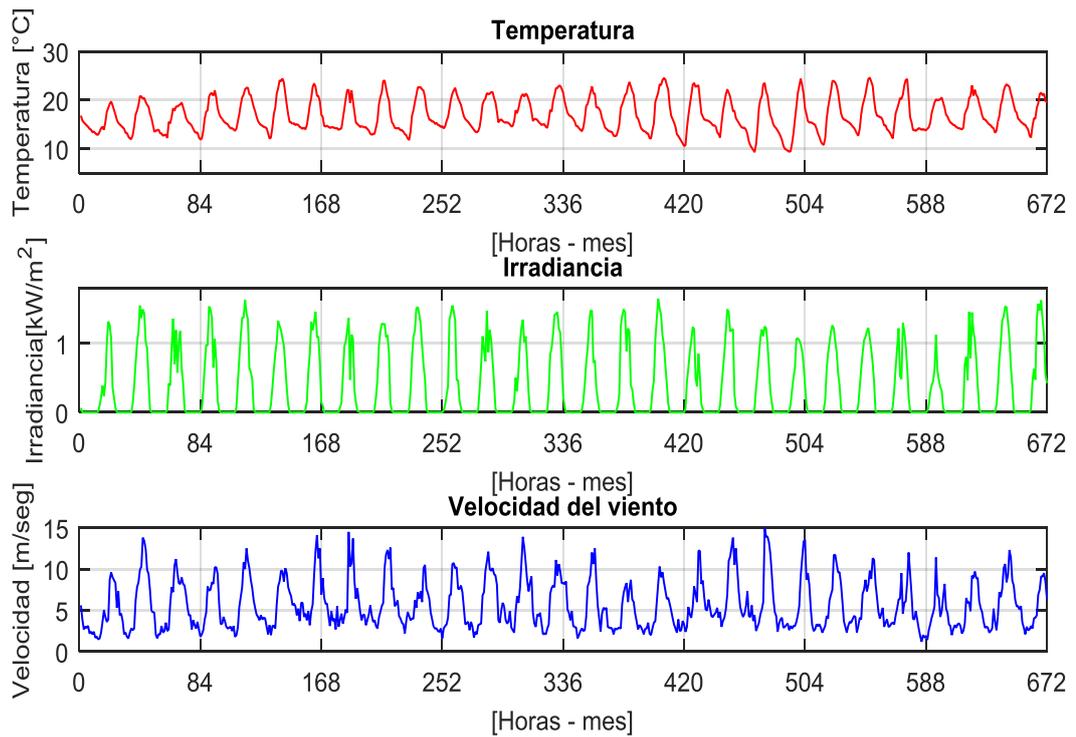


Figura 54. Datos de irradiación, Temperatura, velocidad del viento durante el mes de febrero del año 2015.

En la figura 55 se presenta la potencia producida por el sistema fotovoltaico, con el factor ambiental de irradiación máxima del mes de febrero 2015.

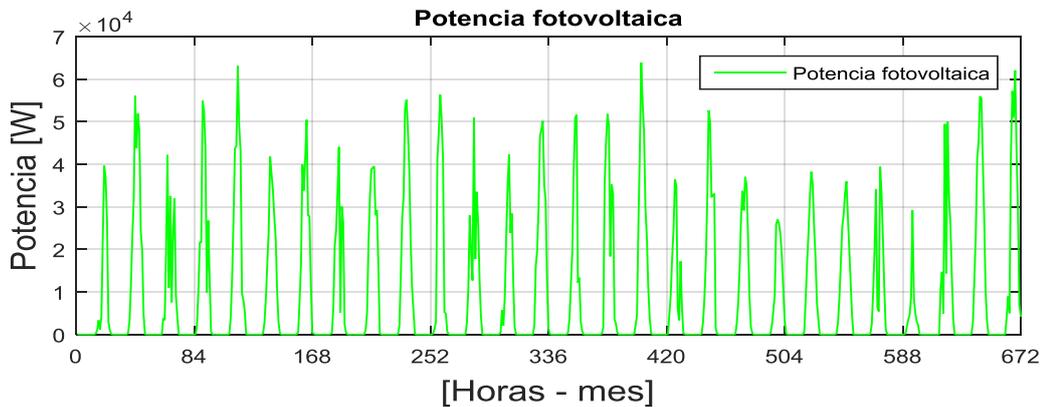


Figura 55. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de febrero del 2015

En la figura 56 se presenta la potencia fotovoltaica promedio diaria producida por el sistema fotovoltaico durante el mes de febrero del 2015

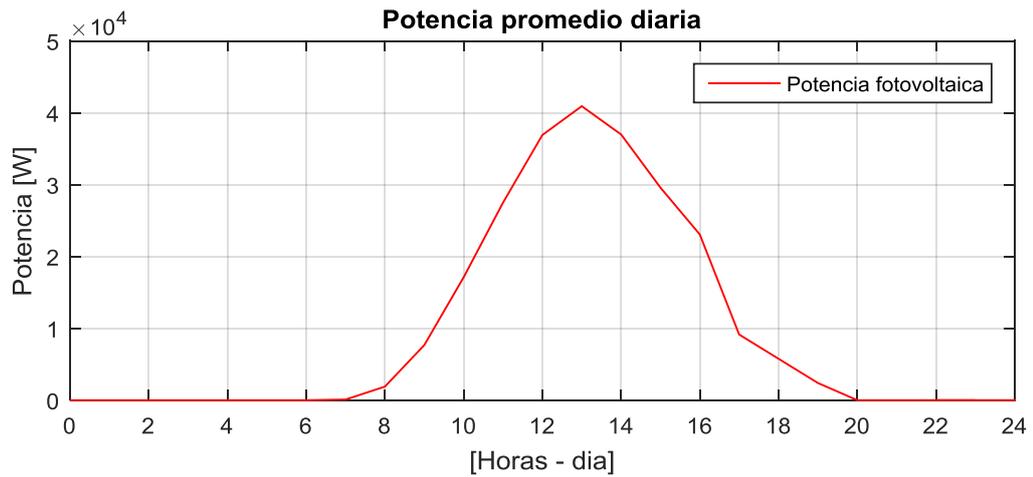


Figura 56. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de febrero del 2015

En la figura 57 se presenta la potencia generada por el sistema eólico durante el mes de febrero del año 2015.

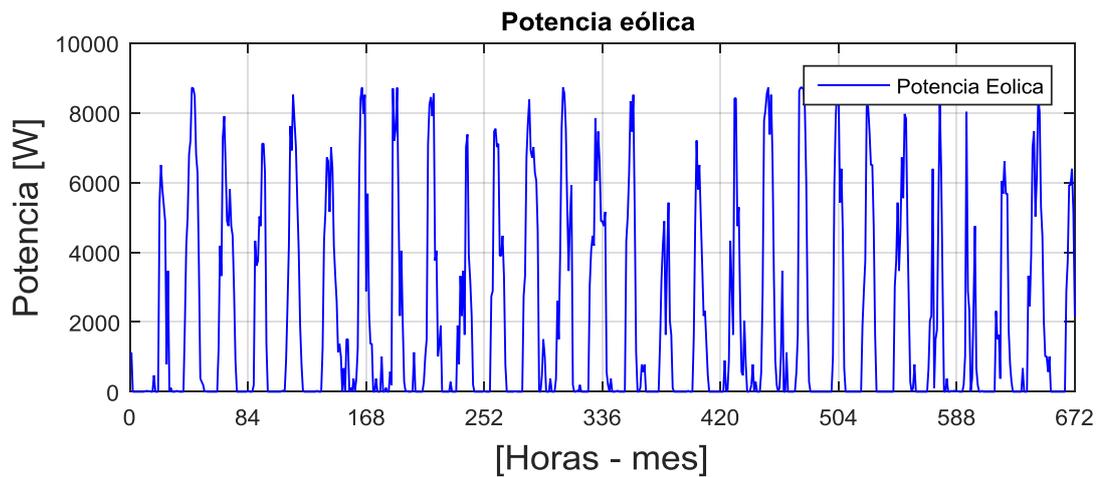


Figura 57. Potencia eólica generada durante el mes de febrero del 2015.

En la figura 58 se presenta la potencia eólica promedio diaria generada por el sistema durante el mes de febrero del 2015

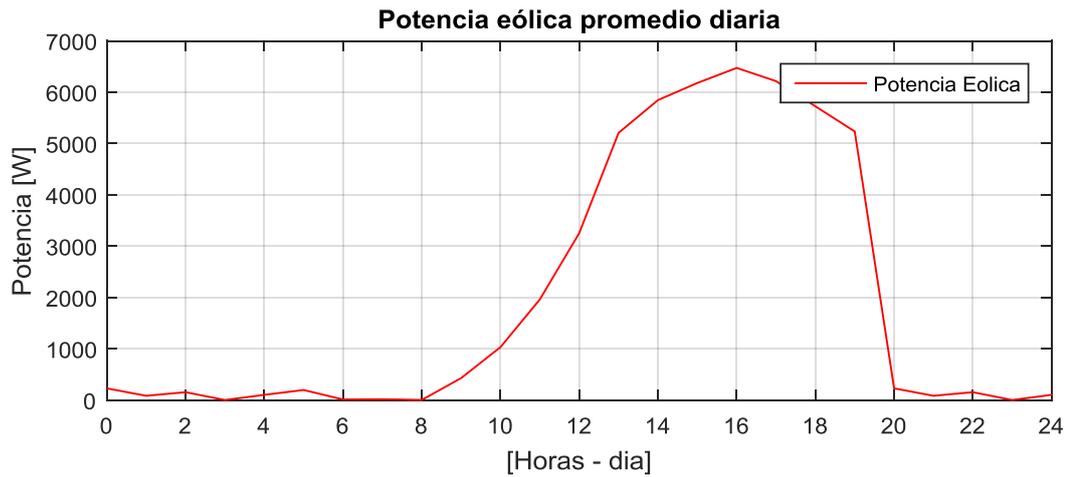


Figura 58. Potencia eólica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.

En la figura 59 se presenta la potencia total generada por el sistema distribuido durante el mes de febrero del año 2015.

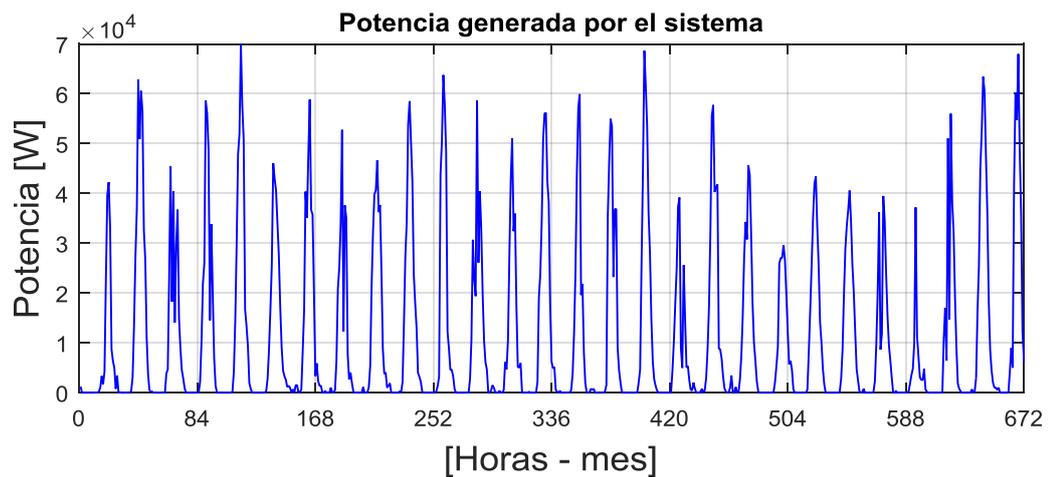


Figura 59. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.

En la figura 60 se presenta la potencia total generada por el sistema distribuido y la potencia consumida durante el mes de febrero del año 2015.

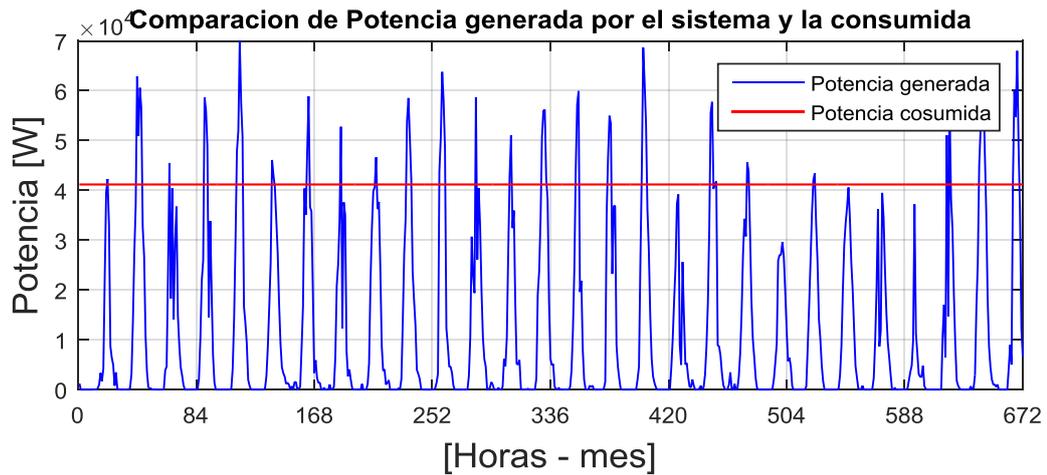


Figura 60. Potencia obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida.

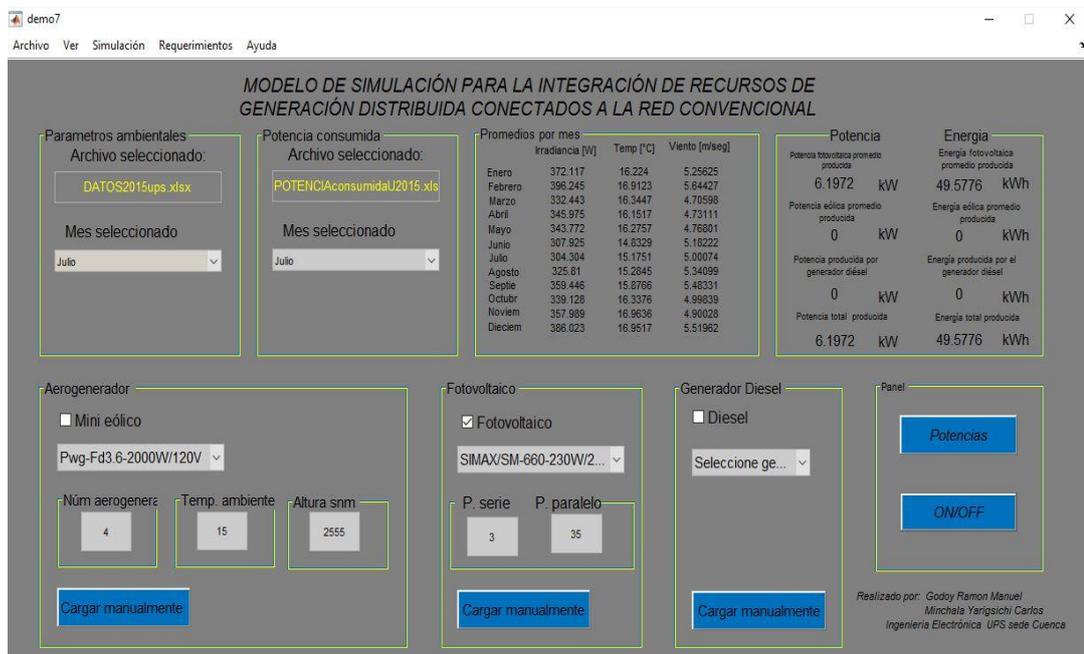


Figura 61. Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.

## 5.8. ANÁLISIS DEL ESCENARIO 4

Para la simulación del escenario 4 se toman los valores mínimos de los factores ambientales de irradiación solar, temperatura ambiental, velocidad de viento, durante el mes de julio del año 2015. En la figura 62 se presenta los factores ambientales que ingresan al modelo de simulación.

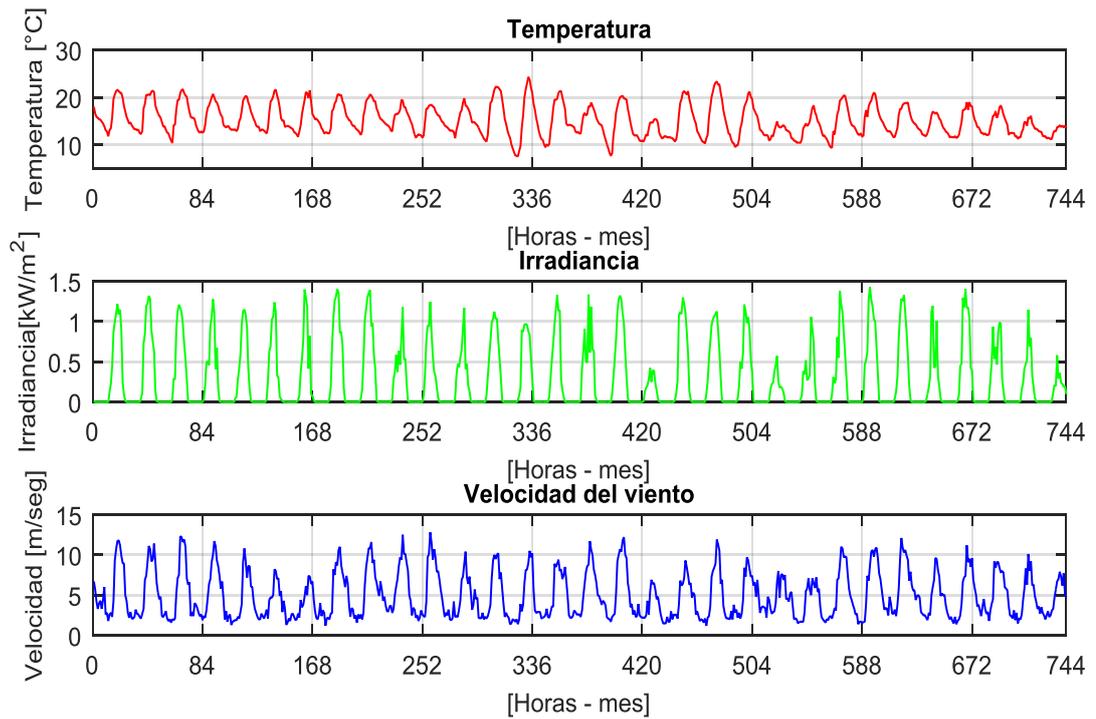


Figura 62. Datos de irradiación, Temperatura, velocidad del viento durante de julio del año 2015.

En la figura 63 se presenta la potencia producida por el sistema fotovoltaico, con el factor ambiental de irradiación mínima del mes de julio 2015.

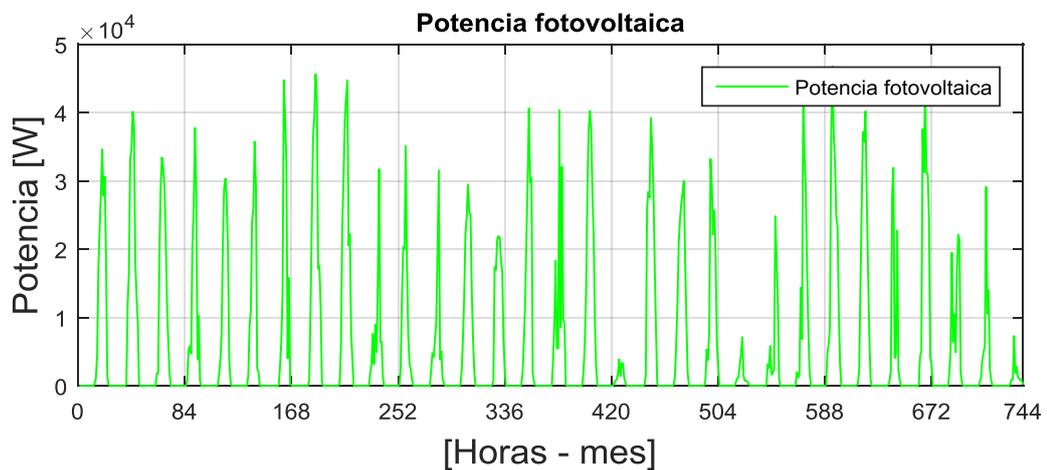


Figura 63. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de julio del 2015.

En la figura 64 se presenta la potencia fotovoltaica promedio diaria generada por el sistema durante el mes de julio del 2015

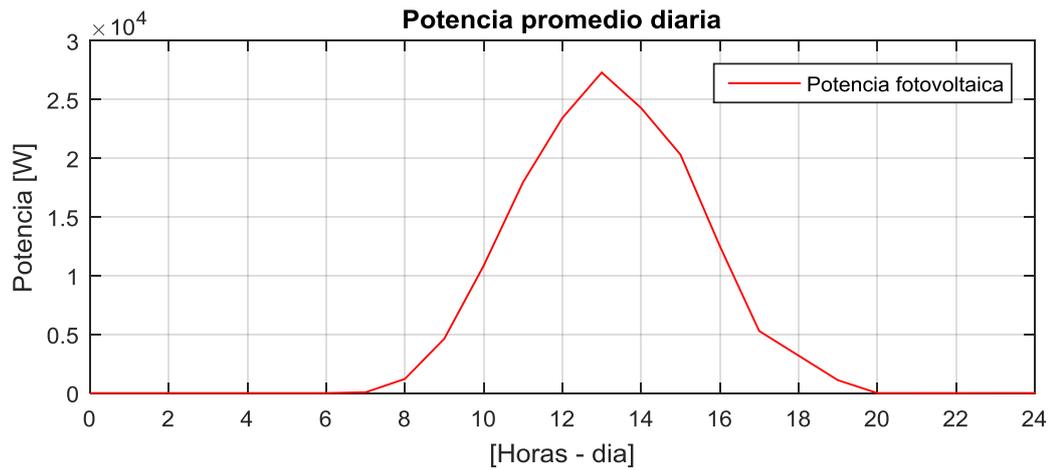


Figura 64. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de julio del 2015.

En la figura 65 se presenta la potencia producida por el sistema eólico, con el factor ambiental del viento del mes de julio 2015.

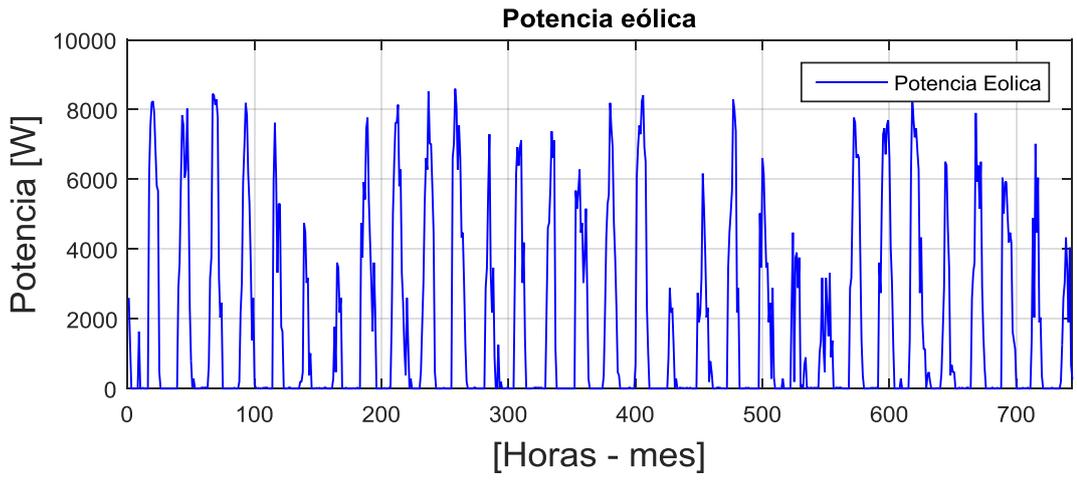


Figura 65. Potencia eólica generada durante el mes de julio del 2015.

En la figura 66 se presenta la potencia eólica promedio diaria generada por el sistema durante el mes de julio del 2015



Figura 66. Potencia eólica generada promedio por día del mes de julio del 2015.

En la figura 67 se presenta la potencia obtenida total por el sistema distribuido durante el mes de julio del 2015.

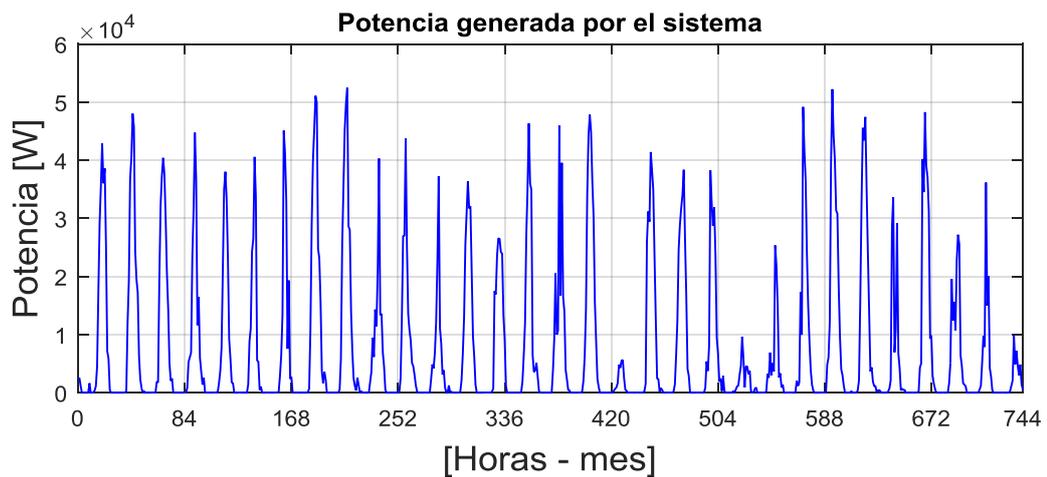


Figura 67. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de julio del 2015.

En la figura 68 se presenta la producción de potencia del sistema distribuido conformado por los sistemas: fotovoltaico, eólico y la potencia consumida.

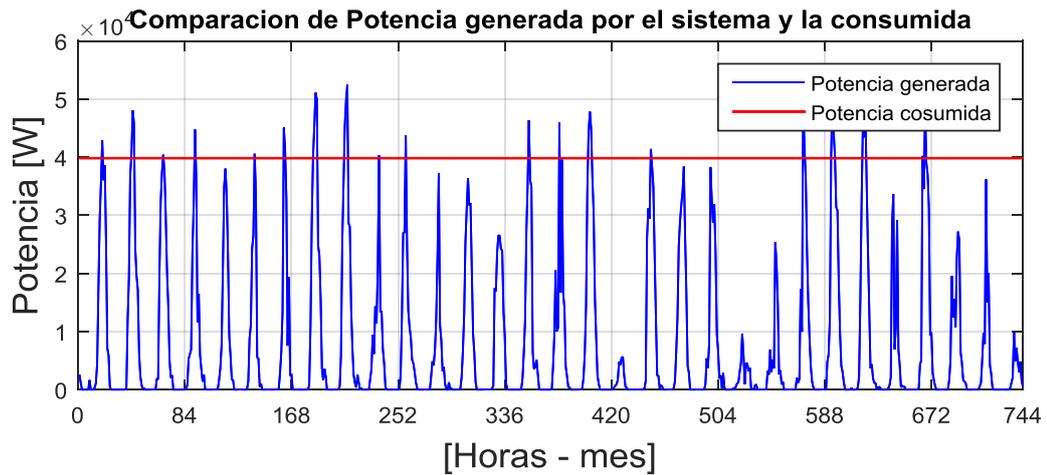


Figura 68. Potencia obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida.



Figura 69 Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.

## 5.9. ANÁLISIS DEL ESCENARIO 5

Para la simulación del escenario 5 se toman los valores máximos factores ambientales de irradiación solar, temperatura ambiental, velocidad de viento, durante el mes de febrero del año 2015; adicionando a la producción de potencia la producida por el generador diésel de 10KW. En la siguiente figura 70 se presenta los factores ambientales que ingresan al modelo de simulación.

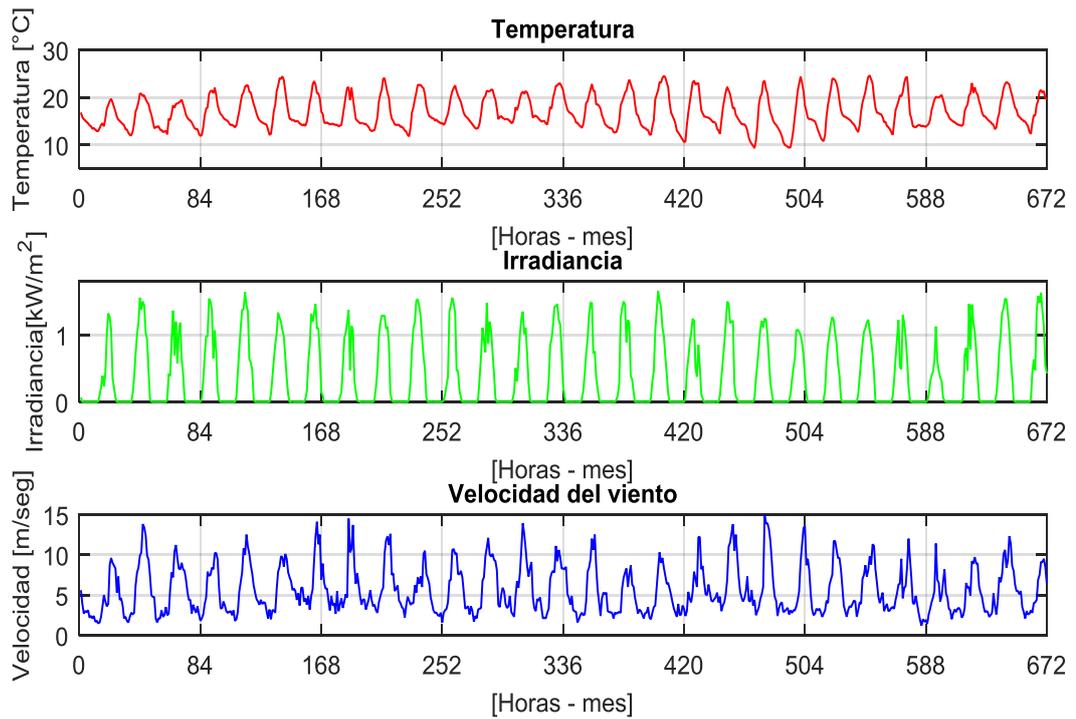


Figura 70. Datos de irradiación, Temperatura, velocidad del viento durante de febrero del año 2015.

En la figura 71 se presenta la potencia producida por el sistema fotovoltaico, con el factor ambiental de irradiación máxima del mes de febrero 2015.

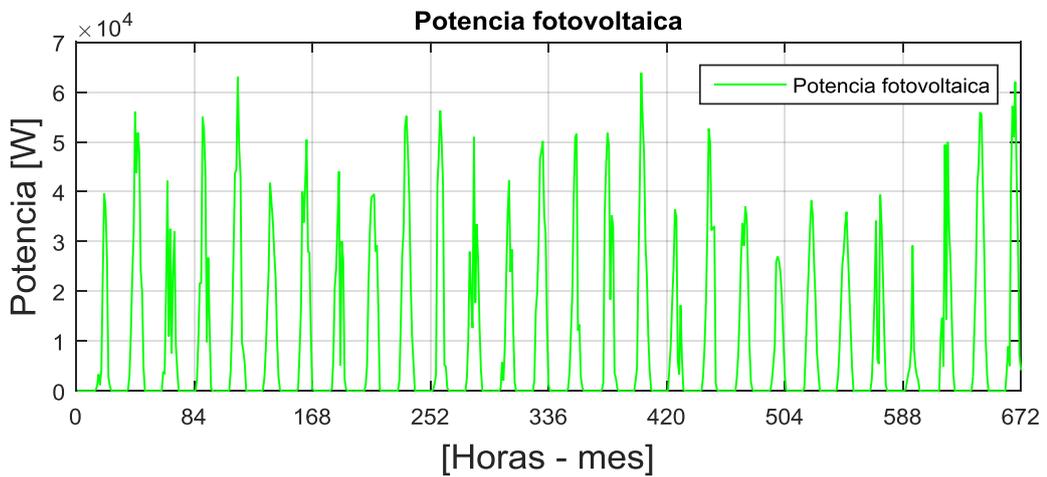


Figura 71. Potencia fotovoltaica generada durante el mes de febrero del 2015.

En la figura 72 se presenta la potencia fotovoltaica promedio diaria generada por el sistema durante el mes de febrero del 2015

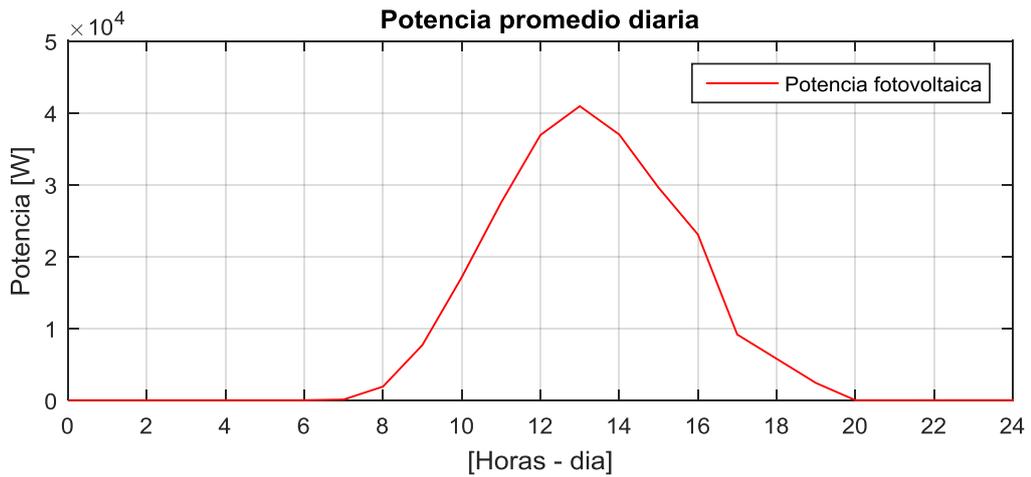


Figura 72. Potencia fotovoltaica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.

En la figura 73 se presenta la potencia producida por el sistema eólico, con el factor ambiental de velocidad del viento del mes de febrero 2015.

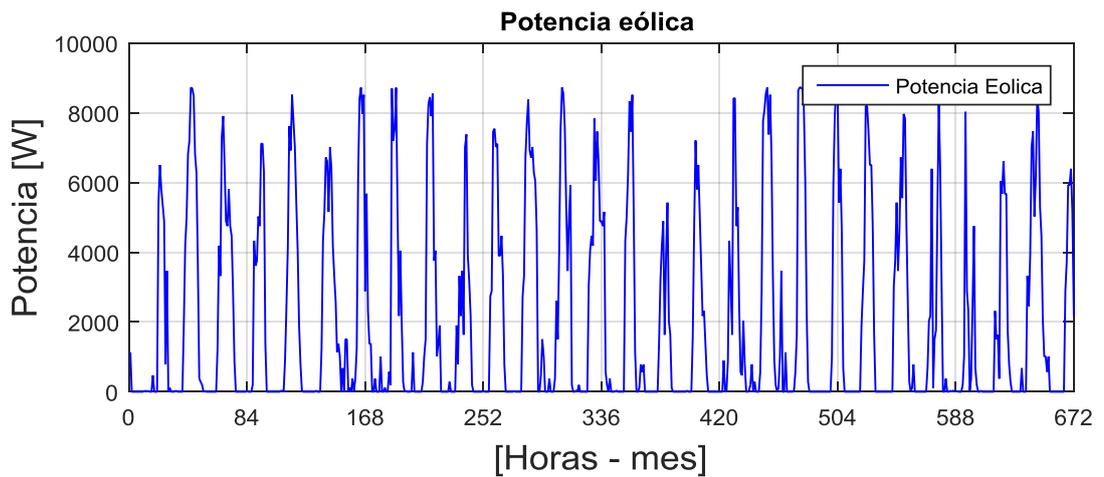


Figura 73. Potencia eólica generada durante el mes de febrero del 2015.

En la figura 74 se presenta la potencia eólica promedio diaria generada por el sistema durante el mes de febrero del 2015.



Figura 74. Potencia eólica generada promedio por día del mes de febrero del 2015.

En la figura 75 se presenta la potencia generada por el sistema generación por diésel.

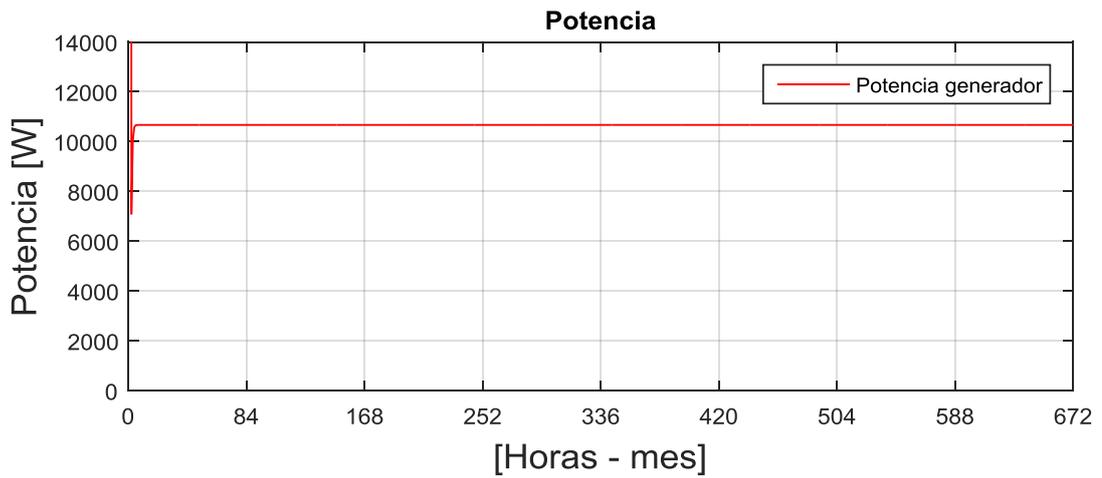


Figura 75. Potencia producida por el generador diese de 10kW.

En la figura 76 se presenta la potencia obtenida total por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.

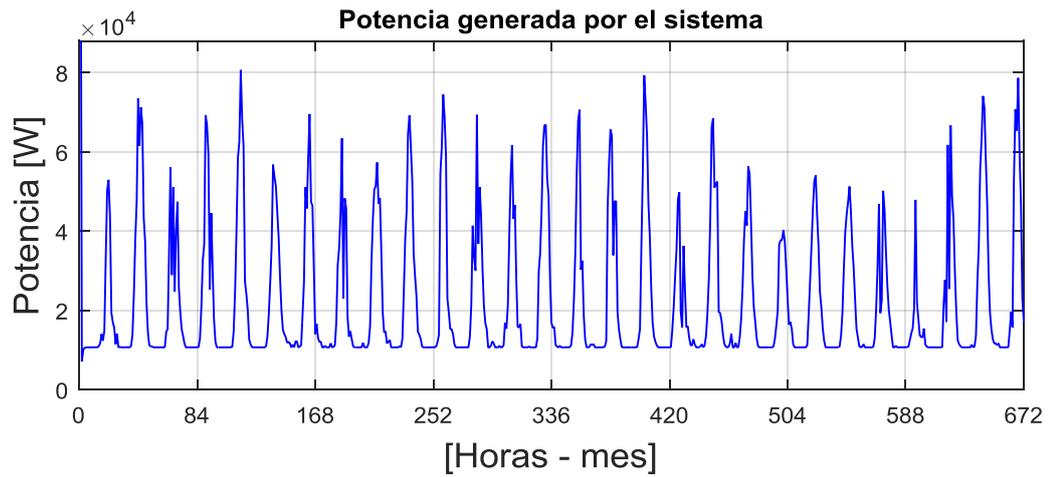


Figura 76. Potencia generada por el sistema distribuido durante el mes de febrero del 2015.

En la figura 77 se presenta la potencia obtenida por el sistema distribuido y el consumo de la potencia durante el mes de febrero del 2015.

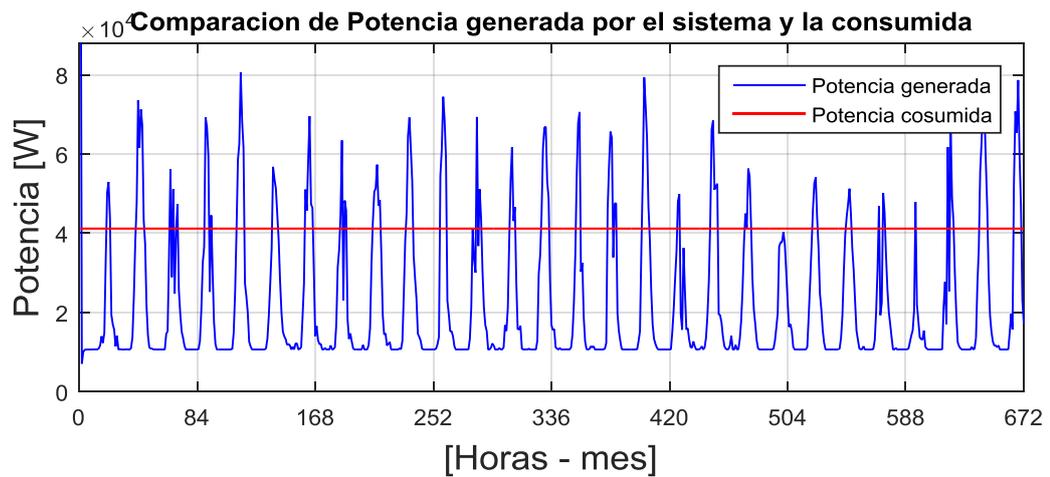


Figura 77. Potencia obtenida mediante generación distribuida y potencia consumida.

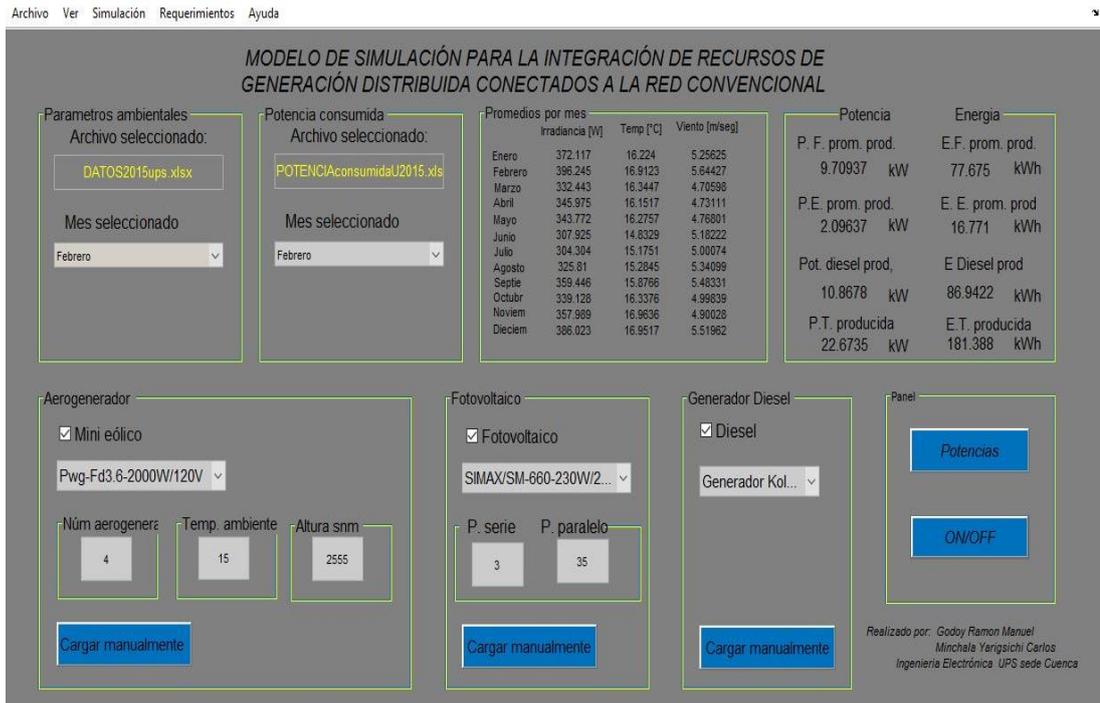


Figura 78. Interfaz gráfica implementada en Matlab para controlar el modelo de simulación implementado en Simulink.

### 5.10. RESUMEN DE LOS ESCENARIOS.

En la tabla 16 se presenta un resumen de las energías diarias totales generadas por el sistema.

Tabla 16. Resumen de cada escenario y la generación total década uno.

Escenarios	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Sistema fotovoltaico	77,675 kWh	49.577 kWh	77.675 kWh	49.577 kWh	77.675 kWh
Sistema mini eólico.			16.771 kWh	14.3596 kWh	16.771 kWh
Generación diésel.					86.9422 kWh
Energía total por día	77.675 kWh	49.577 kWh	94.446 kWh	63.9372 kWh	181.388 kWh

## CAPÍTULO 6

### 6. ANÁLISIS ECONÓMICO AMBIENTAL DE LA INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE RECURSOS DISTRIBUIDOS EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, FRENTE A SISTEMAS CONVENCIONALES.

#### 6.1. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL.

Mediante un estudio realizado en el 2013 por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, se ha estimado que el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> en Ecuador en el 2011 es de: (MAE 2013); (Serrano 2012)

$$\text{Factor de emisión} = 507.6 \frac{g}{kWh} = 0.5076 \frac{ton}{MWh}$$

La tabla 16 presenta el consumo de energía del transformador 1860 que alimenta a los edificios Cornelio Merchán y Mario Rizzini, de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca que es aproximadamente es de 319,67793 (MWh).

Tabla 17. Consumo energético del Transformador 1860.

Consumo energético del transformador 1860.	Consumo por mes	Consumo por año
	26639,8275 (kWh)	319,67793 (MWh)

En la tabla 17 se realizó una estimación de consumo energético por mes y año del transformador 1860, lo cual se lo realizó a partir de los datos de consumo de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca de año 2015 de la página web de la (EERCS 2016).

Para el obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de energía en edificio se utilizó el factor de emisión del Ecuador  $\text{Factor de emisión CO}_2 = 0.5076 \frac{ton}{MWh}$ . (MAE 2013)

De manera que se puede calcular:

$$\text{Factor de emisión CO}_2 = 0.5076 \frac{ton}{MWh} * 319.6779 (MWh) \quad (29)$$

Factor de emisión CO2 = 162,2685173 ton

## 6.2. PLIEGO TARIFARIO AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL) PARA EL PERIODO 2016.

Cada año la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) emite la resolución de pliegos tarifarios. La cual está estructurada por diferentes categorías por tarifa. Según ARCONEL la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca se encuentra en la categoría de “TARIFA GENERAL DE MEDIA TENSIÓN CON REGISTRADOR DE DEMANDA HORARIA”. La cual se aplica a consumidores excepto consumidores industriales, que dispongan un registrador de demanda horaria y que su menor demanda sea de (22h a 7h). Por lo que para el año 2016 se ha regulado los precio que se pueden observar en al siguiente figura. (ARCONEL Enero- Diciembre,2016)

Tabla 18 Pliego tarifario general de baja tensión con registrador de demanda. (ARCONEL Enero- Diciembre,2016)

Agencia de Regulación y Control de Electricidad

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE \*

EMPRESAS ELÉCTRICAS: AMBATO-AZOGUES-CNEL BOLÍVAR-CENTROSUR-COTOPAXI-NORTE-RIOBAMBA-SUR

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS ENERO - DICIEMBRE \*\*

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/consumidor)
<b>NIVEL TENSIÓN</b>	<b>MEDIA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		
07h00 hasta 22h00	4,576	0,095	1,414
22h00 hasta 07h00		0,077	

En la tabla 18 se muestra los Cargos tarifarios del ARCONEL para clientes comerciales de media tensión con demanda horaria para el año 2016. Por consiguiente el consumidor debe pagar Pliego tarifario ARCONEL. (ARCONEL Enero- Diciembre,2016)

- a. Cargo por comercialización en UDS/consumidor independiente de consumo de energía.

- b. Un cargo por demanda un UDS/kW, por cada kW de demanda facturable, como mínimo de pago, sin derecho a consumo, multiplicado por el factor de corrección (FC).
- c. Un Cargo de energía expresado UDS/kWh, en función de la energía consumida en el periodo de 07h00 hasta 22h00, que corresponde al cargo por energía de la tarifa de la figura 72.
- d. Un Cargo por energía expresado en UDS/kWh, en función de la energía consumida, en el periodo de 22h00 hasta 07h00, que corresponden al cargo por energía del literal anterior disminuido en 20%.

Para su aplicación se debe establecer la demanda máxima mensual del consumidor durante las hora pico de la empresa eléctrica (18h00 hasta 22h00).

### 6.3. CONSUMO ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

El detalle de consumo eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, se lo puede obtener mediante la página web o factura de pago de la Empresa Regional Centro Sur.

*Tabla 19. Detalle de Factura del Cliente*

Cliente	Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca
Uso de Energía	Comercial con demanda horaria
RUC	0190003809001
Código	272385
Dirección	Eliat Liut y Calle Vieja
Fecha de Emisión.	2016/5

*Tabla 20. Detalle de consumo del mes de abril 2016.*

Energía Abril.	Rango /Horario	Consumo (kWh)
Activa	N7 / 18 L	42485
Activa	N18 / 22 LV	17689
Activa	N22 / 7 LVy	17352
Demanda	Rango /Horario	(kW)
Demanda	N18 / 22 LV	242
Demanda	No Pico	224

En la tabla 21 se especifica el consumo del mes de abril, el uso de energía de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca está establecida como comercial con demanda horaria.

*Tabla 21. Detalle de Factura del mes de Abril 2016*

Descripción Rubro	Valor
Contribución Bomberos 3109-A	5.49
Cargo por comercialización	1.41
Cargo por demanda	1362.80
Cargo por energía	7890.17
Servicio alumbrado público general	1190.07
<b>Total.</b>	<b>10460.04 (UDS)</b>

#### **6.4. CÁLCULO DE CONSUMO DEL TRANSFORMADOR 1860.**

##### **6.4.1. COSTO ENERGÉTICO DEL TRANSFORMADOR 1860 DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.**

Para obtener el consumo de energético del transformador 1860 se estimo es 33% del consumo total de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. (Pesántes J y Cueva D 2016)

*Tabla 22. Detalle de consumo del mes de abril 2016.*

Energía Abril.	Rango /Horario	Consumo (kWh)
Activa	N7 / 18 L	14020,05
Activa	N18 / 22 LV	5837,37
Activa	N22 / 7 LVy	5726,16
Demanda	Rango /Horario	(kW)
Demanda	N18 / 22 LV	79,86
Demanda	No Pico	73,92

- a. **Por cargo de comercialización.-** Este rubro es constante según la EERCS y es de 1.41 (UDS)
- b. **Cargo por demanda.-** El rubro por demanda está en función Factor de corrección (FC).

Médiante el siguiente cálculo se obtendrá el rubro por demanda (RD).

**Donde:**

$$\text{Rubro por demanda} = FC * \text{Demanda} * DM \quad (30)$$

$$FC = \frac{79.86}{73.92} = 1.08035$$

$$RD = 0.9869 * 4.576 * 92.086 = 380.133$$

$$RD = 380.133$$

**c. Rubro por energía.**

*Tabla 23. Detalle de costo de energía del mes de abril 2016.*

Energía	Rango /Horario	Consumo (kWh)	Costo unit. (USD)	Total. (USD)
Activa	N7 / 18 L	14020,05	0,095	1331,90475
Activa	N18 / 22 LV	5837,37	0,095	554,55015
Activa	N22 / 7 LVy	5726,16	0,077	440,91432
Total.				2327,36922

**d. Costo por servicio de Alumbrado público.**

*Tabla 24. Detalle de costo de energía para alumbrado público del mes de abril 2016.*

Energía	Rango /Horario	Consumo (kWh)	Costo unit. (USD)	Total. (USD)
Activa	N7 / 18 L	14020,05	0,081	1135,62405
Activa	N18 / 22 LV	5837,37	0,081	472,82697
Activa	N22 / 7 LVy	5726,16	0,065	372,2004
Energía				1980,65142
Demanda				380
Total.				2360,78502

La tasa por alumbrado público según la EERCS es 14.6% del consumo total de energía y penalización de por el factor de potencia.

$$\text{Costo por Alumbrado Público} = 14.6\% (2360,78502) \quad (31)$$

$$\text{Costo por Alumbrado Público} = 344,6746129$$

- e. **Cargo por cuerpo de bomberos.-** Es un cargo de 1.5% del sueldo básico unificado.

$$\text{Cargo por cuerpo de Bomberos} = 1.5\% (366) = 5.49 \text{ USD}$$

*Tabla 25. Detalle del costo total a pagar del mes de abril del 2016*

Rubros	Valor (UDS)
Contribución Bomberos 3109-A	5,49
Cargo por Comercialización	1,41
Cargo por Demanda	380,1336
Cargo por Energía	2327,36922
Servicio de Alumbrado Público	344,6746129
<b>Total</b>	<b>3059,077433 (UDS)</b>

## **6.5. COSTO DE EQUIPOS PARA MONTAJE DE SISTEMA DISTRIBUIDO.**

### **6.5.1. COSTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO.**

*Tabla 26. Precios sistema fotovoltaico.*

Sistema fotovoltaico.	Costo unidad (UDS)	Cantidad	Costo total (UDS)
Módulo fotovoltaico.	370	105	38850
Inversores DC/AC	4000	5	20000
<b>Total</b>			<b>58850</b>

### **6.5.2. COSTO DE SISTEMA MINI EÓLICO.**

*Tabla 27. Precios del sistema mini eólico*

Sistema mini eólico	Costo unidad (UDS)	Cantidad	Costo total (UDS)
Micro Aero generadores	1600	4	6400
Inversores DC/AC	1000	4	4000
<b>Total</b>			<b>10400</b>

### **6.5.3. COSTO TOTAL DE EQUIPOS.**

*Tabla 28. Precio total del sistema fotovoltaico más el sistema mini eólico.*

Costo total de equipos. (UDS)	
Sistema fotovoltaico.	58850
Sistema mini eólico	10400
<b>Total</b>	<b>69250</b>

## 6.6. COSTO POR ENERGÍA CADA ESCENARIO.

Cabe recalcar que el costo por energía del edificio depende que estatuto se encuentre ya que a este se puede sumar otros cobros, los que serán sumados al costo de la planilla.

### 6.6.1. ANÁLISIS DE COSTO ENERGÉTICO DE LOS ESCENARIOS.

*Tabla 29. Costo por energía de cada escenario.*

Escenarios	Mes	Total Energía por día.	Total Energía por mes.	Costo del kWh (UDS)	Costo mensual (UDS)
Escenario 1	Febrero	77.675 kWh	2330.25 kWh	0,097	226,03425
Escenario 2	Julio	49.5776 kWh	1487.328 kWh	0,097	144,270816
Escenario 3	Febrero	94.446 kWh	2833.38 kWh	0,097	274,83786
Escenario 4	Julio	63.9372 kWh	1918.116 kWh	0,097	186,057252
Escenario 5	Febrero	181.388kWh	5441.64 kWh	0,097	527,83908

## 6.7. ANÁLISIS DE COSTOS ENERGÉTICO TOTAL POR CADA MES.

En la tabla 30 se presenta el costo de energía por cada mes del año 2015, el costo de energía menos el 30% que se genera por el modelo de simulación de recursos distribuidos y el ahorro por cada mes.

*Tabla 30. Costo mensual de cada mes.*

Mese	Costo mensual (UDS)	Costo mensual menos 30% de generación (UDS)	Ahorro (UDS)
Enero	3421,018682	2854,392642	566,6260395
Febrero	3629,331505	3016,30307	613,0284351
Marzo	3203,639988	2708,367307	495,2726809
Abril	3181,44221	2662,363361	519,0788493
Mayo	3597,937796	3051,355996	546,5817998
Junio	3754,874384	3233,090914	521,7834701
Julio	3880,264722	3340,904212	539,3605103
Agosto	4017,76208	3432,001023	585,7610572
Septiembre	2898,564182	2392,152489	506,4116926
Octubre	3100,860801	2589,682083	511,1787179
Noviembre	3791,739172	3209,183643	582,5555294
Diciembre	3585,592022	2981,950824	603,6411984
Total	42063,02754	35471,74756	6591,279981

## **6.8. ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD TIR Y VAN.**

### **6.8.1. VAN (VALOR ACTUALIZADO NETO)**

Permite obtener el valor actualizado del flujo de caja producidas para futuras de la inversión.

- **Condiciones del VAN para toma de decisiones.**
  - a.  $VAN > 0$ ; La inversión produce ganancia, el proyecto es rentable.
  - b.  $VAN < 0$ ; La inversión no produce ganancia, el proyecto no es rentable.
  - c.  $VAN = 0$ ; La inversión no produce ganancia ni perdida, depende de la persona.

### **6.8.2. TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)**

Es el promedio geométrico del rendimiento esperado a futuro de la inversión, el resultado  $r$  viene hacer el costo de oportunidad del proyecto.

- **Condiciones de la TIR para toma de decisiones.**
  - a.  $TIR > r$ ; La razón del proyecto tiene rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida, se acepta.
  - b.  $TIR < r$ ; La razón del proyecto tiene rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida, no se acepta.

El costo de implementación de cada sistema ayudara a encontrar estrategias adecuadas para llevarlo a cabo, la inversión inicial se lo realizo con una aproximación de del 30% más del costo de los equipos por concepto de instalación.

### **6.8.3. INGRESOS Y EGRESOS DEL SISTEMAFOTOVOLTAICO.**

#### **➤ Egresos fijo.**

Como estimación del egreso fijo se establece un 30% de incremento al costo de los equipos por el concepto de gastos de mano de obra, cables, e infraestructura, para la instalación, dado que en estudios realizados se obtiene un incremento del 24% al costo de los equipos (Galarza C y Sánchez Ó 2013).En la tabla 31 se presenta el costo total del sistema, el cual representa el 90% de la generación de todo el sistema fotovoltaico como egreso fijo.

*Tabla 31. Costo del sistema fotovoltaico.*

Costo total de equipos. (UDS)	
Sistema fotovoltaico.	58.850,0
30% Costo de mano de obra y materiales	17.655,0
Costo total de los sistemas	76.505,0

➤ **Egresos por año.**

A partir de la implementación de los sistemas se requiere realizar un mantenimiento semestral, lo cual está entre el 0.5% del costo de los sistemas fotovoltaico y mini eólico.

*Tabla 32. Costo por mantenimiento de los sistemas fotovoltaico y mini eólico.*

Costo mantenimiento (UDS)	
Costo semestral	382,525
Costo anual	765,00

➤ **Ingresos.**

Por el concepto de ingresos anuales tendremos el costo anual de energía que se deja de percibir de la red eléctrica convencional de la EERCS.

*Tabla 33. Costo de energía por año que se deja de percibir.*

Costo de energía por año que se deja de percibir (UDS)	
Costo anual	5.932,15
Costo mantenimiento anual	-765,05
Ingresos por año.	5.167,10

➤ **Análisis del TIR y VAN del sistema fotovoltaico.**

*Tabla 34. Análisis del TIR y el VAN*

Tipo de interés	0,00%	15,91%
VAN	\$ 12.477,25	-\$ 43.290,59
TIR	1,95%	1,95%
Rentabilidad	NO Rentable	NO Rentable

Mediante el análisis del VAN y el TIR la implementación del sistema no es rentable, ya que para un tipo de interés del 0% se obtiene una tasa de interés de

retorno del (TIR) 1.95% lo cual no supera el valor de la tasa referencia de 4.53% emitida por el Banco Central del Ecuador. (BCE 2014), de la misma manera para un tipo de interés máximo de consumo del 15.91% emitido por el Banco Central del Ecuador (BCE 2014) la TIR no supera la tasa referencial.

#### **6.8.4. INGREOS Y EGRESOS DEL MINI EÓLICO.**

##### **➤ Egresos fijo.**

Como estimación del egreso fijo se establece un 50% de incremento al costo de los equipos por concepto de gastos de instalación mano de obra y cables y gastos varios para la instalación en base a estudios y la instalación de generador micro eólico (Pinos W 2015). En la tabla 35 se presenta el costo total del sistema fotovoltaico como egreso fijo.

*Tabla 35. Costo del sistemas mini eólico.*

Costo total de equipos. (UDS)	
Sistema mini eólico.	10.400,0
50% Costo de mano de obra y materiales	5.200,0
<b>Costo total del sistemas</b>	<b>15.600,0</b>

##### **➤ Egresos por año.**

A partir de la implementación de los sistemas se requiere realizar un mantenimiento semestral, lo cual está entre el 1% del costo de los sistemas fotovoltaico y mini eólico.

*Tabla 36. Costo por mantenimiento de los sistemas fotovoltaico y mini eólico.*

Costo mantenimiento (UDS)	
Costo semestral	156,0
Costo anual	312,0

##### **➤ Ingresos.**

Por el concepto de ingresos anuales tendremos el costo anual de energía producida menos el mantenimiento del sistema, este valor no supera el 1% del producción total de energía de la suma de los dos sistemas.

*Tabla 37. Costo de energía por año del sistema*

Costo de ingresos de energía por año (UDS)	
Costo anual básico	65,91
Costo anual	312
Costo de ingreso por año.	-377,91

➤ **Análisis del TIR y VAN del sistema mini eólico.**

*Tabla 38. Análisis del TIR y el VAN*

Tipo de interés	0,00%	15,00%
VAN	-\$ 14.611,35	-\$ 15.214,60
TIR	-23,62%	-23,62%
Rentabilidad	NO Rentable	NO Rentable

Mediante el análisis de estimación del VAN y la TIR se determina que la implementación del sistema no es rentable, ya que para un tipo de interés del 0% se obtiene una TIR negativa de -23,62 % con estas condiciones no es rentable y además no supera el valor de la tasa referencia de 4.53% emitida por el Banco Central del Ecuador. (BCE 2014), de la misma manera para un tipo de interés del 15.91% como tasa máxima de consumo emitido por el Banco Central del Ecuador (BCE 2014) es negativa.

**6.8.5. INGREOS Y EGRESOS TOTAL DEL SISTEMA.**

➤ **Egresos fijo.**

En la tabla 39 se presenta el costo total de los sistemas como egreso fijo.

*Tabla 39. Costo total de los sistemas.*

Costo total del sistema. (UDS)	
Sistema fotovoltaico.	76.505,0
Sistema mini eólico.	15.600,0
Costo total de los sistemas	92.105,0

➤ **Egresos por año.**

*Tabla 40. Egreso total del sistema*

Egresos (UDS)	
Sistema fotovoltaico.	765,0
Sistema mini eólico.	312,0
Total egresos	1.077,0

➤ **Ingresos.**

Por el concepto de ingresos anuales tendremos el costo anual de energía producida menos el mantenimiento de los sistemas.

*Tabla 41. Costo de energía por año*

Costo de energía por año (UDS)	
Costo anual básico	6.591,279981
Costo anual	1.077,0
Costo energía por año.	5.514,2799

Mediante el análisis del VAN y el TIR la implementación de del sistema no es rentable, debido al alto costo de inversión y su baja rentabilidad.

*Tabla 42. Análisis del TIR y el VAN*

Tipo de interés	0,00%	15,00%
VAN	\$ 6.764,20	-\$ 53.563,35
TIR	0,90%	0,90%
Rentabilidad	NO Rentable	NO Rentable

Mediante el análisis de estimación de la TIR para implementación de del sistema no es rentable, ya que para un tipo de interés del 0% se obtiene una TIR negativa de 0,90 % con estas condiciones no es rentable y además no supera el valor de la tasa referencia de 4.53% emitida por el Banco Central del Ecuador. (BCE 2014), de la misma manera para un tipo de interés del 15.91% como tasa máxima de consumo es negativa.

## 7. CONCLUSIONES

Mediante los datos climáticos obtenidos del INER UPS sede Cuenca se ha determinado los meses de mayor y menor irradiancia solar, así como los de mayor y menor presencia de viento; durante el año 2015 para de esta manera poder determinar la factibilidad de producción de potencia por los sistemas fotovoltaicos y eólicos. En este sentido la irradiancia mínima se obtiene durante el mes de julio con un valor de  $304.30 \text{ W/m}^2$ , mientras que la máxima irradiancia se obtiene durante el mes de febrero con un valor de  $396 \text{ W/m}^2$ .

Además se determinó un promedio diario de horas de sol con mayor incidencia, dando un promedio de 4.2 horas de sol en el día, el cual nos permitirá dimensionar el sistema FV.

A su vez el modelo de simulación para la integración de recursos distribuidos implementado nos permite conocer el mes de mayor irradiancia solar durante un determinado año, y así poder determinar cuál es la potencia promedio mensual durante ese mes. Tomando en cuenta el mes de febrero de 2015, como ejemplo para generación distribuida, la potencia promedio producida por el sistema fotovoltaico fue de 9.7 kW, considerando una instalación de 105 paneles fotovoltaicos de 230 W, en 5 arreglos de 3 paneles en serie por 7 paneles en paralelo; mientras que la producción de potencia eólica fue de 2.09 kW empleando para este fin 4 aerogeneradores de 2kW de la marca ouyad.

En cuanto a la producción de energía el sistema distribuido conformado por la parte fotovoltaica y eólica produce un promedio de 94.44 kWh durante el mes de febrero del año 2015, la misma que representa la máxima producción energética mensual durante el año ya que este mes fue el de mejores condiciones climáticas con respecto a irradiancia solar; mientras que durante el mes de julio la producción energética fue de 63.93 kWh, representando el nivel más bajo de energía producida por el sistema, dado que durante este mes se tienen las condiciones climáticas más desfavorables del año.

Dentro del sistema de generación distribuida propuesto para la Universidad Politécnica Salesiana el sistema de mayor aporte energético es el fotovoltaico, no así el sistema eólico el cual produce una potencia promedio de 2.09 kW durante el mes

de febrero del año 2015, dado que la velocidad promedio del viento en las inmediaciones de la UPS es de aproximadamente 5.64 m/s.

El modelo de simulación propuesto también permite conocer la potencia promedio diaria producida por los sistemas fotovoltaico y eólico, estableciendo de esta manera que el sistema fotovoltaico durante el mes de mayor irradiancia produce una potencia superior a 15 kW en un periodo de tiempo que va desde las 10h00 hasta las 16h00; de igual manera se obtiene la potencia eólica producida durante el mismo mes, dando como resultado una potencia superior a 3 kW en un periodo de tiempo comprendido entre las 12h00 y las 19h00.

El generador diésel dentro del modelo de simulación ha sido implementado como un sistema auxiliar, a fin de garantizar la producción promedio de energía generada.

El modelo de simulación que se ha implementado en Simulink de Matlab permite dimensionar los sistemas fotovoltaico y eólico así como los niveles de potencia y energía que se pueden generar a basa de las condiciones climáticas de la zona, para de esta manera determinar si un determinado proyecto es viable y rentable.

El modelo de simulación finalmente nos permite conocer los niveles de CO<sub>2</sub> que se emiten a la atmosfera. En este sentido se ha realizado un análisis en el cual se ha determinado que la emisión de CO<sub>2</sub> durante el mes de febrero fue de 20.90 Ton, por concepto de potencia consumida de la red eléctrica convencional, mientras que la emisión de CO<sub>2</sub> por el sistema de generación distribuida fue de 12.78 Ton; por tal motivo si se deja de consumir un porcentaje de energía de la red eléctrica convencional, y el mismo es aportado por el sistema de generación distribuido, se obtiene una reducción de CO<sub>2</sub> que va de 20.90 Ton a 8.12 Ton.

Con los niveles de energía eléctrica producida por el sistema de generación distribuido se determina que el costo anual aproximado que la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca ahorraría es de 6.591,27\$.

Realizando el análisis del TIR y VAN para la implementación del sistema de generación distribuida que solo conste con producción fotovoltaica encontramos que la tasa interna de retorno es 1.95, lo que indica que la implementación no es rentable,

ya que dicho valor no supera el 4.53 de la tasa de interés de referencia establecida por el Banco Central del Ecuador.

De igual manera se realizó el análisis de tasa interna de retorno considerando que el sistema de generación distribuida solo conste de la parte eólica, y se obtuvo un valor de -23.62 lo que indica claramente que el sistema no es rentable.

## **8. RECOMENDACIONES.**

Para un correcto uso del modelo de simulación para la integración de recursos de generación distribuida, los factores climáticos y datos de la potencia consumida por la edificación, deben estar colocados de la forma establecida en el Anexo 6.

Las muestras de los factores climáticos como irradiancia, temperatura y velocidad de viento deben estar tomados en periodos de una hora.

Se debe tener en cuenta que la potencia y energía producidas están contabilizadas en periodo de ocho horas diarias, por lo cual para establecer la generación mensual se deberá multiplicar por el número de días del mes correspondiente a la simulación.

Si los modelos de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, generador diésel, o inversores no constan dentro del modelo de simulación, estos pueden ser cargados manualmente por parte del operador.

Para trabajos futuros se recomienda realizar el estudio de un sistema de generación con biomasa a partir de desechos agrícolas para de esta manera poder eliminar el sistema a diésel de la generación distribuida presentada en este trabajo.

Realizar el estudio del potencial eólico donde se encuentra emplaza la Universidad  
Politécnica Salesiana sede Cuenca.

## 9. REFERENCIAS

- Aller J. *Maquinas Eléctricas Rotativas* . Caracas: Equinoccio, 2008.
- ARCONEL, Agencia de Regulacion y Control de Electricidad. «Pliego Tarifario par las Empresas Electricas.» *Coordinacion Nacional de Regulacion y Direccion Nacional de Regulacion Economica*, Enero- Diciembre,2016: 1-28.
- BCE. *www.bce.fin.ec*. Abril de 2014. <https://www.bce.fin.ec/index.php/tablaprueba> (último acceso: Junio de 2016).
- Chuqui M. *Análisis de Generación Distribuida en Hogares y Edificaciones*. Quito: UPS, 2014.
- CONELEC. «Proyecto Energéticos Sector Eléctrico Ecuatoriano con Biomasa.» *Proyecto Energéticos Sector Eléctrico Ecuatoriano con Biomasa*, 2012: 1-23.
- CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad,. «Regulación Energías Renovables no Convencionales.» *CONELEC*, 2012: 1-32.
- Diaz T, y Carmona G. *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: McGraw-Hill., 2010.
- ecopowershop. <http://www.ecopowershop.com>. Eco Power Shop Ltd, 2015.
- EERCS, Empresa Electrica Regional Centro Sur C.A. *Detalle de consumo electrico. Comercial con demanda horaria*, Cuenca: EERCS, 2016.
- Fenercom. «Guía Básica de la Generación Distribuida.» *Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid*, 2007: 1-65.
- Fernández Ferichola Julio. *Caracterización de Módulos Fotovoltaicos con Dispositivo Portátil*. Madrid: UCM, 2009.
- Galarza C, y Sánchez Ó. *Creación de la normativa para la gestión comercial de generación distribuida fotovoltaica por empresas eléctricas del Ecuador* . Quito: UPS, 2013.
- Hernández A. *Análisis, modelado y simulación de la operación de sistemas de generación eoloeléctrica basado en generadores de inducción tipo jaula de ardilla* . Cuernavaca : SEP, 2008.
- Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, y and Yi-Jie Su. *Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK*. San Francisco, USA: WCECS, 2008.

- Loeza F, Carmona C, y Tenorio J. *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso de luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco*. Mexico. D. F.: ESIME, 2012.
- M. E. González Elías, F. J. Vázquez Serrano, F. Morilla García, y D. M. Díaz Domínguez. *Modelo Matemático y Modos de Operación de un Aerogenerador de Velocidad Variable*. Cuernavaca Morelos: CIINDET, 2011.
- Macancela Vázquez, Washington Efraín, y Edmundo Vladimir Regalado Cajamarca. *Análisis técnico de una central solar para la producción de energía eléctrica en el cantón Sanata Isabel de la provincia del Azuay*. . Cuenca: UPS, 2012.
- MAE, Ministerio del Ambiente. «Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador.» *Informe 2013*, 2013: 21-22.
- MEER, Ministerio de Electricidad y Energía Renovables, y Agencia de Regulación y Control de Electricidad. ARCONEL. «Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano.» *Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano*, 2014: 1-80.
- MEER, Ministerio de Electricidad y Energía Renovables. *Electrificación Rural con Energías Renovables*. 2016. <http://www.energia.gob.ec/electrificacion-rural-con-energias-renovables/> (último acceso: 2016).
- Moya V. *Diseño de una aplicación inmótica en el edificio Carlos Crespi de la Universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Cuenca - Ecuador*. Madrid: UPM, 2012.
- Perpiñán O. *Energía Solar Fotovoltaica*. España: CC, 2015.
- Pesántes J, y Cueva D. *Elaboración y evaluación de medidas de ahorro energético para el edificio Cornelio Merchán*. Cuenca: UPS, 2016.
- Pinos W. *Análisis y parametrización de un aerogenerador micro-eólico aislado para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*. Cuenca : UPS, 2015.
- REN21. «Renewable Energy Policy Network for the 21ST Century.» *Renewables 2012 Global Status Report*, 2012: 1-176.
- renovable, Ministerio de electricidad y energía. «Políticas y estrategias para el cambio de la matriz energética del Ecuador.» 2008.
- Robles, C., y G. Villa. «Control del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico utilizando lógica difusa .» *Revista de electrónica de estudios telemáticos, Universidad Rafael Belloso Chacín*, 2011.

- Rout, Smitanjali. «Mathematical modelling of grid connected photovoltaic system using matlab/simulink and hardware implementation .» *Journal of computer applications* , 2015.
- Sanche, L. Freire. *Analisis de estabilidad de voltaje por impacto de generación distribuida en redes de distribución de la ciudad de Quito*. Quito: Universidad Politecnica Salesiana sede Quito, 2014.
- Serrano, Xavier. *Desarrollo de modelos de simulación para la integración energética de recursos distribuidos mediante TRNSYS*. Valencia: UPV, 2012.
- Singla, V., y V. Kumar. «Modelling of solar photovoltaic module & effect of insolation variation using matlab/simulink.» *International journal of advance engineering technology* , 2013.
- Velasco, G., y E. Cabrera. *Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura* . s.f.
- Yadaicela J. *Estudio Técnico - Económico Sobre la Implementación de Generación Distribuida en el Sistema Eléctrico Ecuatoriano*. Quito: UPS, 2011.

# Anéxos.

## 10. ANEXOS.

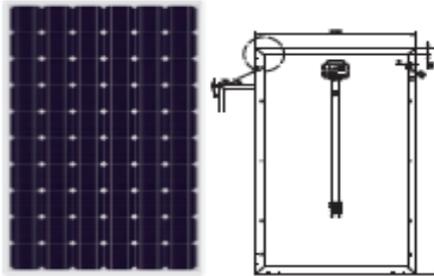
### 10.1. ANEXO 1.

EN



Specification | Photovoltaic Module

### SIMAX 156 Solarmodule (SM660-230W-240W-250W)



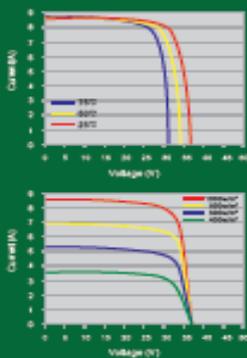
Mechanical Characteristics	
Solar Cell	Monocrystalline silicon 156x156(mm)
No. of Cells	60 (6 x 10)
Dimensions	1640 x 992 x 40 / 50 (mm)
Weight	19.1 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

Output	
Cable Type	Ø = 4 mm <sup>2</sup>
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB003 MC4

Temperature Coefficients	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2°C
Temperature Coefficient of (P <sub>max</sub> )	-0.39% / °C
Temperature Coefficient of (V <sub>oc</sub> )	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of (I <sub>sc</sub> )	0.036% / °C




Parameters	SM660-230	SM660-240	SM660-250
Peak power [Wp] P <sub>max</sub>	230W	240W	250W
Power Tolerance	0→+3%	0→+3%	0→+3%
Module Efficiency (%)	14.8%	15.1%	15.3%
Open circuit voltage [V] V <sub>oc</sub>	36.8	37.4	38.1
Maximum Power Voltage [V] (V <sub>mp</sub> )	29.7	30.2	30.7
Maximum Power Current [A] (I <sub>mp</sub> )	7.69	7.94	8.15
Short circuit Current [A] (I <sub>sc</sub> )	8.30	8.58	8.80



STC: Irradiance : 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s

- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out ≥ 90% in 10 years
- Power out ≥80% in 25 years

**Simax (Germany) Green New Energy GmbH**  
 Mengendorfer Allee 23 / 25  
 65760 Sulzbach / Germany  
 Tel: +49 6926 9729 525  
 Fax: +49 6195 5625 684  
 info@simaxsolar.com  
 www.simaxsolar.de

**Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd**  
 5078 Fredericka Gardens Drive,  
 Carleton Downs, VIC 3212  
 Tel: +61 63 9706 2400  
 Fax: +61 63 9706 2462  
 info@simaxsolar.com.au  
 www.simaxsolar.com.au

**Simax (Shenzhen) Green New Energy Co., Ltd**  
 Address: No. 987 South Park, Yanshi rd,  
 Jiangsu province, China  
 P.C.: 215603  
 Tel: +86 512 8327 8558  
 Fax: +86 512 8327 8558  
 info@simaxsolar.com  
 www.simaxsolar.com

## 10.2. ANEXO 2.

Modelo		BZP-5KW		BZP-6KW	
Modo del aislamiento		Transformador de baja frecuencia			
Entrada de C.C.	Voltaje clasificado (VDC)	96V	120V	96V	120V
	Corriente clasificada(A)	52A	42A	62.5A	50A
Salida de la CA	De potencia de salida clasificado	5KW		6KW	
	Forma de onda de la salida	Onda de seno pura			
	Voltaje clasificado	el 220V±3%	el 380VAC±3%	el 220V±3%	el 380VAC±3%
	Fases	Monofásico	3 alambre de la fase 4	Monofásico	3 alambre de la fase 4
	Corriente clasificada(A)	23A	7.6A (corriente de la fase)	27A	9A (corriente de la fase)
	Frecuencia	50Hz o 60Hz			
	Gama del voltaje de la salida clasificado (V)	110/120/220/230/240/380/400/415VAC opcional			
	Factor de energía (Pfactorradio)	0.9			
	Capacidad de la sobrecarga	150%, 5 segundos			
	Eficiencia	el >93%			
	Tarifa de la distorsión de forma de onda (THD)	los <3%(Carga lineal)			
	Dinámico Respuesta(0 a 100% carga)	el 5% <50ms			
	Exhibición	LCD			
	Modo corriente	Trabajo continuamente			
Características eléctricas del aislamiento	2000Vac, 1 minuto				
Función de la protección	Protección	Entrar la polaridad reversa, bajo el voltaje, la sobretensión, la sobreintensidad de corriente de la salida, cortocircuito, recalentando el etc.			
	Cámara de enfriamiento	Ventilador-refrescado			
	Protección del cortocircuito	Norecuperación automática, necesidad recomenzar la máquina			
Ambiente de trabajo	Ruido (1 metro)	≤50dB			
	Grado de protección	IP20(de Interior)			
	Altitud de trabajo(m)	≤2000			
	Temperatura de trabajo	- 25~+55°C			
	higrometría	el 0~90%,non-condensing			
Dimensión mecánica	Depth* Anchura * Altura	540x540x760m m			
	Peso (Kilogramo)	75Kg		86Kg	

### 10.3. ANEXO 3.

#### Especificación técnica:

modelo		Fd3.6- 2000
Potencia nominal( w)		2000
Tensión nominal( v)		120
Diámetro del rotor( m)		3.8
Inicio- hasta la velocidad del viento( m/s)		2
Del cut-in la velocidad del viento( m/s)		3
Velocidad del viento clasificada( m/s)		9
Seguridad velocidad del viento( m/s)		35
tipo de guiñada		mecanismo de
Nominal rotación tasa( r/m)		300
generador de material		de acero
material de la lámina		de fibra de vidrio
cantidad de hoja de		3
cable de tipo torre	Altura de la torre( m)	9
	Altura de la torre( m)	4.5
	Altura de la torre( m)	165

#### Especificaciones técnicas del controlador:

número de modelo	Fdc-2k
la potencia nominal	2000w
nominal de voltaje de cc	120v
Más de- la protección de descarga de voltaje	105v
Más de- recuperación de descarga de voltaje	117.5v
Más de- protección de la carga de voltaje	150v
Más de- carga de voltaje de recuperación	29v145v
de regulador de voltaje	140v
Max. La corriente de carga	18a
descarga de corriente	& le;100ma
de refrigeración de tipo la protección	De enfriamiento auto& del ventilador Más de- carga, más de- de descarga, descarga, manual de frenado, etc

**Sistema emparejado:**

## 10.4. ANEXO 4.

Model		BZS 2000W
DC Input	MPPT Voltage Range	DC100 ~ 550V
	Recommend PV Array Open Circuit Voltage	200~400V
	Control System	MPPT
AC Output	Output Power	2000W
	Rated Grid voltage	AC220
	Grid Voltage range	AC 185 ~ 264V (1 phase)
	Normal Grid Frequency	50/60Hz(Grid frequency)
	Phase	1 phase 2 wire
	Power Factor	> 0.95
	Current THD	At rated power and in the sine wave < 3.5%
	Control System	PWM
	Anti-Islanding	≈0.5 sec
	Total Max.Current	9A
	Max. Efficiency	97%
	Euro Efficiency	96.4%

## 10.5. ANEXO 5.

### 10.5.1. CÁLCULO DE MÓDULOS EN SERIE Y PARALELO

$$N_{módulos} = \frac{E_{de}}{V_{módulo} * I_{módulo} * HSP * PR}$$

$N_m$ , Numero de módulos.

$E_{de} = 86,74083$  (kWh).

$V_{módulo} = 29.7V$

$I_{módulo} = 7.69$  A

$HSP = 4.16h$

$PR = 85\%$

$$N_{módulos} = \frac{86,74083 (kWh)}{29.7V * 7.69 A * 4.16h * 0.85}$$

Remplazando en la ecuación tenemos:

$$N_{módulos} = 107 \text{ modulos}$$

Para una energía diaria estimada de 86,74083 (kWh) se requiere 107 paneles.

$$N_{\text{módulos serie}} = \frac{V_{\text{inversor}}}{V_{\text{modulo}}}$$

$$V_{\text{inversor}} = 96\text{Vcc}$$

$$N_{\text{módulos serie}} = \frac{96\text{Vcc}}{29.7\text{V}} = 3.23 \cong 3$$

$$N_{\text{módulos paralelo}} = \frac{I_{\text{inversor}}}{I_{\text{modulo}}}$$

$$I_{\text{inversor}} = 52\text{Icc}$$

$$N_{\text{módulos paralelo}} = \frac{52\text{Icc}}{7.69\text{A}} = 6.76 \cong 7$$

$$N_{\text{número módulos por arreglo}} = N_{\text{módulos serie}} * N_{\text{módulos paralelo}}$$

$$N_{\text{número módulos por arreglo}} = 3 * 7$$

$$N_{\text{número módulos por arreglo}} = 21 \text{ módulos}$$

$$N_{\text{número total de arreglos}} = \frac{N_{\text{módulos}}}{N_{\text{número módulos por arreglo}}}$$

$$N_{\text{número total de arreglos}} = \frac{107}{21} = 5.09 \cong 5 \text{ inversores}$$

$$N_{\text{número estimado de módulos}} =$$

$$N_{\text{número total de arreglos}} * N_{\text{número módulos por arreglo}}$$

$$N_{\text{número estimado de módulos}} = 5 * 21 \cong 105 \text{ módulos para el sistema}$$

## 10.6. ANEXO 6.

Modelos en que deben ser ingresados los datos de factores climáticos y potencia consumida por la edificación.

	Date	SRGLOMAX1H	TAMAX1H	WS1HX	E
1					
2	01/01/2016	29	19,3	7,7	
3	01/01/2016	0	18,3	7,4	
4	01/01/2016	0	17,4	4,7	
5	01/01/2016	0	16,9	3,5	
6	01/01/2016	0	16,7	4,3	
7	01/01/2016	0	16,7	3	
8	01/01/2015	0	14,4	2,6	
9	01/01/2015	0	14,1	1,9	
10	01/01/2015	0	14,1	2,3	
11	01/01/2015	0	14,1	2,8	
12	01/01/2015	0	13,5	2,6	
13	01/01/2015	0	13,1	2,7	
14	01/01/2015	57	12,9	3,1	
15	01/01/2015	182	13,7	2	
16	01/01/2015	547	16,05	3,6	
17	01/01/2015	912	18,4	5,2	
18	01/01/2015	1437	19,3	7	
19	01/01/2015	1300	20,7	7,2	
20	01/01/2015	1499	21,1	8,7	
21					
22					

	A	B	C	D	E
1	Fecha 2015	P. trafo 1860			
2	01/01/2015	34626,9355			
3	01/02/2015	41176,8304			
4	01/03/2015	31994,9194			
5	01/04/2015	34036,2917			
6	01/05/2015	36737,7823			
7	01/06/2015	39297,0417			
8	01/07/2015	39805,3629			
9	01/08/2015	41450,0403			
10	01/09/2015	30522,25			
11	01/10/2015	31811,2903			
12	01/11/2015	40157,7917			
13	01/12/2015	36688,5484			
14					