



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGISTER EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**TEMA: “EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR Y EÓLICO DE LA ISLA
BALTRA Y SANTA CRUZ FRENTE AL CONSUMO DE COMBUSTIBLES
FÓSILES”**

AUTOR: ING. PAZMIÑO CUENCA, CRISTHIAN GEOVANNY

DIRECTOR: MSC. NARVAÉZ MUÑOZ, CHRISTIAN PATRICIO

SANGOLQUÍ

2019



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "***EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR Y EÓLICO DE LA ISLA BALTRA Y SANTA CRUZ FRENTE AL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES***" fue realizado por el señor ***PAZMIÑO CUENCA, CRISTHIAN GEOVANNY*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 27 de agosto de 2019


.....
MSc. Christian Patricio Narvárez Muñoz

C.C: 172003716-5



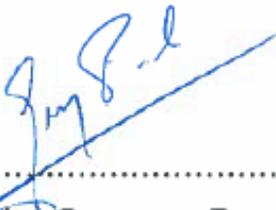
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **PAZMIÑO CUENCA, CRISTHIAN GEOVANNY**, con cédula de ciudadanía n° 080215877-4, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR Y EÓLICO DE LA ISLA BALTRA Y SANTA CRUZ FRENTE AL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 27 de agosto de 2019


.....
Ing. Cristian Geovanny Pazmiño Cuenca
C.C: 080215877-4



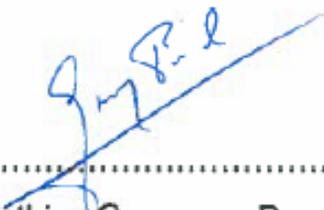
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, **PAZMIÑO CUENCA, CRISTHIAN GEOVANNY** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR Y EÓLICO DE LA ISLA BALTRA Y SANTA CRUZ FRENTE AL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 27 de agosto de 2019


.....
Ing. Cristhian Geovanny Pazmiño Cuenca
C.C: 080215877-4

DEDICATORIA

Cristhian Geovanny Pazmiño Cuenca:

Este esfuerzo conjunto de todo el tiempo acumulado, y el tiempo que suma hacia el futuro, tiempo pasado que permite contar con experiencia y tiempo futuro que permite soñar con ideas y tomar caminos nuevos, sumando en cada uno de estos instantes a la constancia y perseverancia reflejada en este proyecto de investigación.

Los grandes hombres se levantan a través de grandes pilares, mi pilar fundamental en mi vida es Dios, el cual me dio tres regalos maravillosos, para cuidarlos, ser felices y aprender juntos en este caminar. Palpo día a día en cada paso dado el crecimiento de mi familia, mi esposa Paulina, mi hijo Matias Sebastian y a mi hija Emilia Camila.

AGRADECIMIENTO

Aunque no es fácil, por no llamarlo sencillo, culminar esta etapa de mi vida, en la cual no se cuenta con el tiempo suficiente y deseado para desarrollar un tema como este de una manera apasionada e investigativa en un contexto profundo y ambicioso, no implica que cada minuto robado a la cotidianidad, nos plasmamos una vez más en el rol de aquel estudiante, soñador, apasionado e ilusionado de poder aportar un ladrillo más en el gran muro del conocimiento de una sociedad pujante y emprendedora de sueños y metas.

Es para mí una obligación y un deber sincero el agradecer el haber llegado acá, lugar para nada individual, sino más bien colectivo, porque aquí, en este preciso momento, momento en el que veo cada uno de los esfuerzos realizados por cada persona que contribuyo de una u otra manera para poder entregar este escrito, como muestra de cariño y respeto por el tiempo compartido en el aprendizaje de las Energías Renovables. Más es precisamente este trabajo el que da la apertura en poder retribuir a cada uno de ustedes, esa gentileza, ese don de caballeros y damas, ese don de seres humanos y por qué no paciencia en la elaboración de este texto, el cual no es más que el cumulo de ideas, enfocados hacia un tema, realizado por un estudiante más, sentado en aquel pupitre, donde se inician las grandes cosas e ideas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1	1
1.GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Objetivo General	4
1.4. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Justificación Técnica, Social, Económica y Ambiental	5
CAPÍTULO 2	10
2.MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Situación Eléctrica del Ecuador 2016.....	10
2.2. Potencia Nominal de Centrales de Generación	10
2.2.1. Fuentes de Energía Renovable por Provincia 2007 y 2016.....	10
2.3. Potencia Instalada en el Ecuador en Sistemas Aislados	13
2.4. Energías Renovables en el Mundo	15
2.5. Entorno Mundial de las Energías Renovables	16
2.6. Energías Renovables en el Ecuador.....	21
2.7. Recursos Renovables en Ecuador.....	24
2.8. Generalidades de la Energía Eólica.....	26
2.9. Energía Eólica.....	30
2.10. Generalidades de la Energía Solar	32
2.11. Energía Solar	36

2.12.	Sistemas Híbridos de Energía	38
2.13.	Instalaciones Eléctricas (Isla de Baltra y Santa Cruz).....	40
2.14.	Sistema de Generación en Santa Cruz.....	46
2.15.	Instalaciones Existentes	48
2.15.1.	Resumen del estado de Estado de Centrales y Proyectos.....	49
2.15.2.	Parque Eólico Baltra.....	49
2.15.3.	Planta Fotovoltaica Puerto Ayora	50
2.15.4.	Proyecto Fotovoltaico Baltra.....	51
2.15.5.	Parque Eólico San Cristóbal.....	52
2.15.6.	Proyecto Híbrido Isabela	53
2.15.7.	Sistema de Generación Híbrido Floreana y San Cristóbal	54
2.15.8.	Sistema de Generación Híbrido Isabela y Santa Cruz – Baltra	54
CAPÍTULO 3	56
3.RECURSO RENOVABLE EN BALTRA Y SANTA CRUZ	56
3.1.	Análisis del Recurso Eólico	56
3.2.	Promedio de Velocidad Mensual del Viento.....	66
3.3.	Variación de la velocidad del viento con la altura.....	66
3.4.	Calculo de la Potencia del Viento.....	67
3.5.	Potencial del Viento en un Sitio o Región	68
3.6.	Régimen de Viento en Baltra	69
3.7.	Valoración del Recurso Solar.....	71
3.8.	Promedio de Radiación Solar Mensual	72
3.9.	Variación del Recurso Solar.....	78
3.10.	Centrales de Generación Fotovoltaica.....	80
CAPÍTULO 4	83
4.METODOLOGÍA	83
4.1.	Metodología de Investigación.....	83
4.2.	Operación del Sistema Baltra – Santa Cruz.....	84
4.3.	Comportamiento de la Demanda y Tipos de Usuarios.....	85
4.4.	Curvas características de la Demanda Sistema Baltra – Santa Cruz	86

4.5.	Sistema de Generación modelado en PowerWorld.....	94
4.5.1.	Generación Convencional.....	94
4.5.2.	Generación de Puerto Ayora	94
4.5.3.	Generación Renovable / No Convencional	96
4.5.4.	Parque Eólico Baltra	97
4.5.5.	Parque Fotovoltaico Santa Cruz	98
4.5.6.	Parque Fotovoltaico Baltra.....	99
4.5.7.	Bancos de Baterías en Baltra	100
4.6.	Sistema de Transmisión.....	100
4.6.1.	Línea de Transmisión	100
4.6.2.	Transformadores de Potencia.....	105
4.7.	Sistemas Locales Isla de Baltra e Isla de Santa Cruz.....	105
4.8.	Estudio en Estado Estacionario del Sistemas Baltra Santa Cruz.....	106
4.8.1.	Línea de Transmisión	107
4.8.2.	Condiciones de Generación.....	110
4.8.3.	Generación Convencional.....	110
4.8.4.	Generación Fotovoltaica	111
4.8.5.	Generación Eólica.....	112
4.8.6.	Reserva Rodante	115
4.9.	Condiciones de Transmisión	116
4.9.1.	Flujos de Carga – Operación Normal.....	117
4.9.2.	Escenario 1. Pico de Demanda del día, Época de Calor	117
	Caso 1: Viento Máximo, Máxima Irradiación.....	118
	Caso 2: Viento Máximo, Irradiación Reducida	120
	Caso 3: Viento Promedio, Máxima Irradiación.....	122
	Caso 4: Viento Promedio, Irradiación Reducida	124
	Caso 5: Sin Viento, Máxima Irradiación.....	126
	Caso 6: Sin Viento, Irradiación Reducida	128
4.9.3.	Escenario 2. Pico de Demanda de la noche, Época de Calor	130
	Caso 1: Viento Máximo.....	130

Caso 2: Viento Promedio	132
Caso 3: Sin Viento	134
4.9.4. Escenario 3. Pico de Demanda del día, Época de Frío	136
Caso 1: Viento Máximo, Irradiación Máxima.....	137
Caso 2: Viento Máximo, Irradiación Reducida	139
Caso 3: Viento Promedio, Irradiación Máxima.....	141
Caso 4: Viento Promedio, Irradiación Reducida	143
Caso 5: Sin Viento, Irradiación Máxima.....	145
Caso 6: Sin Viento, Irradiación Reducida	147
4.9.5. Escenario 4. Pico de Demanda de la noche, Época de Frío.....	149
Caso 1: Viento Máximo.....	150
Caso 2: Viento Promedio	152
Caso 3: Sin Viento	154
4.9.6. Escenario 5. Mínima Demanda.....	156
Caso 1: Viento Máximo.....	157
Caso 2: Viento Promedio	159
Caso 3: Sin Viento	161
4.10. Flujos de Carga – Análisis de Contingencia	163
4.10.1. Escenario 1. Pico de Demanda del día, Época de Calor	164
4.10.2. Escenario 2. Pico de Demanda de la noche, Época de Calor	166
4.10.3. Escenario 3. Pico de Demanda del día, Época de Frío	168
4.10.4. Escenario 4. Pico de Demanda de la noche, Época de Frío	170
4.10.5. Escenario 5. Mínima Demanda	171
4.10.6. Condiciones Generales para todos los escenarios planteados	171
4.11. Verificación de la Operación del Sistema	172
4.12. Análisis de Estado Estacionario.....	172
CAPÍTULO 5	175
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	175
REFERENCIAS.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Potencia Nominal y Efectiva por tipo de fuente.	10
Tabla 2 Potencia Nominal de Centrales de Generación Fuentes Renovable.	11
Tabla 3 Potencia Nominal de Centrales de Generación Térmica	12
Tabla 4 Potencia Nominal de Centrales de Generación Térmica	14
Tabla 5 Fondos Asignados en Proyectos Renovables para Galápagos.	44
Tabla 6 Cuadro Detalle de Clientes e Instalaciones. Año 2014.	49
Tabla 7 Cuadro Detalle Parque Eólico Baltra. Año 2015.	50
Tabla 8 Cuadro Detalle Parque Fotovoltaico Puerto Ayora. Año 2015.	51
Tabla 9 Cuadro Detalle Parque Eólico San Cristóbal. Año 2015.	52
Tabla 10 Mediciones de Campo en Isla de Baltra	61
Tabla 11 Clasificación de Aerogeneradores según Norma IEC 61400-1.	70
Tabla 12 Estaciones de trabajo, tipo de Clientes.	92
Tabla 13 División de días dentro de una semana típica.	92
Tabla 14 Características de los Transformadores Elevadores.	95
Tabla 15 Características Básicas de los generadores.	96
Tabla 16 Características Básicas de los Elevadores (Transformadores).	98
Tabla 17 Características Básicas de los Cables.	98
Tabla 18 Características del Transformador Elevador.	99
Tabla 19 Características del Transformador Elevador.	99
Tabla 20 Especificaciones de construcción	102
Tabla 21 Características de Cables Tripolares.	102
Tabla 22 Características de Conductores Aéreos.	103
Tabla 23 Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz.	104
Tabla 24 Características de los Transformadores de Potencia del Sistema.	105
Tabla 25 Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz en época de calor.	107
Tabla 26 Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz en época de calor.	108
Tabla 27 Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz en época de frío.	108
Tabla 28 Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz en época de frío.	109
Tabla 29 Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz, valores de demanda mínima.	109
Tabla 30 Generación Eólica para vientos máximos y promedios.	114
Tabla 31 Generación Planta Puerto Ayora	118
Tabla 32 Generación No Convencional.	118
Tabla 33 Resumen Carga - Generación.	118
Tabla 34 Perfil de tensiones	119
Tabla 35 Generación Planta Puerto Ayora	120
Tabla 36 Generación No Convencional.	120
Tabla 37 Resumen Carga - Generación.	120
Tabla 38 Perfil de tensiones	121
Tabla 39 Generación Planta Puerto Ayora	122

Tabla 40 Generación No Convencional.....	122
Tabla 41 Resumen Carga - Generación.....	122
Tabla 42 Perfil de tensiones.....	123
Tabla 43 Generación Planta Puerto Ayora	124
Tabla 44 Generación No Convencional.....	124
Tabla 45 Resumen Carga - Generación.....	124
Tabla 46 Perfil de tensiones.....	125
Tabla 47 Generación Planta Puerto Ayora	126
Tabla 48 Generación No Convencional.....	126
Tabla 49 Resumen Carga - Generación.....	126
Tabla 50 Perfil de tensiones.....	127
Tabla 51 Generación Planta Puerto Ayora	128
Tabla 52 Generación No Convencional.....	128
Tabla 53 Resumen Carga - Generación.....	128
Tabla 54 Perfil de tensiones.....	129
Tabla 55 Generación Planta Puerto Ayora	130
Tabla 56 Generación No Convencional.....	131
Tabla 57 Resumen Carga - Generación.....	131
Tabla 58 Perfil de tensiones.....	131
Tabla 59 Generación Planta Puerto Ayora	132
Tabla 60 Generación No Convencional.....	133
Tabla 61 Resumen Carga - Generación.....	133
Tabla 62 Perfil de tensiones.....	133
Tabla 63 Generación Planta Puerto Ayora	134
Tabla 64 Generación No Convencional.....	135
Tabla 65 Resumen Carga - Generación.....	135
Tabla 66 Perfil de tensiones.....	135
Tabla 67 Generación Planta Puerto Ayora	137
Tabla 68 Generación No Convencional.....	138
Tabla 69 Resumen Carga - Generación.....	138
Tabla 70 Perfil de tensiones.....	138
Tabla 71 Generación Planta Puerto Ayora	139
Tabla 72 Generación No Convencional.....	140
Tabla 73 Resumen Carga - Generación.	140
Tabla 74 Perfil de tensiones.....	140
Tabla 75 Generación Planta Puerto Ayora	141
Tabla 76 Generación No Convencional.....	142
Tabla 77 Resumen Carga - Generación.	142
Tabla 78 Perfil de tensiones.....	142
Tabla 79 Generación Planta Puerto Ayora	143
Tabla 80 Generación No Convencional.....	144

Tabla 81 Resumen Carga - Generación.	144
Tabla 82 Perfil de tensiones.	144
Tabla 83 Generación Planta Puerto Ayora	145
Tabla 84 Generación No Convencional.	146
Tabla 85 Resumen Carga - Generación.	146
Tabla 86 Perfil de tensiones.	146
Tabla 87 Generación Planta Puerto Ayora	147
Tabla 88 Generación No Convencional.	148
Tabla 89 Resumen Carga - Generación.	148
Tabla 90 Perfil de tensiones.	148
Tabla 91 Generación Planta Puerto Ayora.	150
Tabla 92 Generación No Convencional.	150
Tabla 93 Resumen Carga - Generación.	151
Tabla 94 Perfil de tensiones.	151
Tabla 95 Generación Planta Puerto Ayora.	152
Tabla 96 Generación No Convencional.	152
Tabla 97 Resumen Carga - Generación.	153
Tabla 98 Perfil de tensiones.	153
Tabla 99 Generación Planta Puerto Ayora.	154
Tabla 100 Generación No Convencional.	154
Tabla 101 Resumen Carga - Generación.	155
Tabla 102 Perfil de tensiones.	155
Tabla 103 Generación Planta Puerto Ayora.	157
Tabla 104 Generación No Convencional.	157
Tabla 105 Resumen Carga - Generación.	157
Tabla 106 Perfil de tensiones.	158
Tabla 107 Generación Planta Puerto Ayora.	159
Tabla 108 Generación No Convencional.	159
Tabla 109 Resumen Carga - Generación.	159
Tabla 110 Perfil de tensiones.	160
Tabla 111 Generación Planta Puerto Ayora.	161
Tabla 112 Generación No Convencional.	161
Tabla 113 Resumen Carga - Generación.	161
Tabla 114 Perfil de tensiones.	162
Tabla 115 Contingencias Consideradas de Transmisión	163
Tabla 116 Contingencias Consideradas de Transmisión.	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proyectos del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en Galápagos	3
Figura 2. Potencia Nominal de Centrales de Generación Fuentes Renovable	12
Figura 3. Potencia Nominal de Centrales de Generación Térmica	13
Figura 4. Potencia Nominal de Centrales de Generación Térmica	14
Figura 5. Eficiencia Energética 2016 Países con políticas y objetivos.	17
Figura 6. Balance Energético 2016. Porcentaje de energía renovable ⁸	17
Figura 7. Nueva Inversión Mundial en Energía y Combustibles. ⁸	18
Figura 8. Flujos de Inversión. Nueva inversión mundial en energía renovable ⁸	19
Figura 9. Nuevas inversiones mundiales en energías y combustibles renovables. ⁹	20
Figura 10. Mapa de Isoyetas del Ecuador, Mayo 2015.	22
Figura 11. Atlas Eólico del Ecuador con fines de Generación Eléctrica. ¹²	23
Figura 12. Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica.	24
Figura 13. Flujo de aire a través de las aspas de un aerogenerador.	27
Figura 14. Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica	30
Figura 15. Capacidad y adicionales anuales mundiales de Energía Eólica.	31
Figura 16. Capacidad y adicionales anuales, de los países Top 10 de Energía Eólica.	31
Figura 17. Principio de funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.	34
Figura 18. Circuito electrónico representativo de una celda solar.	34
Figura 19. Curvas de un panel fotovoltaico vs la irradiación y temperatura.	35
Figura 20. Curvas típicas de una celda solar vs la temperatura. ²⁰	35
Figura 21. Capacidad y adicionales anuales de energía Solar 2006-2016.	37
Figura 22. Capacidad y adicionales de energía Solar FV, diez países líderes.	38
Figura 23. Accident of the Oil Tanker “Jessica” off the Galapagos Islands.	41
Figura 24. Spread of oil following the grounding of the “Jessica”.	42
Figura 25. Consumo de Combustibles para Galápagos. Petrocomercial 2015.	43
Figura 26. Consumo de Combustibles para Generación de Energía Eléctrica.	43
Figura 27. Demanda de energía en Galápagos (enero 1999 – diciembre 2017).	44
Figura 28. Parque Eólico de Baltra “Islas Galápagos”	50
Figura 29. Planta Fotovoltaica Puerto Ayora “Islas Galápagos”	51
Figura 30. Parque Eólico de Baltra “Islas Galápagos”	52
Figura 31. Mapa de Vientos Superficiales-INOCAR-2018.	58
Figura 32. Representación “Patrón Global de Circulación de Vientos”.	60
Figura 33. Brisa Meteorological Aspects of the utilization of wind as an energy.	61
Figura 34. Velocidad del Viento mensual, alturas determinadas con Curva Weibull	62
Figura 35. Velocidad del Viento mensual, a las alturas de 50 [m], 40 [m] y 30 [m]	63
Figura 36. Frecuencia de Velocidad del Viento, alturas determinadas Curva Weibull.	63
Figura 37. Frecuencia de Velocidad del Viento, a 50 [m]	64
Figura 38. Frecuencia de Velocidad del Viento, a 40 [m].	64
Figura 39. Frecuencia de Velocidad del Viento, a 30 [m]	65
Figura 40. Frecuencia de Velocidad del Viento, a 50 [m]	65
Figura 41. Potencia del viento en función del Área del aerogenerador a 50 [m]	67
Figura 42. Potencia Eólica específica en función de la velocidad.	68
Figura 43. Comportamiento de la velocidad del Viento con el tiempo.	69
Figura 44. Velocidad promedio mensual del viento a 50 [m] sobre la tierra	70

Figura 45. Promedio de Irradiación Anual [W/m ²]	71
Figura 46. Distribución de Energía Solar	72
Figura 47. Promedio de Radiación Solar Mensual ENERO (W/m ²)	72
Figura 48. Promedio de Radiación Solar Mensual FEBRERO (W/m ²)	73
Figura 49. Promedio de Radiación Solar Mensual MARZO (W/m ²)	73
Figura 50. Promedio de Radiación Solar Mensual ABRIL (W/m ²)	74
Figura 51. Promedio de Radiación Solar Mensual MAYO (W/m ²)	74
Figura 52. Promedio de Radiación Solar Mensual JUNIO (W/m ²)	75
Figura 53. Promedio de Radiación Solar Mensual JULIO (W/m ²)	75
Figura 54. Promedio de Radiación Solar Mensual AGOSTO (W/m ²)	76
Figura 55. Promedio de Radiación Solar Mensual SEPTIEMBRE (W/m ²)	76
Figura 56. Promedio de Radiación Solar Mensual OCTUBRE (W/m ²)	77
Figura 57. Promedio de Radiación Solar Mensual NOVIEMBRE (W/m ²)	77
Figura 58. Promedio de Radiación Solar Mensual DICIEMBRE (W/m ²)	78
Figura 59. Software PowerWorld y Análisis de Resultados de Campo	84
Figura 60. Potencia Activa Residencia Urbano [kW] “VERANO”	86
Figura 61. Potencia Activa Residencia Urbano [kW] “INVIERNO”	86
Figura 62. Potencia Activa Residencia Rural [kW] “VERANO”	87
Figura 63. Potencia Activa Residencia Rural [kW] “INVIERNO”	87
Figura 64. Potencia Activa Residencia Rural [kW] “INVIERNO”	88
Figura 65. Potencia Activa Comercial [kW] “INVIERNO”	88
Figura 66. Potencia Reactiva Residencial Urbano [kVAR] “VERANO”	89
Figura 67. Potencia Reactiva Residencial Urbano [kVAR] “INVIERNO”	89
Figura 68. Potencia Reactiva Residencial Urbano [kVAR] “VERANO”	90
Figura 69. Potencia Reactiva Residencial Rural [kVAR] “INVIERNO”	90
Figura 70. Potencia Reactiva Residencial Comercial [kVAR] “INVIERNO”	91
Figura 71. Potencia Reactiva Residencial Comercial [kVAR] “INVIERNO”	91
Figura 72. Comportamiento de la Demanda en la Isla de Baltra y Santa Cruz	93
Figura 73. Diagrama Unifilar Baltra – Santa Cruz. Estabilidad Dinámica	94
Figura 74. Esquema de conexión generadores	95
Figura 75. Esquema de conexión Aerogeneradores	97
Figura 76. Esquema del Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz	101
Figura 77. Esquema de torres del Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz	103
Figura 78. Curva de Potencia [kW] vs Viento [m/s] para aerogeneradores	113
Figura 79. Viento Máximo, Máxima Irradiación	119
Figura 80. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1	119
Figura 81. Viento Máximo, Irradiación Reducida	121
Figura 82. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2	121
Figura 83. Viento Promedio, Máxima Irradiación	123
Figura 84. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3	123
Figura 85. Viento Promedio, Irradiación Reducida	125
Figura 86. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 4	125
Figura 87. Sin Viento, Máxima Irradiación	127
Figura 88. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 5	127
Figura 89. Sin Viento, Irradiación Reducida Caso 6	129

Figura 90. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 6.....	129
Figura 91. Caso 1: Viento Máximo.....	132
Figura 92. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1	132
Figura 93. Caso 2: Viento Promedio.....	134
Figura 94. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2.....	134
Figura 95. Caso 3: Sin Viento.....	136
Figura 96. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3.....	136
Figura 97. Caso 1: Viento Máximo, Máxima Irradiación.....	139
Figura 98. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1	139
Figura 99. Caso 2: Viento Máximo, Irradiación Reducida.....	141
Figura 100. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2.....	141
Figura 101. Caso 3: Viento Promedio, Irradiación Máxima.....	143
Figura 102. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3.....	143
Figura 103. Caso 4: Viento Promedio, Irradiación Reducida	145
Figura 104. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 4.....	145
Figura 105. Caso 5: Sin Viento, Irradiación Máxima.....	147
Figura 106. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 5.....	147
Figura 107. Caso 6: Sin Viento, Irradiación Reducida.....	149
Figura 108. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 6.....	149
Figura 109. Caso 1: Viento Máximo.....	151
Figura 110. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1.....	152
Figura 111. Caso 2: Viento Promedio	153
Figura 112. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2.....	154
Figura 113. Caso 3: Sin Viento.....	155
Figura 114. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3.....	156
Figura 115. Caso 1: Viento Máximo	158
Figura 116. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1.....	158
Figura 117. Caso 2: Viento Promedio	160
Figura 118. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2.....	160
Figura 119. Caso 3: Sin Viento.....	162
Figura 120. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3.....	162

RESUMEN

La presente investigación está enfocada a la Evaluación del recurso Solar y Eólico de las Islas de Baltra y Santa Cruz, frente al consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica. Esta investigación se desarrolla en 5 Capítulos. El Capítulo 1 contiene información con generalidades del sistema Energético de las Islas. Se presenta información relacionada en la elaboración de la evaluación planteada, tales como justificación técnica, justificación social. Se presenta la importancia del estudio. Se recalca la necesidad de contar con un Sistema de Generación confiable y menos contaminante para las Islas, que garantice el continuo suministro de energía eléctrica. El Capítulo 2 se refiere al marco teórico de los componentes y sistemas empleados en instalaciones híbridas, sistemas fotovoltaicos y eólicos, además investigación de las instalaciones energéticas actuales de las islas, basada en la investigación documental bibliográfica. El Capítulo 3 se analiza el recurso solar y eólico en las islas de Baltra y Santa Cruz. A su vez se analiza la operación actual del sistema por parte de la empresa distribuidora local. Capítulo 4 describe la metodología a emplearse, en el modelo del Sistema Estable propuesto para el Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz. Finalmente el Capítulo 5 se presenta las conclusiones y recomendaciones, sobre el planteamiento propuesto en este trabajo de investigación.

PALABRAS CLAVES:

- **HÍBRIDO**
- **ESTABILIDAD**
- **EFICIENCIA**

ABSTRACT

The present research is focused on the Evaluation of the Solar and Wind Resource of the Baltra and Santa Cruz Islands, against the consumption of fossil fuels for the generation of electrical energy. This research is developed in 5 chapters. Chapter 1 contains information with generalities of the Energy system of the Islands. Related information is presented in the elaboration of the proposed evaluation, such as technical justification, social justification. The importance of the study is presented. The need to have a reliable and less polluting Generation System for the Islands is stressed, which guarantees the continuous supply of electric power. Chapter 2 refers to the theoretical framework of the components and systems used in hybrid installations, photovoltaic and wind power systems, as well as research into the current energy installations of the islands, based on bibliographic documentary research. Chapter 3 discusses the solar and wind resource on the islands of Baltra and Santa Cruz. At the same time, the current operation of the system by the local distribution company is analyzed. Chapter 4 describes the methodology to be used in the Stable System model proposed for the Baltra - Santa Cruz Transmission System. Finally, Chapter 5 presents the conclusions and recommendations on the approach proposed in this research work.

KEYWORDS:

- **HYBRID**
- **STABILITY**
- **EFFICIENCY**

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

La situación a nivel mundial, el crecimiento poblacional, el uso de fertilizantes químicos, las guerras, el consumismo generalizado; incremento la emisión de gases de efecto invernadero y de manera proporcional al calentamiento global. El ser humano ha visto la necesidad de tomar acciones que permita satisfacer sus necesidades básicas de una manera responsable con el medio ambiente, garantizando el uso de los recursos naturales para futuras generaciones.

El Acuerdo de París sobre el cambio climático, entró en vigor en noviembre de 2016, en el fondo este acuerdo no es más que el uso de la energía de manera responsable. Para el logro de los objetivos planteados en el Acuerdo de París es fundamental un cambio radical del sector energético actual; este cambio sustancial comprende un giro radical en la matriz energética, es indispensable buscar nuevas fuentes de energía, limpias y renovables. Es claro que “La Energía” es fuente de al menos dos tercios de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Según informe del IEA (International Energy Agency) y WEO (World Energy Outlook) en el 2017, se estima que en la actualidad hay 1.200 millones de personas sin acceso a la electricidad, 1.800 millones de personas siguen dependiendo de la biomasa sólida para cocinar, esto implica una exposición continua al humo en ambientes cerrados que actualmente está causando 3.5 millones de muertes prematuras al año.^[1]

“Si bien es cierto la generación de energías renovables se han incrementado en las últimas décadas, así como el impulso importante en la eficiencia energética; estos parámetros deberán acelerarse considerablemente para llegar a los objetivos de una Energía Sostenible”.

1.2. Antecedentes

En el Ecuador las energías renovables tomaron un impulso sustancial en la década del 2017, debido al apoyo gubernamental y a la inversión privada, la Dirección de Energía Renovable del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable tuvo como objetivo fomentar el desarrollo de las energías renovables, que a su vez generó el cambio de la matriz energética en el país. Esta iniciativa de ambos sectores (gubernamental y privado) estuvo alineada con el proyecto de CERO COMBUSTIBLES FÓSILES PARA EN GALAPAGOS que actualmente continúa desarrollando proyectos de energía renovable en el Archipiélago y permiten el desplazamiento de combustibles fósiles en la Generación de Energía Eléctrica.

El Gobierno Nacional preocupado por la viabilidad ecológica, económica y social de las actividades en las Islas Galápagos manifestó la necesidad de adoptar medidas y ejecutar acciones tendientes a impedir la degradación del hábitat y el impacto ecológico en el delicado equilibrio de las especies que coexisten en el Parque Nacional Galápagos y en la Reserva Marina de Galápagos.

La Presidencia de la República declaró en riesgo y dio como prioridad nacional la conservación y el manejo del ecosistema del Archipiélago de Galápagos, asumió un compromiso real y efectivo con el desarrollo sostenible y la conservación de Galápagos.

Como parte de este compromiso, se resolvió iniciar el Programa CERO COMBUSTIBLES FÓSILES PARA EN GALAPAGOS, bajo el objetivo de erradicar del archipiélago el uso de combustibles derivados del petróleo.

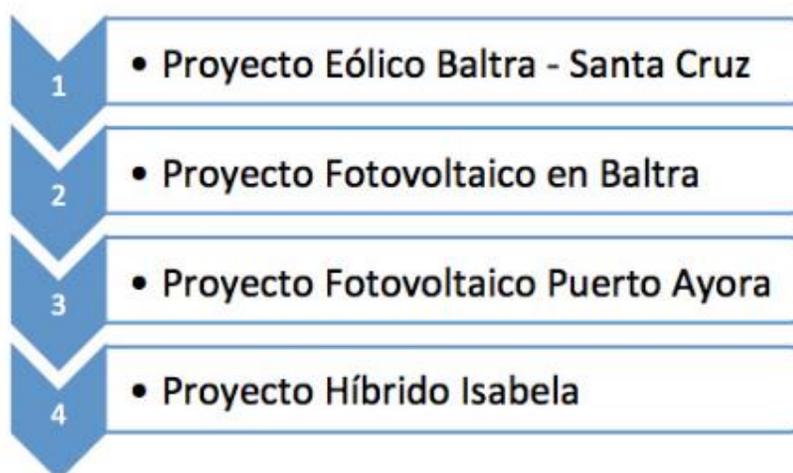


Figura 1. Proyectos del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en Galápagos
Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

PROYECTO EOLICO BALTRA – SANTA CRUZ: Dentro de la Iniciativa Gubernamental “Cero Combustibles Fósiles” en Galápagos, bajo el convenio entre el Gobierno del Ecuador, representado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se desarrolló el Proyecto Eólico en Baltra. Con este Proyecto se reducirá el consumo de diésel empleado en la generación térmica en Santa Cruz. ²

PROYECTO FOTOVOLTAICO EN LA ISLA BALTRA: El MEER se encuentra desarrollando el “Proyecto para Introducción de Energía Limpia por Sistema de Generación de Electricidad Solar”, dentro del marco de Cooperación No Reembolsable

de Japón, este proyecto aprovechara el recurso solar de la Isla de Baltra y su energía es transportada hacia la subestación de ELECGALAPAGOS en Puerto Ayora.²

PROYECTO FOTOVOLTAICO PUERTO AYORA: Actualmente se encuentra en desarrollo, con la Cooperación Internacional – KOICA del Gobierno de Corea, mediante al acuerdo suscrito entre el MEER y el Gobierno Coreano. ²

PROYECTO HIBRIDO ISABELA: En el marco de la Cooperación Financiera entre Alemania y Ecuador. El Gobierno de la República Federal de Alemania a través del Banco Alemán de Desarrollo KFW otorgo asistencia financiera para el desarrollo del proyecto que consiste básicamente en: ²

1. Planta térmica dual
2. Planta solar fotovoltaica
3. Sistema de almacenamiento de energía
4. Sistema de control, operación y monitoreo de toda la planta
5. Tanques de almacenamiento de combustible

1.3. Objetivo General

Evaluar el Recurso Solar y Eólico de las Islas de Baltra y Santa Cruz frente al consumo de combustibles Fósiles.

1.4. Objetivos Específicos

- a) Simular en estado estable el Sistema Eléctrico Actual de Baltra y Santa Cruz
- b) Proponer una alternativa en la operación y despacho para mejorar las instalaciones renovables de generación en la Isla de Baltra y Santa Cruz

- c) Analizar el desperdicio de las instalaciones de generación renovable solar y eólica en función de conservar un equilibrio del Sistema Híbrido Actual

1.5. Justificación Técnica, Social, Económica y Ambiental

Para el 2017 se estima que la demanda mundial del petróleo aumentará en 1.59 millones de barriles por día [bpd]. En el año 2017, las energías renovables mostraron un crecimiento a 161 gigavatios [GW], es decir un 19.3% más que el año 2016. Según informes de la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency EIA), en términos técnicos, esto refleja que las energías renovables aportan más de la mitad de las aportaciones anuales netas a la capacidad energética y sobrepasan al carbón en términos de capacidad instalada acumulada.

Las fuentes renovables se han tornado realmente importantes, para más de 1.000 millones de personas que no cuentan con el servicio de electricidad, los proyectos distribuidos de energía renovable, proporcionan una única opción para acceder a este servicio, a su vez confieren una mayor seguridad energética con un menor impacto ambiental respecto a las fuentes de energía convencional.

En la actualidad la energía solar y eólica, han despertado un mayor interés debido a su mayor eficiencia, debido a esto, este tipo de tecnología cuenta con políticas de apoyo que permiten un desarrollo significativo; a su vez estas tecnologías han comenzado a cambiar la eficiencia de las energías renovables, promoviendo sistemas híbridos para la producción de electricidad.

El éxito de generación de energía por medio de fuentes renovables está directamente vinculada con la economía, debido a su periodo de recuperación e inversión. En torno a

esto, el diseño por medio de esta tecnología es realmente un desafío, donde la eficiencia de la conversión de energía es de suma importancia.

Los Sistemas Híbridos, son sistemas que combinan tecnologías (eólica y solar, eólica y combustión interna, etc.), debido a la combinación de tecnologías incrementan su eficiencia, confiabilidad y disponibilidad, a su vez son sistemas que pueden ser usados en lugares donde las redes de distribución de energía eléctrica convencional no pueden llegar.

El presente estudio, implica dos Islas situadas en el Archipiélago de Galápagos, la Isla de Baltra y la Isla de Santa Cruz. Las Islas en su gran mayoría se las considera Sistemas de Energía no Conectados o llamados Sistemas Aislados, de tal modo que para satisfacer su demanda de energía, actualmente se emplean Centrales Termoeléctricas y en pocos casos se emplean los Sistemas Híbridos. Debido a que las Islas cuentan en su gran mayoría con fuentes de Energía Alternativa, partiendo por el potencial mareomotriz, eólico o solar; estos factores conjugan una tendencia favorable hacia el cambio de su matriz energética, aplicando el uso y manejo de nuevas tecnologías de Sistemas Híbridos.

Actualmente, la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, se encuentra limitado debido a:

Disponibilidad Inmediata: Al contrario de las centrales convencionales, especialmente las centrales térmicas, las mismas que actúan de manera inmediata en el incremento de carga y su operatividad.

Suministro Constante de Energía: Las centrales convencionales, son capaces de suministrar prácticamente la misma cantidad de energía de forma independiente de la hora del día.

Almacenamiento de Energía: Las centrales convencionales, pueden despachar energía requerida por la demanda. Sin embargo, las fuentes de energías renovables, tienen un talón de Aquiles en esta parte, debido a que su capacidad varía según el horario (centrales solares), ambientales (centrales eólicas). Debido a esta situación, se está incursionando en el almacenamiento para este tipo de energía y poder suplir de energía a la demanda.

Las limitaciones de las RES (Renewable energy Source) en cuanto a su seguridad y estabilidad han evolucionado a la creación de los Sistemas Híbridos. Los Sistemas Híbridos para la generación de energía eléctrica, son la combinación de tecnologías para la producción de energía eléctrica, pudiendo ser combinaciones como:

- Energía Eólico – Solar
- Energía Eólico – Termoeléctrica
- Energía Solar – Termoeléctrica
- Energía Eólico – Solar – Termoeléctrica
- Energía Eólico – Biomasa
- Energía Solar – Biomasa
- Energía Solar – Eólica - Biomasa

En los últimos años la tecnología de Sistemas de Energía Híbridos, llamados Hybrid Renewable Energy System (HRE) han crecido de manera importante en las últimas

décadas, la lucha para disminuir las emisiones de CO₂ es el objetivo principal de este tipo de tecnología, a través de las fuentes renovables, este tipo de sistemas cuentan con baterías para localizaciones aisladas y con grupos electrógenos (Termoeléctricos) de Back Up, que es usado en caso de que la energía obtenida por medio de las fuentes renovables no sea suficiente para satisfacer la demanda de energía.

La combinación de tecnologías se usan de manera conjunta para poder brindar beneficios directos, tanto económicos como ambientales. En la actualidad, para suplir de energía eléctrica a comunidades aisladas y de difícil acceso, en la cual se dificulta la construcción de centrales de energía eléctrica o provisión de combustible para generadores eléctricos, se han incrementado las instalaciones de proyectos híbridos, en los cuales los componentes usados son: paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas, generadores con combustores de biomasa, etc.

Este tipo de tecnología tiene aproximadamente tres décadas de investigación. Las principales características de los Sistemas Híbridos son:

1. Maximizar el potencial de las Fuentes de Energía Renovable disponibles a nivel local.
2. Reducir la generación de energía a través de fuentes convencionales (por lo general se abastecen mediante combustibles fósiles).
3. En el caso de los Sistema Autónomos Aislados existentes, sirven para reducir los costos de generación de electricidad.
4. Elevar la confiabilidad energética de las regiones aisladas.

El área geográfica en la cual se encuentran ubicadas las Islas de Baltra y Santa Cruz, pertenecientes al Archipiélago de Galápagos, posee características ideales, para el uso de tecnología Fotovoltaica y Eólica.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Situación Eléctrica del Ecuador 2016

Al 2016, en centrales de generación, se registraron 8.226,42 [MW] de potencia nominal y 7.606,88 [MW] de potencia efectiva, las mismas que incluyen las capacidades disponibles por las generadoras, auto generadoras y distribuidoras con generación, como se muestra en la Tabla No. 1. Cabe mencionar que las empresas auto generadoras se ven representados mayoritariamente por las empresas petroleras.

Tabla 1

Potencia Nominal y Efectiva por tipo de fuente.

TIPO DE FUENTE	TIPO DE CENTRAL	TIPO DE UNIDAD	POTENCIA NOMINAL [MW]	POTENCIA EFECTIVA [MW]
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	4.446,36	4.418,18
	Térmica Biomasa	Turbovapor	144,30	136,40
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	26,48	25,59
	Eólica	Eólica	21,15	21,15
	Térmica Biogás	MCI	2,00	1,76
Total Renovable			4.640,29	4.603,07
No Renovable	Térmica	MCI	2.005,43	1.611,63
		Turbogás	1.118,85	969,43
Renovable		Turbovapor	461,87	422,74
		Total No Renovable	3.586,14	3.003,80
Total			8.226,42	7.606,88

Fuente: ARCONEL.

2.2. Potencia Nominal de Centrales de Generación

2.2.1. Fuentes de Energía Renovable por Provincia 2007 y 2016

Las centrales de generación con fuente de energía renovables son: hidráulica, eólica, solar, biomasa y biogás.

La potencia nominal de centrales de generación con fuentes de energía renovable en el año 2007 fue 2.133,30 [MW], y para el año 2016 alcanzó los 4.640,29 [MW], lo que representa un incremento de 2.506,99 [MW] es decir un 117,52%.⁵

Tabla 2*Potencia Nominal de Centrales de Generación Fuentes Renovable.*

Provincia	Tipo de Central	Número de Centrales		Potencia Nominal [MW]		
		2007	2016	2007	2016	Variación
Azuay	Hidráulica	3	6	1.113,43	1.772,49	659,06
Bolívar	Hidráulica	1	1	1,90	8,00	6,10
Cañar	Biomasa	1	1	29,80	29,80	0,00
Cañar	Hidráulica	0	2	-	32,33	32,33
Carchi	Hidráulica	4	3	5,00	4,71	-0,29
Chimborazo	Hidráulica	3	4	13,84	16,33	2,49
Cotopaxi	Hidráulica	6	6	29,36	28,79	-0,56
Cotopaxi	Solar	0	2	-	2,00	2,00
El Oro	Solar	0	6	-	5,99	5,99
Galápagos	Eólica	1	2	2,40	4,65	2,25
Galápagos	Solar	1	7	0,02	1,64	1,63
Guayas	Biomasa	2	2	44,00	114,50	70,50
Guayas	Hidráulica	1	1	213,00	213,00	0,00
Guayas	Fotovoltaica	-	4	-	3,98	3,98
Imbabura	Hidráulica	4	7	9,00	74,56	65,56
Imbabura	Fotovoltaica	-	3	-	4,00	4,00
Loja	Eólica	-	1	-	16,50	16,50
Loja	Fotovoltaica	-	6	-	5,99	5,99
Los Ríos	Hidráulica	1	2	16,00	57,57	41,57
Manabí	Hidráulica	2	-	9,00	-	-9,00
Manabí	Fotovoltaica	-	2	-	1,50	1,50
Morona Santiago	Hidráulica	2	2	38,83	88,40	49,57
Morona Santiago	Fotovoltaica	-	1	-	0,37	0,37
Napo	Hidráulica	2	3	6,73	1.516,95	1.510,22
Orellana	Hidráulica	1	1	2,30	2,30	0,00
Pichincha	Hidráulica	14	17	129,90	134,38	4,48
Pichincha	Fotovoltaica	-	1	-	1,00	1,00
Pichincha	Biogás	-	1	-	2,00	2,00
Sucumbíos	Hidráulica	1	-	0,40	-	-0,40
Tungurahua	Hidráulica	4	6	466,00	494,15	28,15
Zamora Chinchipe	Hidráulica	1	1	2,40	2,40	0,00
Total		55	101	2.133,30	4.460,29	2.506,99

Fuente: ARCONEL.

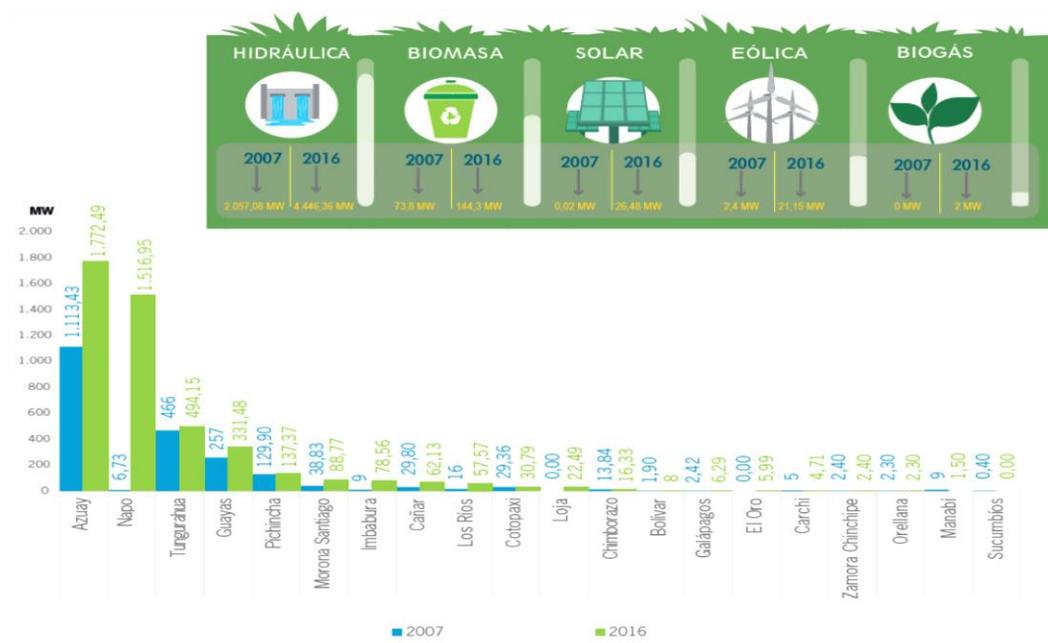


Figura 2. Potencia Nominal de Centrales de Generación Fuentes Renovable
Fuente: ARCONEL

Tabla 3

Potencia Nominal de Centrales de Generación Térmica

Provincia	Número de Centrales		Potencia Nominal [MW]		Variación
	2007	2016	2007	2016	
Guayas	16	12	1.153,15	1.155,76	2,61
Orellana	51	70	266,52	585,46	318,94
Sucumbíos	40	76	222,40	477,96	255,56
El Oro	8	2	171,39	275,36	103,97
Esmeraldas	4	4	144,16	244,92	100,76
Manabí	1	4	40,40	215,20	174,80
Pichincha	7	7	129,73	182,04	52,31
Santa Elena	1	2	27,30	131,80	104,50
Los Ríos	1	1	11,46	95,20	83,74
Napo	5	5	44,91	67,72	22,82
Pastaza	1	3	29,78	51,46	21,68
Imbabura	1	1	16,48	33,25	16,77
Galápagos	4	4	9,86	22,21	12,35
Loja	1	1	20,26	19,74	-0,52
Azuay	2	1	30,83	19,20	-11,63
Tungurahua	2	1	10,42	5,00	-5,42

CONTINÚA



Cañar	-	1	-	3,63	3,63
Morona Santiago	1	1	4,78	0,24	-4,54
Cotopaxi	1	-	3,75	-	-3,75
Bolívar	1	-	2,54	-	-2,54
Carchi	1	-	2,50	-	-2,50
Chimborazo	1	-	2,50	-	-2,50
Total	150	196	2.345,10	3.586,14	1.241,04

Fuente: ARCONEL.

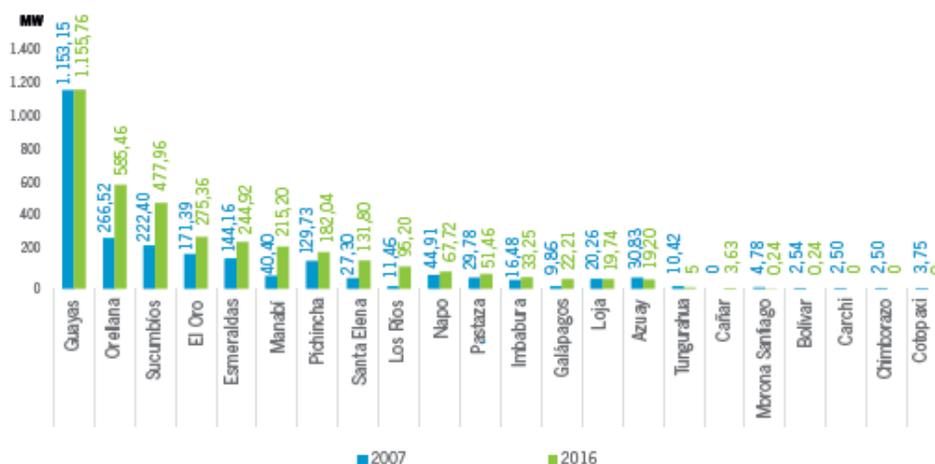


Figura 3. Potencia Nominal de Centrales de Generación Térmica
Fuente: ARCONEL

2.3. Potencia Instalada en el Ecuador en Sistemas Aislados

Se consideran sistemas aislados aquellos que no están conectados al Sistema Nacional Interconectado (SNI), estos sistemas suministran energía eléctrica a sitios de difícil acceso, así como también, brindan servicio a instalaciones hidrocarburíferas.

La potencia nominal de los sistemas aislados en el año 2007 fue de 585,08 [MW], y para el año 2016 alcanzó los 1.148,84 [MW], lo que indica un incremento de 563,76 [MW], que corresponde al 96,36%.⁶

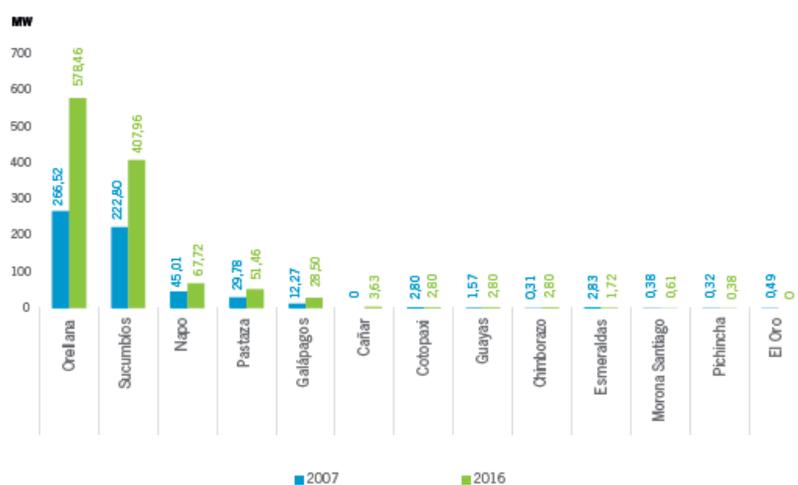


Figura 4. Potencia Nominal de Centrales de Generación Térmica
Fuente: ARCONEL

Tabla 4

Potencia Nominal de Centrales de Generación Térmica

Provincia	Tipo de Central	Provincia	Número de Centrales		Potencia Nominal [MW]		
			2007	2016	2007	2016	Variación
Petroamazonas	Térmica	Orellana	12	34	75,26	355,65	280,39
Petroamazonas	Térmica	Sucumbíos	10	35	44,57	258,92	214,35
Repsol	Térmica	Orellana	5	5	144,38	144,39	0,02
Andes Petro	Térmica	Sucumbíos	15	18	80,87	100,88	20,02
Petroamazonas	Térmica	Napo	2	2	25,89	48,70	22,82
Agip	Térmica	Pastaza	1	2	29,78	46,06	16,28
Andes Petro	Térmica	Orellana	20	21	20,66	44,08	23,41
CELEC-Termopichincha	Térmica	Galápagos	-	4	-	22,21	22,21
CELEC-Termopichincha	Térmica	Orellana	-	1	-	20,40	20,40
CELEC-Termopichincha	Térmica	Sucumbíos	-	2	-	19,60	19,60
Sipac	Térmica	Orellana	6	6	8,67	13,95	5,28
OCP Ecuador	Térmica	Napo	2	2	10,02	10,02	-
OCP Ecuador	Térmica	Sucumbíos	2	2	10,02	10,02	-
Repsol	Térmica	Sucumbíos	1	1	8,64	9,17	0,53
Agip	Térmica	Napo	1	1	9,00	9,00	-
Tecpetrol	Térmica	Sucumbíos	-	9	-	7,97	7,97

CONTINÚA



Petroamazonas	Térmica	Pastaza	-	1	-	5,40	5,40
E.E. Galápagos	Eólica	Galápagos	-	2	-	4,65	4,65
UCEM	Térmica	Cañar	-	1	-	3,63	3,63
CELEC-Termopichincha	Térmica	Guayas	2	1	1,57	2,80	1,23
E.E. Cotopaxi	Hidráulica	Cotopaxi	3	3	2,80	2,80	-
UCEM	Hidráulica	Chimborazo	0	1	-	2,00	2,00
OCP Ecuador	Térmica	Esmeraldas	1	1	1,73	1,72	-0,01
E.E. Galápagos	Fotovoltaica	Galápagos	1	7	0,02	1,64	1,63
Orion	Térmica	Sucumbíos	-	5	-	1,40	1,40
E.E. Riobamba	Hidráulica	Chimborazo	1	1	0,31	0,80	0,49
E.E. Centro	Sur	Fotovoltaica	Morona	Santiago	-	1	-
OCP Ecuador	Térmica	Pichincha	2	2	0,32	0,32	-
E.E. Centro	Sur	Térmica	Morona	Santiago	-	1	-
EPMAPS	Hidráulica	Pichincha	-	1	-	0,06	0,06
CNEL-EI Oro	Térmica	El Oro	Oro	4	-	0,49	-
CNEL-Esmeraldas	Térmica	Esmeraldas	1	-	1,10	-	-1,10
CNEL-Sucumbíos	Hidráulica	Sucumbíos	1	-	0,40	-	-0,40
CNEL-Sucumbíos	Térmica	Orellana	6	-	6,76	-	-6,76
CNEL-Sucumbíos	Térmica	Sucumbíos	5	-	26,69	-	-26,69
E.E. Centro	Sur	Hidráulica	Morona	Santiago	1	-	0,38
E.E. Galápagos	Térmica	Galápagos	4	-	9,86	-	-9,86
E.E. Quito	Hidráulica	Napo	1	-	0,10	-	-0,10
EolicSA	Eólica	Galápagos	1	-	2,40	-	-2,40
Petroproducción	Térmica	Orellana	2	-	10,80	-	-10,80
Petroproducción	Térmica	Sucumbíos	7	-	51,61	-	-51,61
Total	120	173	585,08	1.148,84	563,76		

Fuente: ARCONEL.

2.4. Energías Renovables en el Mundo

La concientización a nivel mundial es cada vez mayor sobre la importancia del uso de las energías renovables y el manejo de la eficiencia energética, esto beneficia al

problema actual sobre el cambio climático, a su vez fomenta nuevas oportunidades económicas proporcionando acceso a la energía para miles de millones de personas que aún no cuentan con este servicio.

Durante la década pasada, se han dado avances tecnológicos en el ámbito de energías renovables, incrementando la generación a escala mundial; los costos referidos a estas tecnologías necesarias para su implementación han disminuido gracias al apoyo brindado por las políticas económicas.

Las energías renovables cuentan con múltiples ventajas, también presentan ciertos desafíos importantes, una de las características más exigentes es la estabilidad incontrolable de la fuente. Es decir, no es posible garantizar las condiciones ambientales con anticipación y, en consecuencia, tampoco una cantidad de energía estable. Actualmente se está almacenando energía durante épocas de generación excesiva y reutilizando esta energía almacenada cuando la generación de potencia sea moderada o escasa. Otra alternativa es el uso de múltiples fuentes renovables de tal manera que la intensidad de las fuentes este desfasada en el tiempo.

La energía renovable se extendió sustancialmente en términos de capacidad instalada y energía producida. El crecimiento más rápido e incremento en la capacidad de energía eléctrica: eólica, solar fotovoltaica (FV) y energía hidráulica.

2.5. Entorno Mundial de las Energías Renovables

Las energías renovables se han convertido en uno de los recursos principales de energía, actualmente contribuyen a la diversificación de la mezcla de energía. Parte de esta nueva diversificación energética e la Iniciativa Energía Sostenible para Todos

(SE4ALL “Sustainable Energy for All”), la cual consiste en duplicar el nivel de uso de energía renovable, duplicar las mejoras mundiales en eficiencia energética, y proporcionar un acceso universal a la energía para el año 2030.

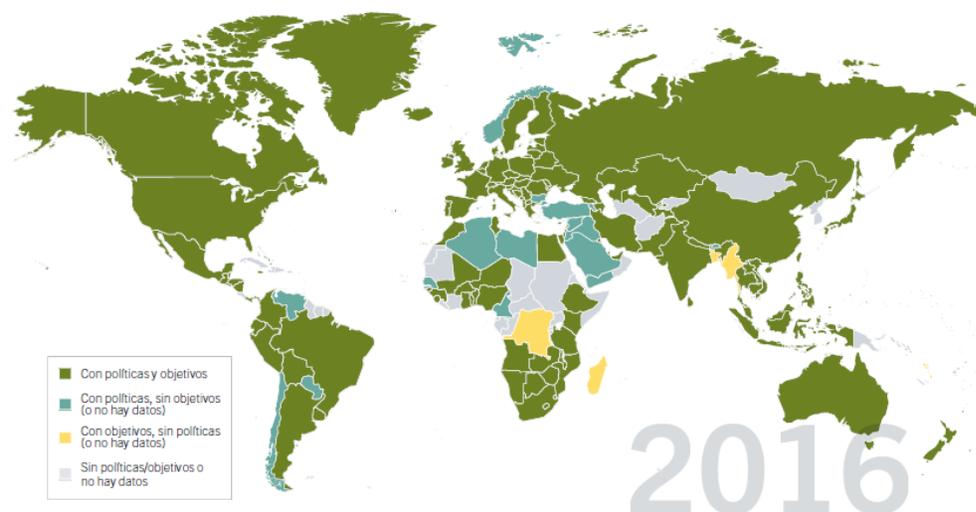


Figura 5. Eficiencia Energética 2016 Países con políticas y objetivos.

Fuente: Ren21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

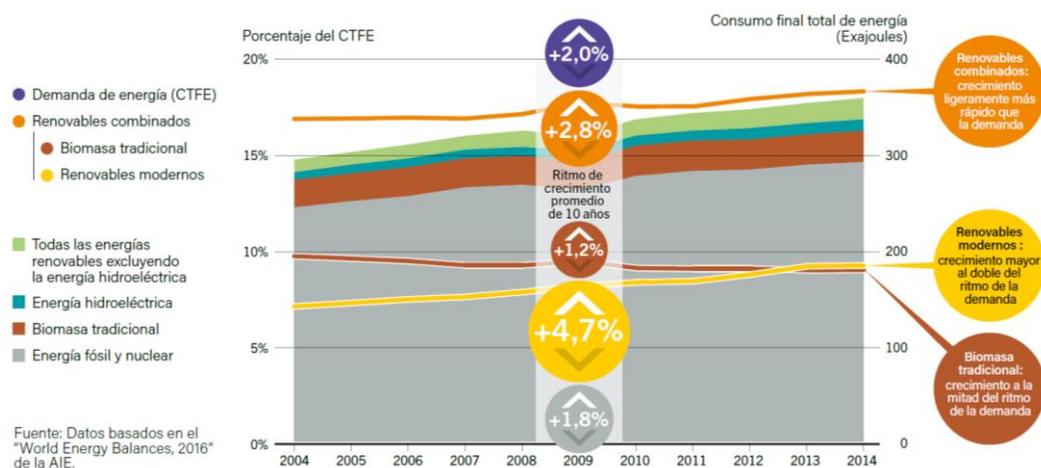


Figura 6. Balance Energético 2016. Porcentaje de energía renovable ⁸

Fuente: Ren21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

A nivel mundial las inversiones en nueva capacidad de energía renovable duplicaron a aquellas de combustibles fósiles; las inversiones en instalaciones nuevas de energía

renovable (sin incluir instalaciones de energía hidráulica mayores a 50[MW]) bajaron 23% en comparación al 2015, este bajón en las inversiones en comparación a las del 2016, fue en gran parte, gracias a la desaceleración de los mercados de China, Japón y de otras economías emergentes, particularmente India y Sudáfrica. China sigue siendo el responsable de contar con el nivel más alto de inversiones (32% de toda la financiación de energía renovable a nivel mundial, excepto los proyectos hidráulicos mayores a 50 [MW]).⁸

Sin embargo, tras alcanzar un nivel record de inversiones en 2015, las inversiones en 2016 se desviaron, destinándose parcialmente a mejoras en la red eléctrica y en el mercado energético, esto con el fin de hacer un uso más eficaz de los recursos renovables existentes. En enero de 2017, el gobierno de China anunció que hasta 2020 gastaría \$360 miles de millones de dólares, lo que refuerza su posición como el líder mundial en inversiones en energía renovable.⁸

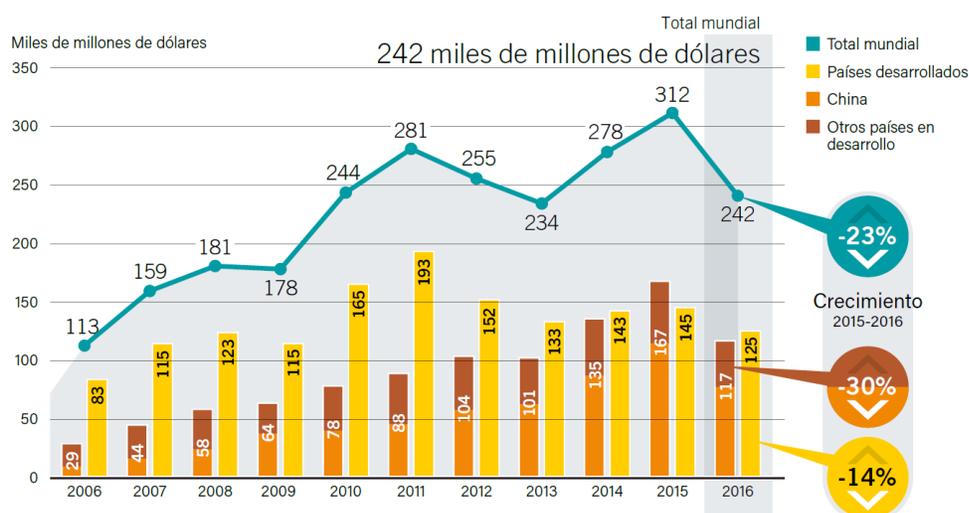


Figura 7. Nueva Inversión Mundial en Energía y Combustibles.⁸
Fuente: Ren21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

Los subsidios recurrentes a los combustibles fósiles (y a la energía nuclear) impiden un progreso general de las fuentes de energía renovable, a pesar de existir compromisos internacionales para eliminar estos subsidios de manera paulatina, hacia finales del 2016, 50 países realizaron ajustes a estos subsidios, no siendo suficiente estas medidas para equiparar costos que permitan una competencia de mercado verdadera. En el 2014, la proporción entre los combustibles fósiles y los subsidios a energías renovables fue de 4:1, es decir por cada dólar gastado en fuentes renovables, los gobiernos gastaron 4 dólares que ayudaron a perpetuar la dependencia a los combustibles fósiles. ⁸

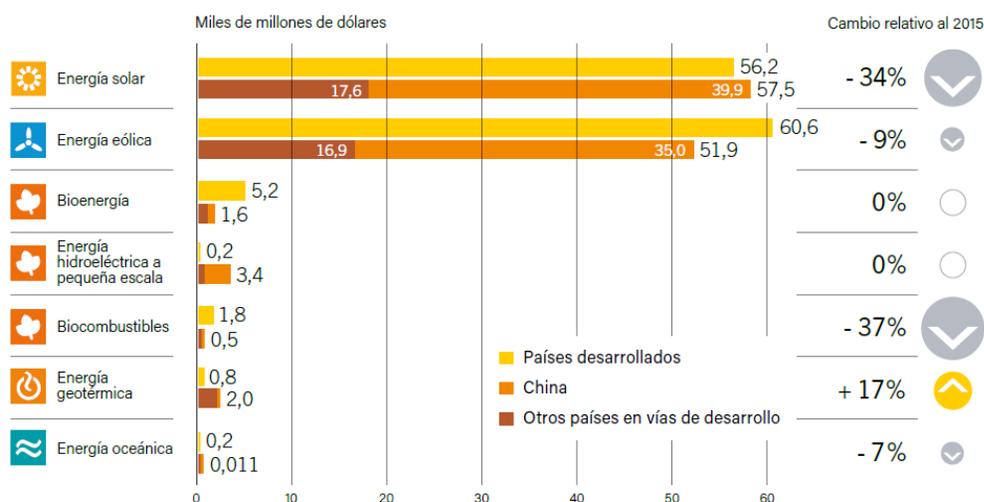


Figura 8. Flujos de Inversión. Nueva inversión mundial en energía renovable ⁸
Fuente: Ren21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

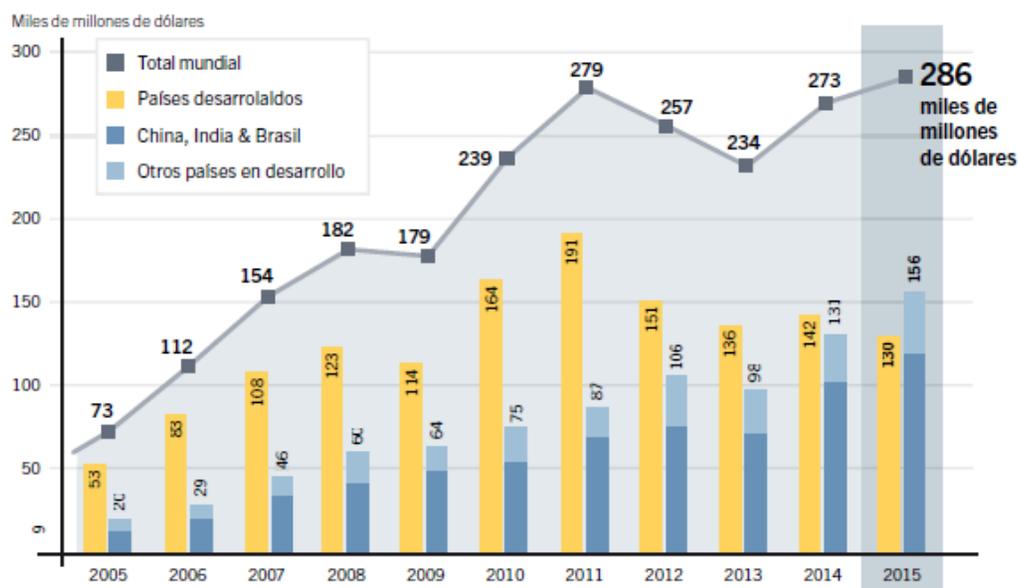


Figura 9. Nuevas inversiones mundiales en energías y combustibles renovables.⁹
Fuente: Ren21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

Para un mejor crecimiento e incremento en la producción de energía a y masificación de todo lo que concierne la tecnología de las fuentes renovables en cada una de sus tipos de tecnologías, existen ciertos criterios que debería considerarse fundamentales para su correcto desarrollo fortalecimiento y correcta explotación, se consideró las siguientes:

- Desarrollo de Políticas Estables y Previsibles que adapten a un Ambiente Cambiante
- Mostrar y comunicar la habilidad de las Energías Renovables para el Suministro Eléctrico a Gran Escala
- Crear un campo de juego nivelado para aumentar la Competitividad de Costos
- Involucrar a las Energías Renovables en los Sistemas de Energía
- Aumentar el apoyo al Sector de Climatización Renovables

- Mejorar el Acceso para el Financiamiento en países en Desarrollo
- Impulsar Decisiones adecuadas a partir de Información Correcta

2.6. Energías Renovables en el Ecuador

Históricamente en el país han dominado dos tipos de fuentes de energía, una la obtenida por medio del petróleo y la segunda la obtenida a través de las centrales hidroeléctricas. Las energías renovables o no convencionales por décadas jugaron un papel marginado en el país, adquiriendo cierto protagonismo en el 2007, cuando se inauguró el Parque Eólico de 2.4 [MW], en Galápagos.

Las energías renovables aportan actualmente alrededor del 6.4% de la oferta de energía total del país y representan el 0.6% de la potencia eléctrica construida en el país (biomasa, eólica y solar).

En la constitución de la República del Ecuador, en su Artículo 313 se establece: “El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar, y gestionar los sectores estratégicos... Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas... ”.

Artículo 15: “El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientales limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto...”.¹⁰

Artículo 413: “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”.¹⁰

En el Plan Nacional del Buen Vivir, en la Política 11.1 se establece: “Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable”.

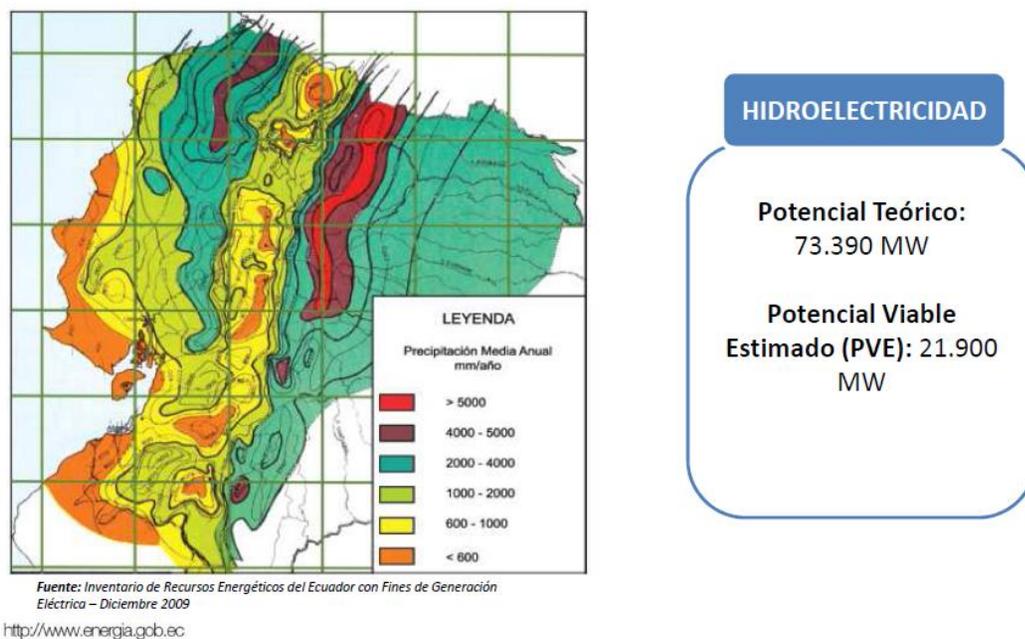


Figura 10. Mapa de Isoyetas del Ecuador, Mayo 2015.

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

La disponibilidad de Recursos Energéticos Renovables en el Ecuador: Debido a la inversión del 2006 en el sector energético se pasara del 46% de generación hidroeléctrica en el 2006, a más del 90% en el 2016.

El recurso eólico en el país es un campo que no ha sido explorado y que es poco conocido. En el Ecuador existen registros de dirección y vientos que se obtuvieron mayoritariamente a partir de mediciones de estaciones meteorológicas ubicadas en su mayoría en los aeropuertos del país. A más de estos registros, existen en el país sitios con potencial eólico en los cuales se han efectuado estudios puntuales y que han arrojado

resultados positivos, por ejemplo el Proyecto Salinas en la provincia de Imbabura con una potencia aproximada de 10 [MW], el Proyecto ejecutado Villonaco en Loja con una potencia de 15 [MW], Proyecto Huascachaca en el límite de las Provincias de Azuay y Loja con una potencia aproximada de 50 [MW], y el Proyecto ejecutado en San Cristobal en Galápagos con una potencia estimada de 2.4 [MW].

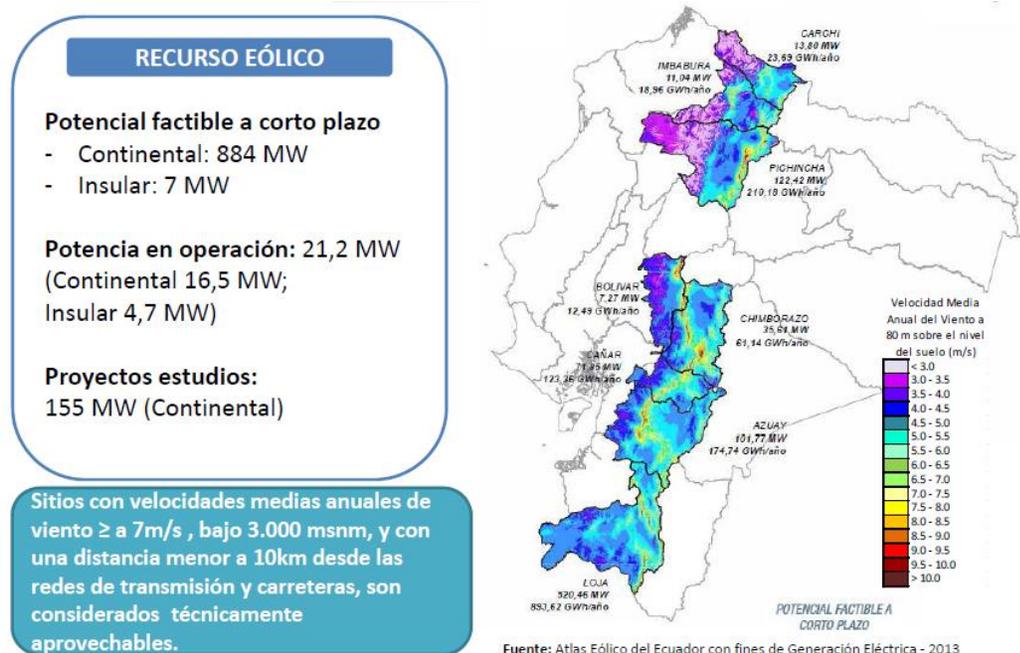


Figura 11. Atlas Eólico del Ecuador con fines de Generación Eléctrica.¹²

Fuente: ARCONEL

La ubicación geográfica del Ecuador, le da una ventaja privilegiada en lo que se refiere al Recurso Solar. Esto se debe básicamente al ángulo de incidencia de los rayos solares, son perpendiculares a nuestra superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros países en el planeta. Esta ventaja posicional del Ecuador, se traduce en una mayor recepción y constante cantidad de radiación solar, la única variación que existe sobre este recurso, es por condiciones climatológicas locales y que varían de acuerdo a

la lejanía o cercanía del sol. Desde el 2008, Ecuador cuenta con un Atlas de Radiación Solar, en el mismo se puede encontrar datos geográficos sobre radiación global, difusa y directa en el Ecuador Continental.

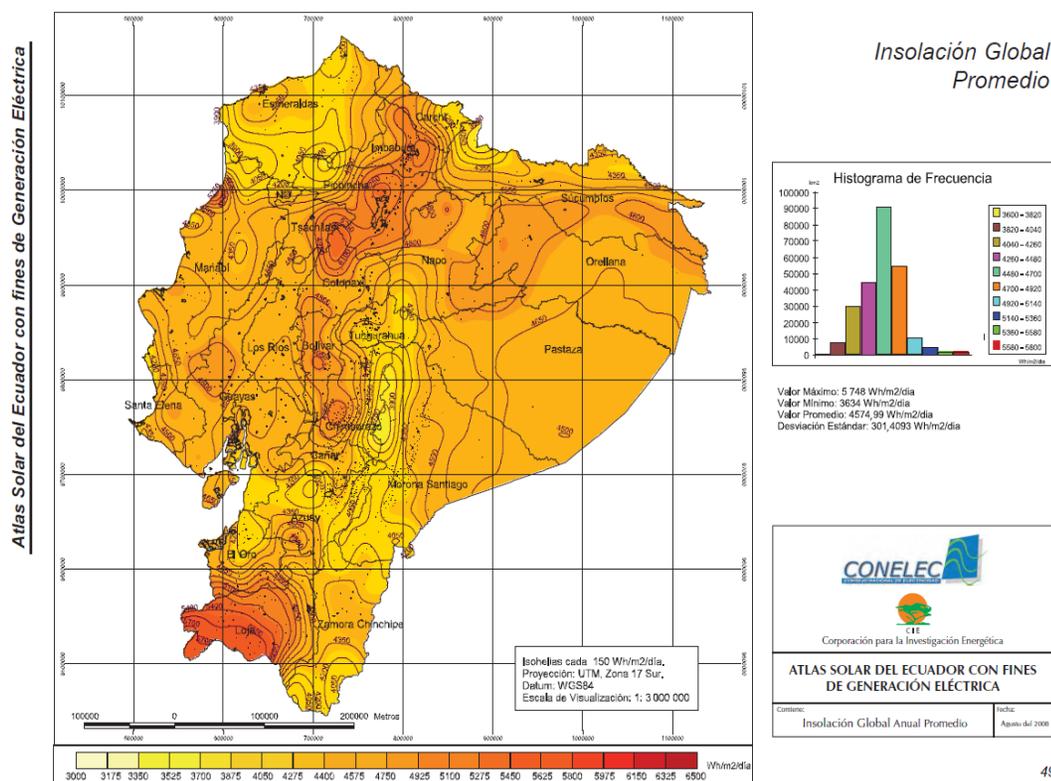


Figura 12. Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica.
Fuente: ARCONEL

Los mapas tanto para el potencial eólico y el solar que actualmente cuenta el Ecuador, fueron estudios realizados a nivel del Ecuador Continental, debido a esto el Archipiélago de Galápagos no consta en el Atlas Solar ni el Mapa de Vientos del Ecuador.

2.7. Recursos Renovables en Ecuador

Información Solar

El Ecuador, por estar ubicado sobre la línea ecuatorial tiene un gran potencial solar. Los datos de radiación solar en el Ecuador presentan homogeneidad de los valores a lo

largo del año, así por ejemplo, en el observatorio del Coca en la Amazonía, los valores diarios¹ oscilan entre 3,35 [kWh/m²] y 4,33 [kWh/m²] a lo largo del año.

Los valores más altos de insolación se dan al sur en la provincia de Loja, y al norte, en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, parte de Cotopaxi y Santo Domingo de los Tsáchilas.

Información Eólica

La energía eólica es una de las fuentes renovables con mayor crecimiento en el mundo. El MEER publicó el Atlas Eólico del Ecuador, en donde se diferencian las zonas donde existen mayores condiciones para la implantación de aerogeneradores con fines de producción de energía eléctrica, las cuales se encuentran principalmente en las partes más altas de los Andes, en emplazamientos donde se producen las mayores corrientes de aire y cerca de la costa.

Información Hidrológica

La alta pluviosidad existente en el país ha desarrollado una gran cantidad de cuencas de drenaje, que poseen un alto potencial técnico y económicamente factible del recurso hídrico para aprovechamiento hidroeléctrico.

La Secretaría Nacional del Agua del Ecuador-SENAGUA y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -UICN, suscribieron un Convenio de Cooperación Interinstitucional, el mismo que ha permitido que en el periodo de enero a mayo de 2009 se elabore el Mapa de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador.

2.8. Generalidades de la Energía Eólica

La energía eólica es una de las formas de energía más antiguas usadas por la humanidad, esta energía es una transformación de energía solar sobre la tierra, en promedio el Sol irradia por hora una energía de 174.423.000.000.000 [KWh] a la Tierra.

En la atmósfera el aire caliente es mucho más ligero que el aire frío, a causa de esto, el aire caliente se eleva hasta una altura de aproximada de 10 [Km], para posteriormente orientarse dirección norte y sur. De esta manera, las corrientes de aire frío se desplazan por debajo de las corrientes de aire caliente.

Debido a la diferencia de velocidad en el cambio de temperatura del aire en zonas de agua y zonas de continente, se establecen diferencias de presión, que influyen en la formación de corrientes de aire.

Aproximadamente el 1% o el 2% de la energía que recibimos del Sol se transforman en energía eólica. Un estudio americano mostró que esta energía sería suficiente para cubrir la demanda energética del planeta. La energía eólica ha presentado un crecimiento considerable y se han convertido en un icono de las energías renovables en demostración que esta alternativa de fuentes de energías pueden transformar los modelos energéticos tradicionales.¹⁴

SISTEMAS EOLICOS: Es un grupo de elementos desarrollados para el aprovechamiento del recurso eólico, con la finalidad de transformar su energía, en energía mecánica y energía eléctrica. Se compone de los siguientes elementos como mínimo:

- a) Aerogenerador

b) Sistema de Control y

c) Puesta a Tierra.

AEROGENERADOR: Elemento compuesto por un soporte o torre y el elemento de captación de energía eólica, cuyo tamaño está directamente relacionado con la necesidad de consumo.

SISTEMA DE CONTROL: Sistema que mide la dirección y velocidad del viento, dirige el mecanismo de orientación del aerogenerador y controla la potencia entregada.

PUESTA A TIERRA: Sistema que permite la desviación de las sobrecargas o sobretensiones eléctricas que puedan ocasionar daños al equipo.

En el 2016 se sumaron casi 55 [GW] de energía eólica en el mercado mundial, incrementado cerca del 12% de la capacidad instalada en cerca de 487 [GW]. La energía eólica es la opción menos costosa para capacidades nuevas de generación de energía.

La energía eólica funciona bajo el principio físico de la ecuación de flujo de Bernoulli, es la conservación de la masa de un flujo (aire) a través de dos secciones transversales de áreas diferentes A_1 y A_2 .

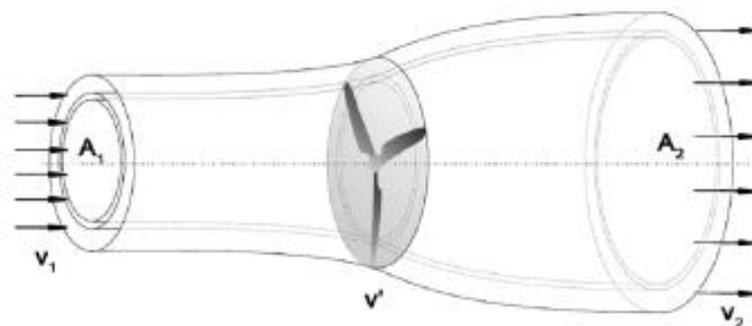


Figura 13. Flujo de aire a través de las aspas de un aerogenerador.

Fuente: Revista Brasileña

La energía mecánica extraída de la corriente de aire corresponde a la diferencia de potencia de flujo de aire antes y después del convertidor.

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \quad (1)$$

Donde:

P_o = potencia disponible en el viento [Watts]

ρ = densidad del aire [kg/m^3]

A = área de barrido de las aspas [m^2]

C_p = coeficiente de eficiencia, rango es **$0 \leq C_p \leq 0.59$**

Como podemos observar en la ecuación (1), la potencia que se puede extraer del viento es directamente proporcional a:

- La densidad del aire
- El área de barrido
- La velocidad del viento al cubo
- Las partes básicas de una turbina eólica consiste en: Las Aspas
- Eje mecánico de baja velocidad
- Eje mecánico de alta velocidad
- Generador eléctrico

Principio de funcionamiento:

1. El viento permite que las aspas giren a una determinada velocidad angular.
2. El rotor del aerogenerador gira a una velocidad baja, esto está relacionado a una potencia mecánica que es directamente proporcional a la velocidad de giro de las aspas.

3. La velocidad angular se multiplica por medio de engranajes multiplicadores. Las velocidades que se obtienen en este punto, están en el orden de 1500 a 3000 RPM.
4. La potencia mecánica se transforma en potencia eléctrica, a través de un generador eléctrico.
5. Como sistema de emergencia se tiene un freno mecánico, su función es detener la velocidad de rotación de los ejes de baja y alta velocidad, de ser necesario.
6. La gran mayoría de aerogeneradores tienen otros elementos tales como:
 - Sensores de posición, temperatura, velocidad de giro, etc.
 - Veleta
 - Anemómetro
 - Procesador digital de señales que sirvan para monitorear y controlar los procesos.

Una medida útil de la eficiencia mecánica de un aerogenerador es la “razón de velocidad” (Tip-Speed Ratio).

$$\lambda = \frac{w.R}{V} \quad (2)$$

Donde:

λ = Razón velocidad – punta (adimensional)

W= Velocidad angular del eje de baja velocidad [rad/seg]

R= Radio del área de barrido [m]

V= Velocidad del viento [m/s]

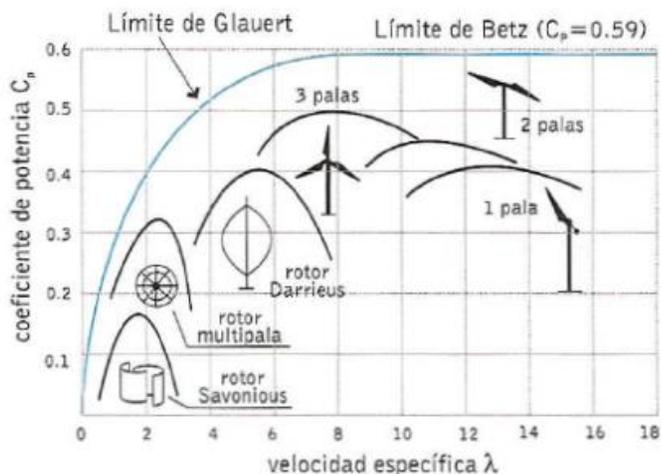


Figura 14. Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica
 Fuente: Análisis Simplificado de la Respuesta Estructural de una Pala de Aerogenerador, 2009

2.9. Energía Eólica

La Energía Eólica, se tornó en el mayor recurso para la nueva capacidad de energía renovable y el candidato más fuerte para satisfacer la demanda de electricidad. Casi 55 [GW] de capacidad de Energía Eólica fueron incrementados en el 2016, incrementando la instalación total en un 14%, llegando a una producción mundial estimada de 487 [GW]. Para finales del 2016, cerca de 90 países vieron factible el comercio de energía a través de la Energía Eólica. El año 2016 fue bueno para las fábricas de turbinas eólicas, se continuó innovando en la tecnología de las mismas, siempre orientándose a bajar los costos de las turbinas.

La energía eólica está desempeñando un papel importante al satisfacer la demanda de electricidad en un número creciente de países, incluyendo Alemania (más del 75% en cuatro estados), Dinamarca (56% de la demanda en 2015), y Uruguay (20,5%). Una vez más, la industria eólica tuvo un año fuerte, y la mayoría de los principales fabricantes de turbinas rompieron sus propios registros anuales de instalación. Para satisfacer la

creciente demanda, en todo el mundo se abrieron nuevas fábricas o se iniciaron labores de construcción. Los desafíos actuales incluyen la falta de infraestructura de transmisión y la restricción de suministro en la generación de energía eólica (en particular en China).¹⁷

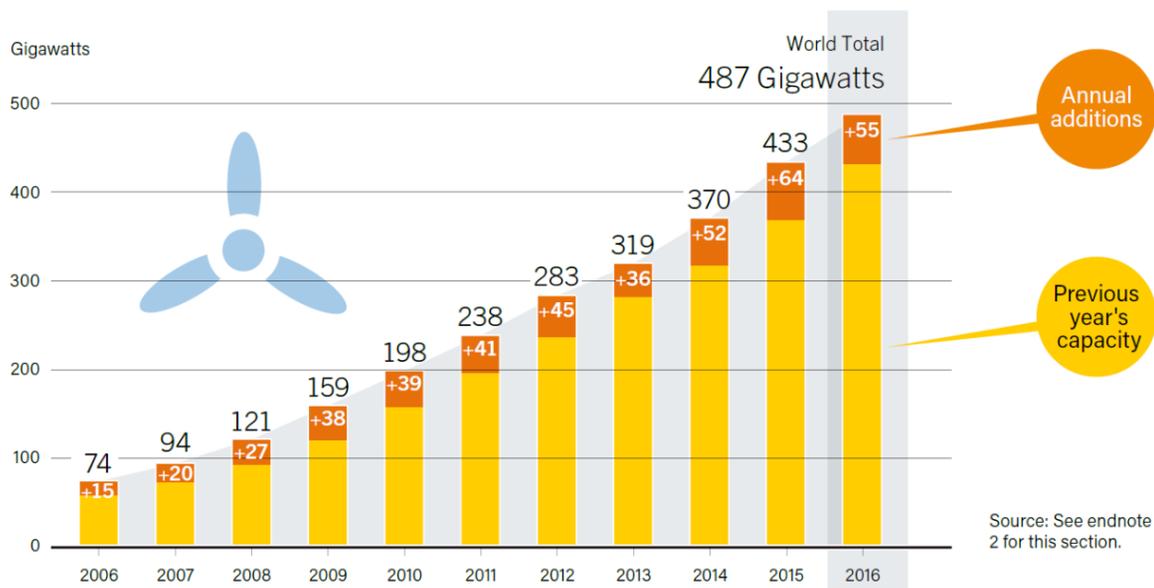


Figura 15. Capacidad y adicionales anuales mundiales de Energía Eólica.
Fuente: REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

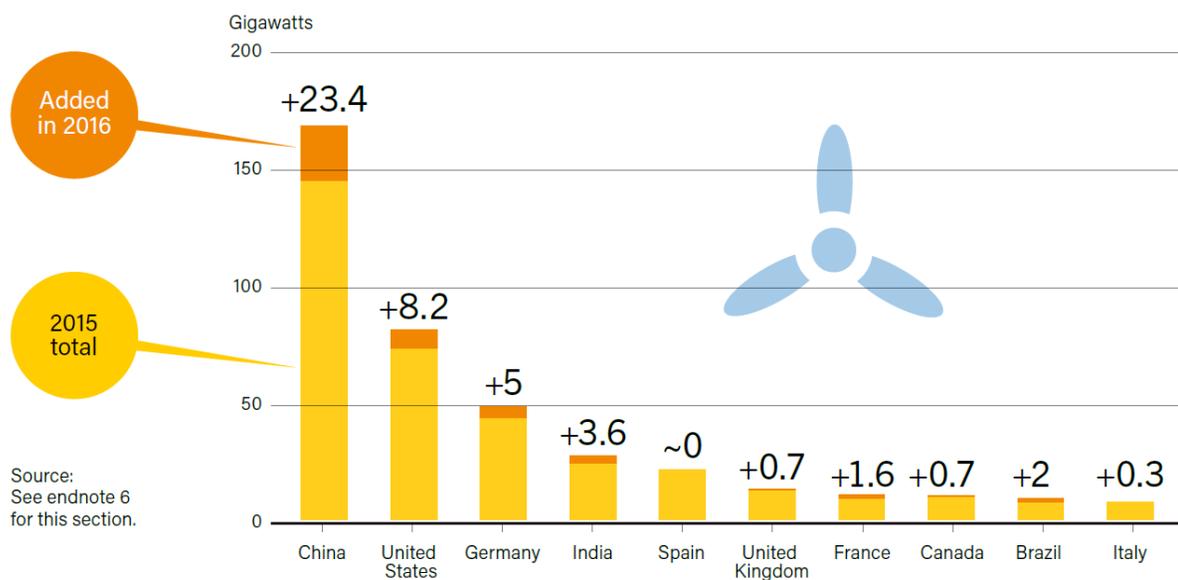


Figura 16. Capacidad y adicionales anuales, de los países Top 10 de Energía Eólica.
Fuente: REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

2.10. Generalidades de la Energía Solar

El sol es la mayor fuente de energía de nuestro sistema solar. En el interior de este astro, consta un enorme reactor nuclear en el cual el hidrogeno se funde con el helio a 15 Millones de grados, generando así energía. Las temperaturas en la superficie del sol bordean los 5700 [°C], parte de esta radiación llega la planeta tierra pudiendo transformarse en energía a través de plantas de energía solar.

El aprovechamiento de la energía solar, como fuente de energía útil tiene dos objetivos:

- Ahorro de energías no renovables
- Amortiguar el impacto ambiental generado por las energías no renovables

Para aprovechar esta fuente de energía, se debe considerar características importantes, como:

- a) Horas del sol para una situación geográfica determinada
- b) Trayectoria aparente del sol respecto a un punto situado sobre la superficie de la Tierra
- c) Cantidad de energía recibida por metro cuadrado y unidad de tiempo
- d) Energía recibida a lo largo de un día, mes o año

Existen sistemas solares térmicos y sistemas fotovoltaicos, los dos sistemas son técnicamente independientes, tales como:

- CSP (Concentrated Solar Power / Electricidad Solar de Concentracion)
- PV (Photovoltaic / Fotovoltaica)

- CPV (Concentrated Photovoltaics / Energía Solar Fotovoltaica de Concentración)

La energía solar fotovoltaica tiene un rol importante en la generación de electricidad, esto se debe a la disminución de los costos ha hecho que la electricidad no subsidiada y generada a partir de energía solar fotovoltaica, pueda competir con los costos de los combustibles fósiles en cada vez más partes del mundo. Esta tecnología registro un record en su crecimiento anual, con un estimado de 75 [GW] instalados, lo que da una capacidad mundial total cercana a 303 [GW] a finales del 2016.

La energía solar fotovoltaica funciona bajo el principio del efecto fotoeléctrico el cual, al hacer incidir luz visible en un material semiconductor, se genera una absorción de fotones y desplazamiento de electrones en el material, dando lugar a la generación de diferencia de potencial eléctrico en los extremos del mismo.

De manera individual el panel solar está construido a partir de pequeñas celdas que generan un potencial eléctrico individual entre los 0.6 y 0.7 [voltios]. Depende el fabricante de la celda solar, se ubican las pequeñas celdas en forma paralelo o serie, para obtener mayores voltajes y corrientes. Este voltaje y corriente producidos por el panel solar, son directamente proporcionales a su área de captación y a la irradiancia incidente sobre el mismo.

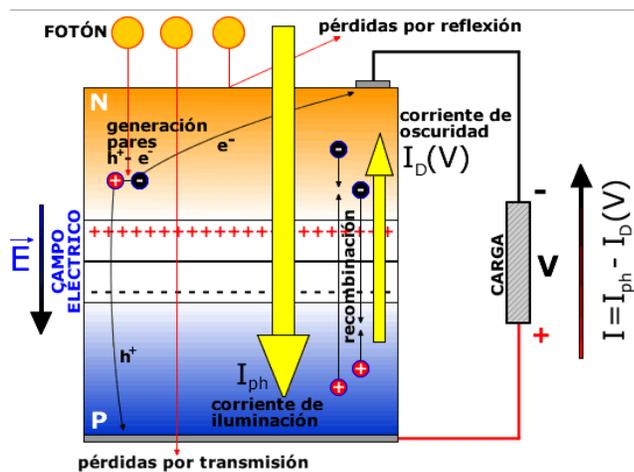


Figura 17. Principio de funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.
Fuente: WEB CURSOLAR

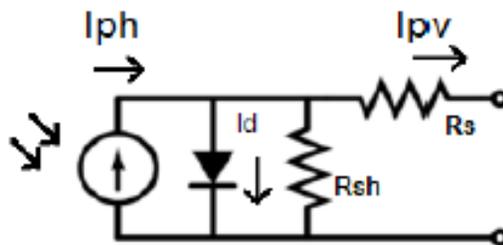


Figura 18. Circuito electrónico representativo de una celda solar.
Fuente: Revista Académica de Investigación

Resolviendo el circuito mostrado en la Figura 18, mediante las leyes de Kirchhoff se obtiene:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \cdot [1 + K \cdot (T_{cell} - T_{ref})] \quad (3)$$

$$I_{ph} = I_{kv} \cdot \left(\frac{I_{rr}}{1000}\right) \cdot [1 + K \cdot (T_{cell} - T_{ref})] \quad (4)$$

I_{sc} = corriente en corto circuito de la fotocelda [A]

I_{rr} = Irradiancia [W/m^2]

A, q, T, k= parámetros del diodo Shockley

T_{cell} = temperatura de la celda [$^{\circ}C$]

T_{ref} = temperatura ambiente [25°C]

K = coeficiente térmico dado por el fabricante

R_{sh} , R_{se} = pérdidas óhmicas del material

Resolviendo las ecuaciones (3) y (4), usando software numérico como MATLAB, se pueden obtener las curvas características de una celda solar, en la misma se aprecia la corriente eléctrica generada en cada celda solar es directamente proporcional a la irradiancia.

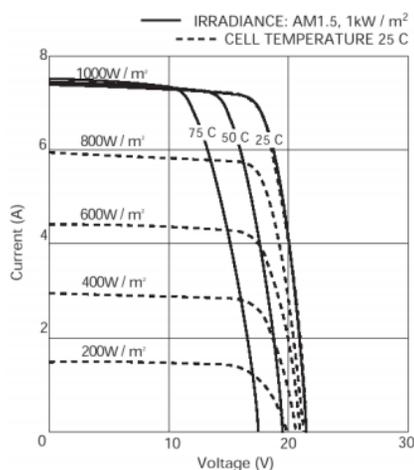


Figura 19. Curvas de un panel fotovoltaico vs la irradiación y temperatura.
Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

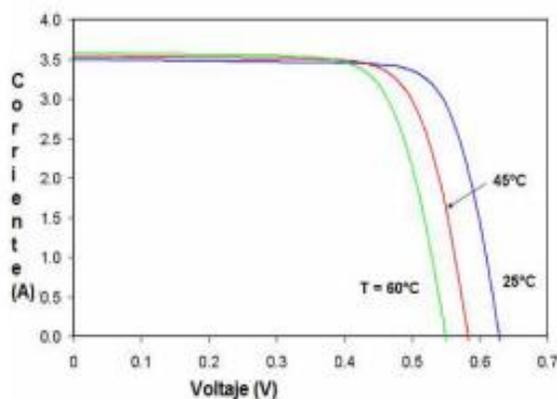


Figura 20. Curvas típicas de una celda solar vs la temperatura.²⁰
Fuente: Revista Académica de Investigación

En la figura 19 y 20 se puede notar las variaciones de corriente eléctrica respecto a la irradiancia son mayores que las variaciones del voltaje de la celda respecto a su temperatura. Existen parámetros importantes que los fabricantes proporcionan respecto a los paneles solares, siendo estos:

a) Potencia máxima (P_m): Es la potencia eléctrica máxima que entrega el panel al encontrarse en su punto de máxima eficiencia.

b) Corriente de máxima eficiencia (I_m) y Voltaje de máxima eficiencia (V_m): Son aquellos parámetros que entrega el panel solar al encontrarse en su punto de máxima eficiencia.

c) Corriente de corto circuito (I_{sc}): Es la corriente que entrega el panel al ponerse sus terminales en corto circuito. Equivale a hacer $V=0$ en la expresión

d) Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): Voltaje medido entre las terminales abiertas del panel.

e) Coeficiente de temperaturas para voltaje y corriente.

f) Tipo de material: Silicio mono o policristalino.

2.11. Energía Solar

La Energía Solar Fotovoltaica (FV), presentó en el año 2017 un despliegue récord mostrando una rápida expansión a mercados nuevos. El mercado de la energía solar FV se incrementó un 75% respecto al 2016, aumentando el total mundial a 303 [GW]. La capacidad mundial de energía solar FV en el mercado anual del 2017 fue 10 veces mayor a la de hace una década. China, Japón y Estados Unidos reportaron la mayor parte en la

capacidad añadida; sin embargo, los mercados emergentes en todos los continentes contribuyeron de manera significativa al crecimiento mundial, impulsados en gran medida por el aumento de la competitividad de los costos de energía solar FV.¹⁷

A fines de 2017, aproximadamente unos 30 países tenían suficiente capacidad para cumplir con más del 1% de la demanda en electricidad local; en algunos países se presentaron cuotas más altas (Italia 7,8%, Grecia 6,5% y Alemania 6,4%). China alcanzó el 100% de electrificación, en parte gracias a la energía solar (FV) instalada fuera de la red convencional; sin embargo, para la energía conectada a la red, la limitación de la generación solar empezó a convertirse en un grave desafío para el sector de la energía solar FV de China.¹⁷

La última década fortaleció esta industria debido a la aparición de nuevos mercados y a la fuerte demanda mundial. La distribución de techos de energía solar FV continuó encareciéndose más que los proyectos de gran escala, sin embargo, los primeros han seguido trayectorias similares a los últimos en cuestiones de precios, e incluso en varios lugares se muestran competitivos con los precios de venta al por menor.

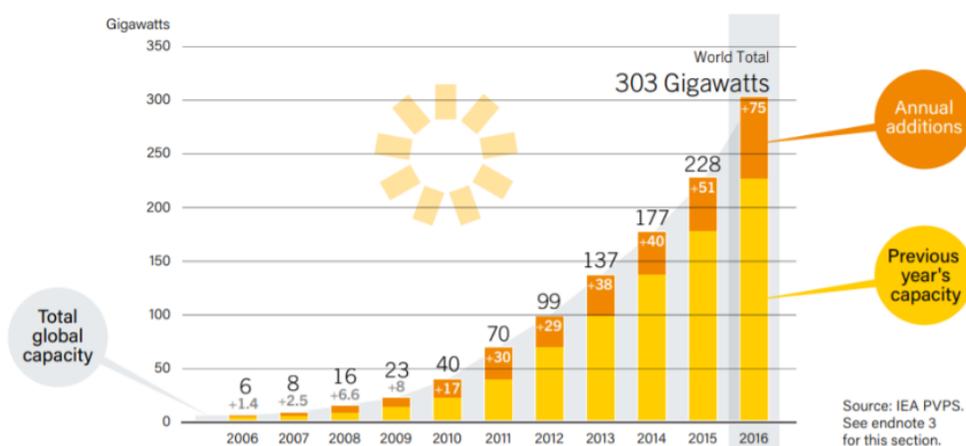


Figura 21. Capacidad y adicionales anuales de energía Solar 2006-2016.
Fuente: REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

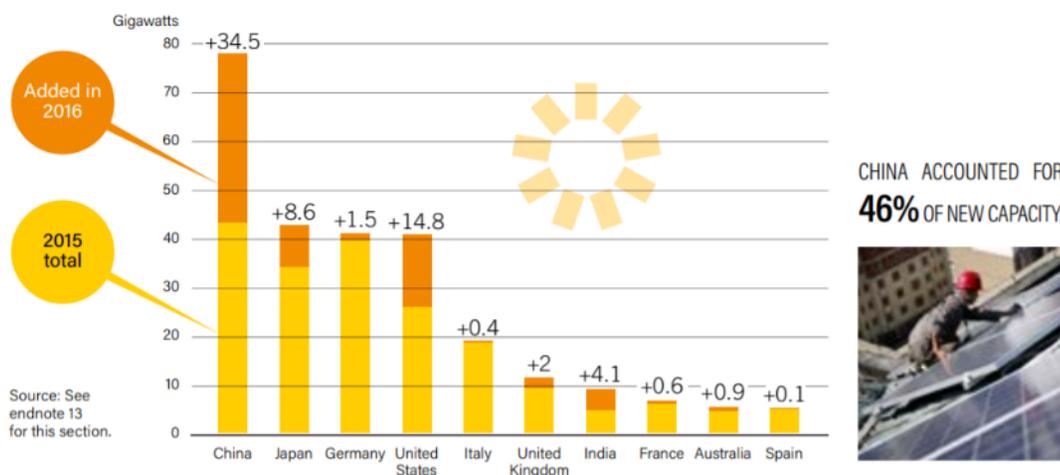


Figura 22. Capacidad y adicionales de energía Solar FV, diez países líderes.
Fuente: REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

2.12. Sistemas Híbridos de Energía

Un gran porcentaje de personas alrededor del mundo; particularmente en países en vías de desarrollo, están viviendo en lugares alejados, descentralizados, zonas rurales y remotas, son zonas geográficamente aisladas de los principales centros de conexión. Estas zonas están alejadas de los centros de distribución y de transmisión de la red principal. Esta tendencia del ser humano en habitar en lugares remotos, genera realizar un gran cambio sobre el concepto de utilización de energía, dando paso a la propuesta de la aplicación y el uso de energías renovables.

Los sistemas híbridos toman su nombre de “HIBRIDOS” porque son capaces de generar energía eléctrica a partir de un sistema compuesto por dos o más fuentes de energía renovable y/o no renovable de manera simultánea. Los Sistemas de Energía Híbridos son una solución viable para zonas remotas donde existe demanda de energía,

por otro lado este tipo de sistemas son una solución ideal para la reducción de costos ideal adaptándose a la necesidad del usuario final. De sus siglas en inglés:

Hybrid Renewable Systems HRES

Energy Storm System ESS

Renewable Energy Power System REPS

Hybrid Energy Stormage System HESS

Existen diferentes estructuras de REPS, con una variedad de tecnologías de almacenamiento de energía como son:

- a) Independientes con HESS
- b) Pasivo, semiactivo,
- c) Activo HESS

Para este tipo de sistemas, es necesario encontrar la fuente de energía para cumplir con la demanda de energía, tales restricciones de oferta y demanda. Por lo tanto, buscar una nueva fuente de energía renovable es cada vez más atractivo.

Del mismo modo, los sistemas de energía híbrida se han diseñado para generar electricidad a partir de diferentes fuentes, como paneles solares y turbinas eólicas, y ahora aprovechar las fuentes como el hidrógeno que se almacena de una manera diferente y de pie como una clase de energía renovable. Por lo tanto, la demanda de su producción es más eficiente y rentable.

Sin embargo, una de las mayores caídas de la energía renovable es el suministro de energía no es constante; fuentes como la energía solar y eólica fluctúan en intensidad debido a la clima y cambios estacionales Por lo tanto, es necesario un sistema de

respaldo confiable para estaciones generadoras de energía renovable que no están conectadas a un Sistema Nacional Interconectado.

La combinación de REPS con diferentes principios de conversión de energía eléctrica crea una fuente híbrida uniforme que puede suministrar sistemas de voltaje aislados; al mismo tiempo, la combinación mencionada de operaciones de fuentes individuales significativamente aumenta y estabiliza el intervalo de suministro de electricidad. Los sistemas de energía híbridos también se pueden usar para alimentar alumbrado público, túneles, estaciones meteorológicas, bombas usadas para bombear agua.

2.13. Instalaciones Eléctricas (Isla de Baltra y Santa Cruz)

La Empresa Eléctrica Provincial de Galápagos S.A, fue constituida el 9 de noviembre de 1998, que reemplazo a los sistemas aislados administrados por INECEL. Es la empresa pionera en implementar la generación con energía renovable, reduciendo de esta manera la generación de energía mediante generación térmica.

ELECGALAPAGOS S. A., es la encargada de generar, transmitir, distribuir y comercializar la electricidad en Galápagos. Cuenta con 4 centrales de generación térmica, 2 centrales eólicas en la Islas de Baltra y Floreana y un sistema de almacenamiento de baterías en Baltra.

El área de prestación de servicio de la Empresa Eléctrica Provincial Galápagos S.A. es de 8.233,11 [km²] que corresponde a la superficie total de la provincia de Galápagos. En la actualidad ELECGALÁPAGOS S.A cuenta con 10.788 usuarios.

La energía eléctrica en el Archipiélago de Galápagos, anteriormente se realizaba únicamente mediante generación térmica, para esto se usaba Diésel importado desde el

Continente Ecuatoriano, requiriendo entregas frecuentes dadas la poca capacidad de almacenamiento de las Islas. Las numerosas entregas de por vía marítima son un peligro potencial para las Islas Galápagos, en la noche del 13 de enero de 2001 el Buque Jessica encallo en la Bahía de Naufragio, en la entrada al puerto de Puerto Baquerizo Moreno, capital de la Provincia de Galápagos. Este barco transportaba 600 toneladas (160.000 galones) de petróleo diésel y 300 toneladas (80.000 galones) de aceite combustible intermedio. El diésel estaba destinado a la estación de despacho de combustible en la Isla de Baltra. El impacto a la flora y fauna marina hacia el archipiélago fue increíble.



Figura 23. Accident of the Oil Tanker “Jessica” off the Galapagos Islands.
Fuente: Final Report to European Commission

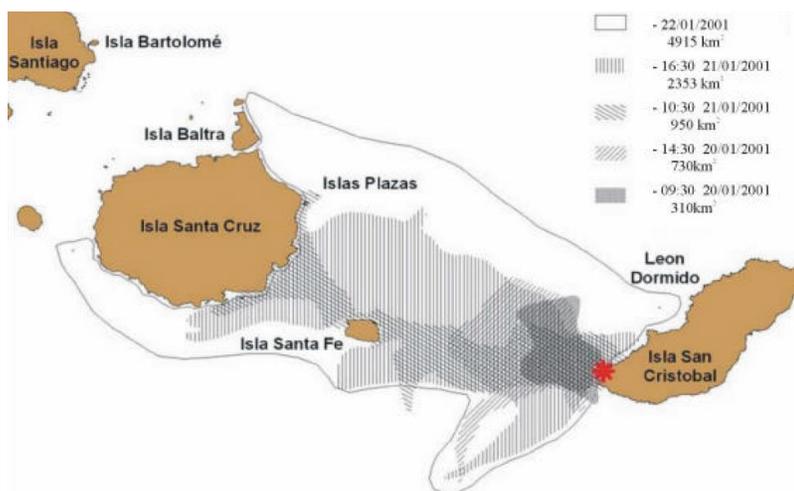


Figura 24. Spread of oil following the grounding of the “Jessica”.
Fuente: Final Report to European Commission

Actualmente la presencia humana en Galápagos ocasiona un incremento en la demanda energética. En la Isla de Baltra:

- Instalaciones de la Fuerza Área Ecuatoriana
- Instalaciones de la Armada del Ecuador
- Instalaciones de Petroecuador
- Instalaciones de DGAC
- Instalaciones del Nuevo Aeropuerto

El Gobierno de Ecuador ha formado lazos estratégicos con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), quienes impulsan el programa de Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, cuyo objetivo es reducir los riesgos al transportar y manejo de combustibles fósiles, las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la generación de electricidad mediante combustibles fósiles en el Archipiélago de Galápagos. Actualmente existe un plan estatal de Cero

Combustibles Fósiles para Galápagos, implica el uso de tecnologías de energías renovables dentro del Archipiélago.

La iniciativa del Gobierno Nacional de Cero Combustibles Fósiles para Galápagos consiste mejorar la eficiencia energética dentro del Archipiélago, para esto se impulsa la Movilidad Eléctrica, la cual implica realizar cambios en el transporte terrestre, con la introducción de tecnologías amigables con el medio ambiente. Este tipo de medidas tiene éxito cuando la matriz de generación de energía eléctrica cuenta con un aporte importante de fuentes renovables; actualmente este escenario no es el de Galápagos. Actualmente la participación de Generación Térmica provincial es del 84.24% (2015) y el aporte de fuentes renovables fue de apenas 15.76%.

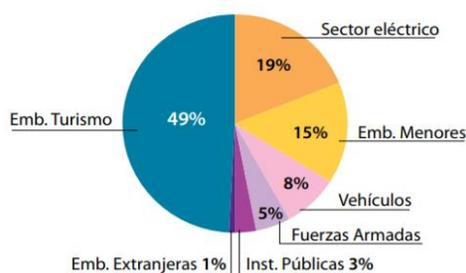


Figura 25. Consumo de Combustibles para Galápagos. Petrocomercial 2015.
Fuente: ELECGALAPAGOS

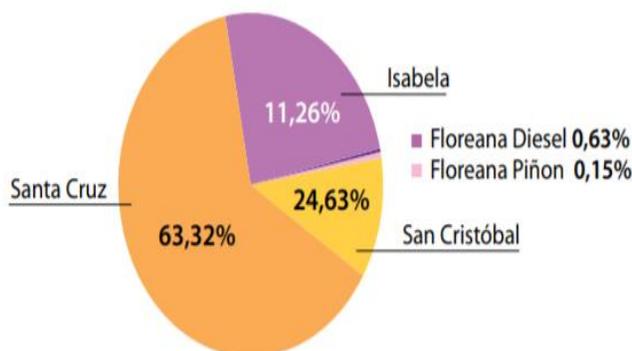


Figura 26. Consumo de Combustibles para Generación de Energía Eléctrica.
Fuente: ELECGALAPAGOS

En la actualidad se han invertido un total de 35.5 millones de dólares en diferentes programas de energías renovables, en el archipiélago de Galápagos, como se indica en el siguiente cuadro.

Tabla 5

Fondos Asignados en Proyectos Renovables para Galápagos.

COMPONENTE	TECNOLOGIA	FUENTE DE FONDOS	INVERSION [US\$]
San Cristóbal	Energía Eólica, 2.4 [MW]	E8, UNDP, GOE	9.841.167,00
Isabela	Fotovoltaica, 700 [kWp]	KFW (Banco Alemán de Desarrollo)	9.400.000,00
Continúa en la Siguiente Página.			
Santa Cruz	Fotovoltaica, 120 [kWp]	KFW (Banco Alemán de Desarrollo)	3.000.000,00
Santa Cruz – Baltra	Energía Eólica, 3.2 [MW]	UNDP, GOE	12.000.000,00
Floreana	Fotovoltaica, 22.5 [kWp]; Energía Eólica, 400 [W]	Agencia Española para el Desarrollo	749.128,00
TOTAL [USD\$]			35.550.295,00

Fuente: ERGAL

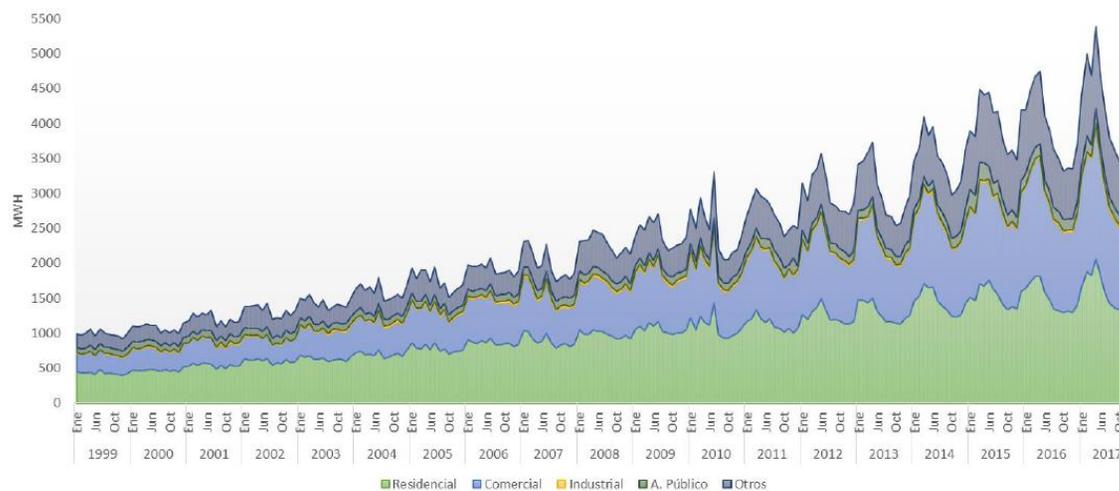


Figura 27. Demanda de energía en Galápagos (enero 1999 – diciembre 2017).

Fuente: ELECGALAPAGOS

El 10 de abril de 2007, el Gobierno del Ecuador, declaró en riesgo y prioridad nacional la conservación y el manejo ambiental del ecosistema del Archipiélago de Galápagos, promulgando el Decreto Ejecutivo No. 270. El Ecuador, en su Constitución Política promueve la eficiencia energética, el desarrollo y el uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como el uso de energías renovables, en pro del cambio de la matriz energética del país, la mitigación del cambio climático y la disminución de riesgos para la biodiversidad.

Como parte de este compromiso, a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), se promovió la Iniciativa "Cero Combustibles Fósiles en Galápagos" cuyo objetivo es la reducción paulatina de combustibles en el Archipiélago. Para ello, el MEER con el apoyo de la cooperación internacional, planificó el desarrollo y ejecución de distintos proyectos de energía renovable para la generación de electricidad en el Archipiélago, que permitan el cambio de la matriz energética, la reducción del consumo de combustible y la emisión de gases de efecto invernadero.

En este contexto, el MEER con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), Fundación de las Naciones Unidas (UNF), ejecutó el proyecto Parque Eólico Baltra - Santa Cruz de 2,25 [MW], que se encuentra en operación desde noviembre del 2014 y contribuirá a la disminución de aproximadamente el 23% del combustible fósil utilizado en estas islas.

Para evaluar la energía de esta gran obra, se construyó el sistema de interconexión Baltra – Santa Cruz, que comprende una línea de transmisión de 34,5 [kV] con una longitud de 50 [km], combinando dentro de sus características constructivas

convencionales, la instalación de un tramo de cable submarino en el trayecto del Canal de Itabaca, constituyendo una de las primeras experiencias ecuatorianas en esta técnica.

En el archipiélago de Galápagos se encuentran en operación las siguientes centrales de generación:

- Eólico San Cristóbal 2,4 [MW] (octubre 2007)
- Sistema Híbrido Floreana 159 [kW] (febrero 2011)
- Fotovoltaico Puerto Ayora 1,5 [MWp] (agosto 2014)
- Eólico Baltra 2,25 [MW] (noviembre 2014)
- Fotovoltaico isla Baltra 67 [kWp] (marzo 2016).

Acogiendo la iniciativa del Gobierno Nacional de Cero Combustibles Fósiles para Galápagos el plan Debido al incremento de la demanda en la Isla de Santa Cruz, se implementó generación.

2.14. Sistema de Generación en Santa Cruz

Generación Convencional, la Planta de Puerto Ayora consiste en 9 generadores Diésel (Identificados como G1, G2,..., G9). Estos generadores están subdivididos en dos grupos conectados a sendas barras terminales.

El primer grupo está integrado por los generadores G1 a G7, y el segundo G8 y G9. Estos dos grupos de generadores se conectan a la barra de 13.8 [kV] de la subestación Santa Cruz por medio de dos transformadores elevadores (ver Figura 16). Desde el año 2014 entra en operación la red de Subtransmisión de 34.5 [kV] que permite interconectar las dos islas para de esta manera obtener un solo sistema.

Generación Renovable/no convencional, la generación no convencional contiene:

- Un parque eólico en Baltra, con 3 aerogeneradores de 750[kW] cada uno
- Una planta fotovoltaica en Baltra, de 200 [kW] de potencia nominal
- Un banco de baterías para la regulación de fluctuaciones viento/irradiación (baterías ion-Litio) con capacidad de potencia de 500 [kW] y 400 [kWh] de capacidad de energía
- Un banco de baterías de almacenamiento de energía no usada (baterías Plomo acido) con capacidad de potencia de 600 [kW] y 4000 [kWh] de capacidad de energía
- Una segunda planta Fotovoltaica de 1500 [kW] de potencia nominal en Santa Cruz.

a) Parque Eólico Baltra

Este parque está constituido por tres aerogeneradores de 750 [kW] de potencia nominal, con conversor AC/DC/AC completo (Fully Rated Converter Wind Turbine Generator, FRCWTG), con tensión de salida de 690 [V]. La salida de cada aerogenerador está conectada a una red de 13.8 [kV] de Baltra – Santa Cruz, por medio de un transformador elevador dedicado. Estos aerogeneradores están conectados en un esquema “Daisy Chain” mediante un cable de 13.8 [kV], que terminará en el cuarto de acople con la red.

b) Parque Fotovoltaico Santa Cruz.

Este parque tendrá una potencia nominal de 1500 [kW] y una tensión de salida del inversor de 0.4 [kV], se conectara a la red en la S/E Santa Cruz a 13.8 [kV].

c) Parque Fotovoltaico Baltra

El parque fotovoltaico de Baltra tendrá una potencia nominal de 200 [kW] y una tensión de salida de 0.48 [kV], se conectara a la red de 13.8 [kV] en el mismo cuarto de acople del Parque Eólico Baltra.

d) Bancos de Baterías Baltra

Se instalaran dos bancos de baterías asociados al parque fotovoltaico con finalidades diferentes, regulación de las fluctuaciones de las fuentes de energía renovable y un banco de baterías de plomo acido para el almacenamiento y reutilización de la energía renovable no usada. Este banco de baterías, tendrá un inversor de capacidad de 500 [kVA] y una capacidad de almacenamiento de 400 [kWh].

2.15. Instalaciones Existentes

Las operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas actuales, están a cargo de ELECGALAPAGOS, en la actualidad la Empresa Eléctrica provee del servicio a las cuatro islas pobladas del Archipiélago de Colon (Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana), con la implementación de los proyectos de generación con fuentes no convencionales se da cobertura a instituciones públicas asentadas en la Isla de Baltra (FAE, Armada del Ecuador, DAC y PETROECUADOR).

El Sistema de Distribución han mostrado un crecimiento en el transcurso del tiempo sin embargo las redes no han sido repotenciadas y esto conlleva a problemas de continuidad y calidad del servicio eléctrico, incidiendo directamente en los índices de Calidad del Servicio Frecuencia y tiempo de interrupción. Para el año del 2014 la empresa

ELECGALAPAGOS contaba con 9.245 clientes regulados en las islas habitadas excepto en la isla de Baltra:

Tabla 6

Cuadro Detalle de Clientes e Instalaciones. Año 2014.

ISLA	CLIENTES REGULADOS	EQUIPOS DE GENERACIÓN	POTENCIA NOMINAL (MW)
San Cristóbal	2.838	5 Genset 3 Aerogeneradores	3.2 2.4
Santa Cruz	5.364	8 Genset	8.01
Floreana	69	2 Genset	0.138
Isabela	1.043	4 Genset	1.88

Fuente: ELECGALAÁGOS

2.15.1. Resumen del estado de Estado de Centrales y Proyectos

2.15.2. Parque Eólico Baltra

Es el tercer parque eólico del país. Según el balance energético de Elecgalápagos, con la fase 1, en 2015, el proyecto generó 2.947 [MWh] para una reducción de 206.580 galones de diésel, es decir, el 10,63% del consumo previsto para la central térmica de Puerto Ayora. La energía del proyecto eólico es evacuada a través del sistema de interconexión que se inicia en la isla Baltra y va hasta la central térmica en Puerto Ayora en la isla Santa Cruz.²⁷

Con una capacidad de 2.25 [MW] formado por tres aerogeneradores ubicados en la Isla de Baltra, conectados al sistema eléctrico de la Isla de Santa Cruz por medio del Sistema de Interconexión Eléctrica Baltra – Santa Cruz de 34.5 [kV] y 50 [km] de longitud, en el año 2015 esta interconexión salió de operación por tres ocasiones debido a un daño en los conductores, actualmente opera con normalidad.



Figura 28. Parque Eólico de Baltra “Islas Galápagos”

Tabla 7

Cuadro Detalle Parque Eólico Baltra. Año 2015.

Parque Eólico Baltra	
Fecha de Inicio de Operación	22 de Diciembre del 2014
Sistema Eléctrico	Santa Cruz - Baltra
Capacidad Instalada	2.250,00 [kW]
Energía Generada al 31/12/2015	3.023,70 [MWh]
Energía Generada en 2015	2.985,43 [MWh]
(%) penetración en 2015	8.96 [%]

Fuente: ELECGALAÁGOS

2.15.3.Planta Fotovoltaica Puerto Ayora

La Planta Fotovoltaica Puerto Ayora, de 1,5 [MWp], fue implementada bajo el Marco de Cooperación No Reembolsable de Corea, a través de Koica y con base en un acuerdo suscrito con el MEER para reducir el consumo de combustible fósil que demanda el sistema de generación de la isla Santa Cruz. Se encuentra en operación desde mayo de 2014. Los 6.006 paneles solares fotovoltaicos, de 250 [Wp] cada uno, están distribuidos en un área aproximada de 2,9 hectáreas. En 2015 lograron un ahorro de 140.000 galones de diésel. Además, este proyecto permite coordinar la penetración de energía de los otros proyectos de energía renovable que se desarrollan en las islas Baltra y Santa Cruz.



Figura 29. Planta Fotovoltaica Puerto Ayora “Islas Galápagos”

Tabla 8

Cuadro Detalle Parque Fotovoltaico Puerto Ayora. Año 2015.

Parque Fotovoltaico Puerto Ayora	
Fecha de Inicio de Operación	24 de Mayo del 2014
Sistema Eléctrico	Santa Cruz - Baltra
Capacidad Instalada	1.500,00 [kWp]
Energía Generada al 31/12/2015	3.162,76 [MWh]
Energía Generada en 2015	2.010,49 [MWh]
(%) penetración en 2015	6.12 [%]

Fuente: ELECGALAÁGOS

2.15.4. Proyecto Fotovoltaico Baltra

Este sistema fue inaugurado el 7 de marzo de 2016. Fue implementado bajo el marco de cooperación no reembolsable de Japón (JICS). El sistema tiene dos componentes: (1) planta fotovoltaica de 67 [kWp], entrega aproximadamente 111 [MWh] de electricidad por año, (2) dos conjuntos de bancos de baterías; uno de ellos, formado por baterías de plomo-ácido de descarga profunda, que tiene capacidad de almacenar hasta 4 [MWh] de energía proveniente del Parque Eólico, optimizando así la generación del parque; el otro banco de baterías es de ion-litio de 268 [kWh] de capacidad, que compensa las

constantes fluctuaciones de la generación eólica. Se prevé que esta planta fotovoltaica evite la emisión anual de 73 toneladas de CO₂ a través de la no utilización de 7.800 galones de diésel en los generadores térmicos.



Figura 30. Parque Eólico de Baltra “Islas Galápagos”

2.15.5. Parque Eólico San Cristóbal

Estas instalaciones cuentan con una potencia de 2.4 [MW] formado por tres aerogeneradores, ubicados en el cerro Tropezón en la Isla de san Cristóbal.

Tabla 9

Cuadro Detalle Parque Eólico San Cristóbal. Año 2015.

Parque Eólico San Cristóbal	
Fecha de Inicio de Operación	1 de Octubre del 2014
Sistema Eléctrico	Santa Cristóbal
Capacidad Instalada	2.400,00 [kW]
Energía Generada al 31/12/2015	26.567,36 [MWh]
Energía Generada en 2015	3.396,36 [MWh]
(%) penetración en 2015	21.50 [%]

Fuente: ELECGALAÁGOS

Este Parque Eólico es una parte fundamental en la historia de las energías renovables en Galápagos, debido a que el inicio de la operación en 2007 dando el inicio de la actividad de energías renovables en el archipiélago.

2.15.6. Proyecto Híbrido Isabela

Con asistencia financiera del Gobierno de la República Federal de Alemania, el MEER desarrolla el Proyecto Híbrido Isabela, que abarca los siguientes componentes:

- Planta térmica dual (diésel/aceite puro de piñón), con capacidad aproximada de 1,62 [MW].
- Planta solar fotovoltaica de 0,92 [MWp].
- Sistema de almacenamiento de energía de 258 [kWh] mediante baterías de ion-litio.
- Sistema de control, operación y monitoreo de toda la planta.
- Tanques de almacenamiento de combustible: 2 × 60 [m³] para aceite de piñón y 1 × 60 [m³] para diésel.

La empresa alemana Lahmeyer International GmbH, que preparó los diseños conceptuales, apoyó en la licitación y contratación de las obras y colaborará en la supervisión de la ejecución del sistema, así como en el monitoreo durante la fase de garantía. Adicionalmente, el MEER contratará la capacitación y las medidas de sensibilización y de educación para la población sobre el uso de energía de manera eficiente.

La construcción del Proyecto Híbrido Isabela fue adjudicada al Consorcio Siemens SA y Siemens AG, que ejecutarán el diseño de ingeniería, provisión de las obras y

suministros, la instalación, obras civiles, pruebas y puesta en funcionamiento del sistema en un plazo de 18 meses.

2.15.7. Sistema de Generación Híbrido Floreana y San Cristóbal

Para la repotenciación de los sistemas de las islas Floreana y San Cristóbal se invirtieron USD 269.546,69. El Parque Eólico de San Cristóbal fue inaugurado en octubre de 2007 y la central de Floreana, que utiliza combustible vegetal, en febrero de 2011. Esta última puede ser considerada un sistema híbrido operativo.

Con el financiamiento de la Usaid, el Ergal llevó a cabo el estudio de repotenciación del sistema fotovoltaico de Floreana, cuya generación eléctrica proviene de grupos térmicos duales (combustible fósil y aceite de piñón).

El sistema San Cristóbal ha cumplido las metas esperadas, con una penetración en el mercado por sobre el 30%.

2.15.8. Sistema de Generación Híbrido Isabela y Santa Cruz – Baltra

Se han invertido USD 16'704.390,30 en este componente. En Santa Cruz se logró la construcción de un sistema de generación híbrido: eólicotérmico, con la instalación de tres aerogeneradores de alta tecnología de 2,25 [MW]. El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz reconoció este hito en marzo del año 2014, habiendo otorgado al proyecto la Distinción al Mérito por Conservación Ecológica.

Una propuesta realizada por el Ergal para la implementación de una central fotovoltaica con almacenamiento de energía en la isla Baltra permitió al Gobierno del Ecuador, a través del MEER, la obtención de la Cooperación No Reembolsable del Gobierno de Japón por USD 10 millones.

Para el caso de la isla Isabela, el Ergal cumplió la meta con su participación en los estudios del rediseño del sistema de abastecimiento de combustibles para el Proyecto Híbrido Isabela.

CAPÍTULO 3

3. RECURSO RENOVABLE EN BALTRA Y SANTA CRUZ

3.1. Análisis del Recurso Eólico

Los aerogeneradores son movidos por una turbina accionada por el viento, su funcionamiento es basado en tal forma que la energía cinética producida por el movimiento del viento proporcione energía mecánica a una hélice o rotor y a través de un transmisor mecánico y este haga girar el rotor del generador, teniendo así como resultado que el movimiento mecánico de la energía cinética se convierta en la energía eléctrica deseada.

Las islas se caracterizan a menudo por un potencial eólico significativo. En teoría es suficiente para cubrir prácticamente la totalidad de su requerimiento energético.

En su estudio sobre la evaluación de las limitaciones y rentabilidad que poseen las granjas de viento operantes en sistemas insulares, Stavro A. Papathanassiou y Nikos G. Boulaxis, establecen que, los parques eólicos que operan en sistemas no continentales (islas) están sujetos a más de la disponibilidad del viento, también a limitaciones técnicas de las unidades generadoras convencionales (no renovables), es decir, también se encuentran sujetas a: los mínimos de las unidades térmicas (mínimos técnicos) y un límite dinámico de penetración, este último aplicado a la estabilidad del sistema.

En la Isla de Baltra, existe una variación considerable del viento, en las diferentes regiones del mundo, desde un promedio anual de 2 [m/s] hasta más de 7 [m/s], en lugares con mayor cantidad de viento.

La evaluación del rendimiento esperado de la energía eólica en sistemas insulares aislados requiere la debida consideración, por lo tanto, no sólo de las condiciones prevalecientes de viento en el sitio de instalación, Sino también de las limitaciones de funcionamiento impuestas por el sistema, que en última instancia dependen de la demanda total de energía.

Los sistemas insulares aislados de la red continental son alimentados por estaciones de energía autónoma, presentando una serie de características únicas y problemas especiales, los cuales han sido estudiados y documentados en los últimos 15 años.

La naturaleza aislada de dichos sistemas resulta en limitaciones en la operación de los parques eólicos y por lo tanto ocurren reducciones de potencia durante su funcionamiento, dicha situación impide el logro de altos niveles de penetración del viento y poder aprovechar al máximo el potencial eólico existente.

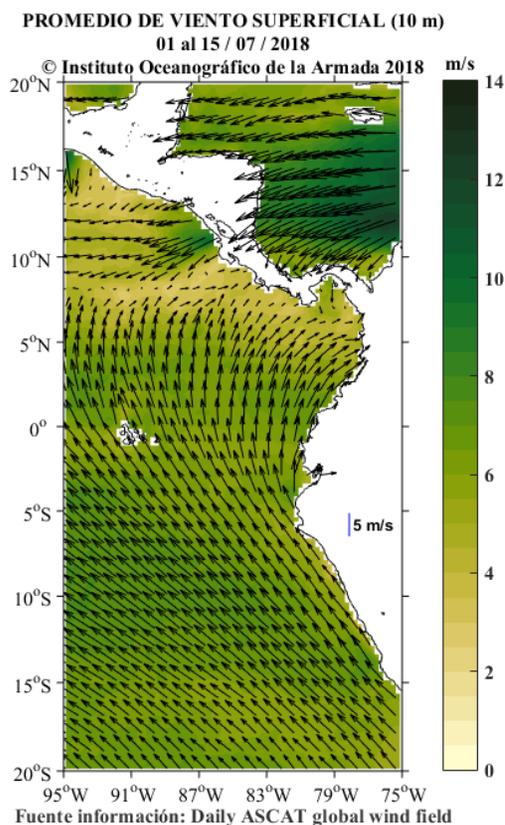


Figura 31. Mapa de Vientos Superficiales-INOCAR-2018.
Fuente: INOCAR

Como se puede apreciar en la Figura 31 la variabilidad o intensidad en la velocidad del viento puede llegar a ser muy notoria, esto debido a que esta es una variable sobre la que no se tiene control, lo cual sólo requiere una evaluación fiable del potencial eólico local. En el caso de las islas, el funcionamiento de los parques eólicos está sujeto a limitaciones de potencia, que están determinadas por el nivel de carga del sistema y unidades en funcionamiento.

La generación eólica en sistemas como el de la Isla de Baltra se concentra a menudo en las restricciones geográficas del entorno. Aumentando así la probabilidad de una pérdida inesperada de la potencia del viento total disponible. Para evitar la pérdida de

carga en este tipo de casos, una práctica muy común que utilizan los operadores es mantener la reserva rodante completa en las unidades convencionales, lo que cubriría la demanda total.

Las turbinas eólicas conectadas a redes de islas aisladas están siempre sujetas a Restricciones operativas (limitaciones de potencia de salida), no aplicables en un sistema de interconexión larga.

Actualmente la Isla San Cristóbal cuenta con un parque de 3 aerogeneradores, los cuales abastecen con el 70 % de la demanda de la Isla en condiciones normales de operación, los aerogeneradores con los que se encuentra dotado de energía el sistema de San Cristóbal se encuentran ubicados en el cerro EL TROPEZON, son de la clase III-A basados en la norma IEC 61400-1, cuentan con un rotor de 3 palas, de eje horizontal y con control de potencia por cambio de paso y velocidad de giro variable, los aerogeneradores fueron escogidos con la finalidad de poder adaptarse y aprovechar al máximo las condiciones del viento existentes en San Cristóbal, pudiendo así maximizar el uso del recurso eólico a un costo justo.

Diferentes velocidades se pueden notar en distancias pequeñas, debido la cambiante topografía y rigurosidad del terreno. Las mediciones de viento son de velocidad y dirección. La potencia eólica es proporcional al cubo de la velocidad del viento, significando que existe un margen de error en su medición, creando así un mayor error en la potencia calculada.

El viento no es más que aire en movimiento y es una forma indirecta de la energía solar. El movimiento de las masas de aire se origina por diferencias de temperatura

causada por la radiación solar sobre la superficie terrestre, junto con la rotación de la tierra, crean los llamados patrones globales de circulación.

A nivel global, las regiones cercanas a la línea ecuatorial, reciben una ganancia neta de energía, mientras que en las regiones polares existe una pérdida considerable de energía por radiación.

La llamada Zona de Convergencia es donde las masas de aire caliente ascienden dentro de la región ecuatorial, esta región es una banda delgada cercana a los 100 [km] de ancho, que va paralela al ecuador.

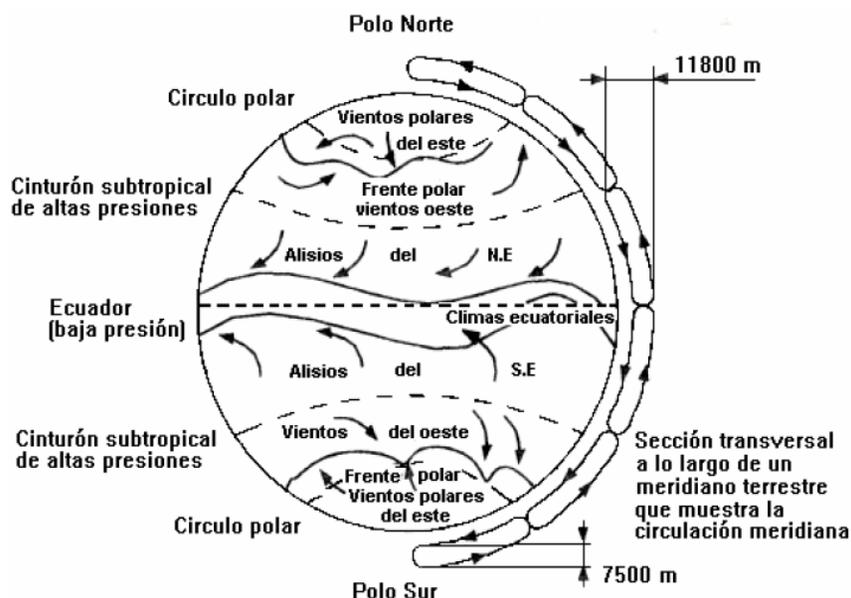


Figura 32. Representación "Patrón Global de Circulación de Vientos".

Fuente: Atlas Eólico del País Vasco – 1973

En la Figura 32, podemos observar la forma que circula el viento en una Isla, en el día la tierra se calienta más que el mar, el aire sobre la tierra asciende y la brisa marina se desarrolla y durante la noche, la tierra se enfría a temperaturas menores que el mar,

causando así una brisa terrestre. La brisa terrestre es más suave y débil que la brisa marina.

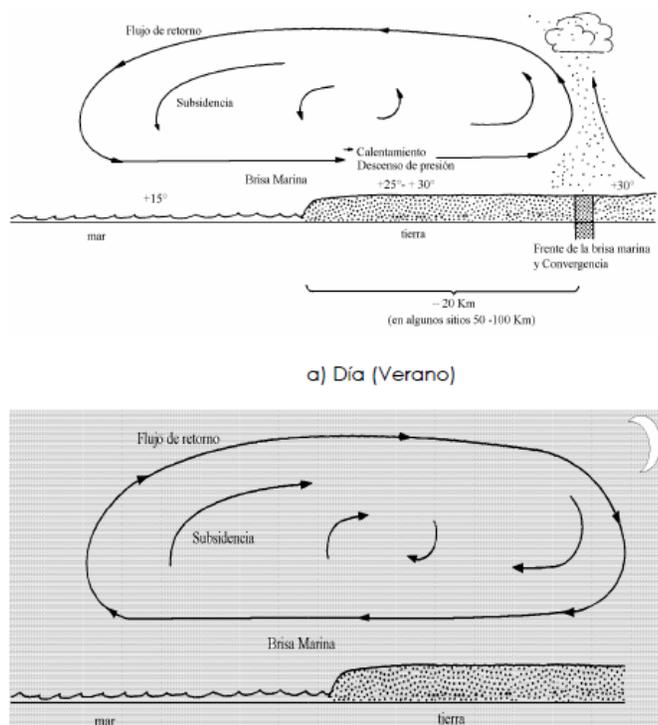


Figura 33. Brisa Meteorological Aspects of the utilization of wind as an energy.
Fuente: Atlas Eólico del País Vasco – 1973

La variación de la velocidad del viento respecto a la altura sobre el terreno, depende principalmente de la rugosidad del terreno. Para terrenos planos y despejados (libre de obstáculos de gran tamaño y con vegetación de tamaño relativo). En el caso de la Isla de Baltra, las mediciones de campo efectuadas se realizaron de la siguiente manera:

Tabla 10

Mediciones de Campo en Isla de Baltra

MEDICIONES DE CAMPO – ISLA DE BLATRA	
Periodo de medición	1 año (365 días)
Numero de mediciones realizadas	52.559
Intervalos de tiempo entre mediciones	10 minutos
Alturas sobre la superficie del piso que se realizaron mediciones	50 metros
	40 metros
	30 metros

CONTINÚA



Mediciones realizadas	Velocidad media
	Velocidad máxima
	Velocidad mínima
	Temperatura (°C)
	Dirección (grados)

Fuente: ELECGALAÁGOS

El figura 34 representa el comportamiento mensual de la velocidad del viento en la Isla de Baltra.

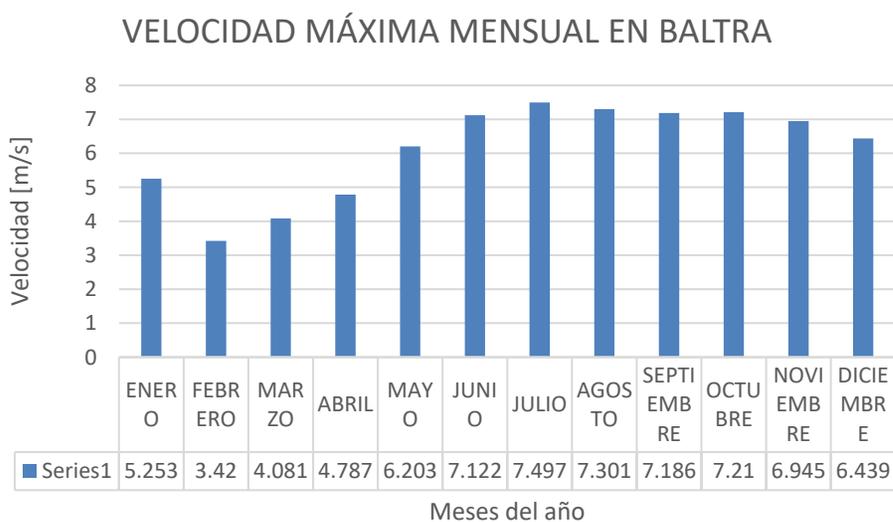


Figura 34. Velocidad del Viento mensual, alturas determinadas con Curva Weibull

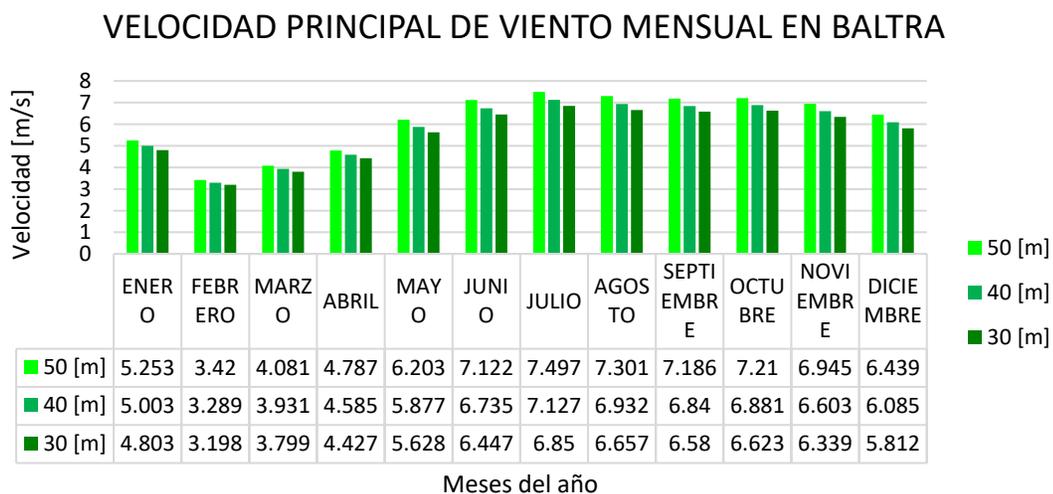


Figura 35. Velocidad del Viento mensual, a las alturas de 50 [m], 40 [m] y 30 [m]

La figura 36 representa la frecuencia de velocidad en el periodo de medición (1 año), junto con la curva Weibull, función de distribución de probabilidad que se adapta a los valores mostrados.

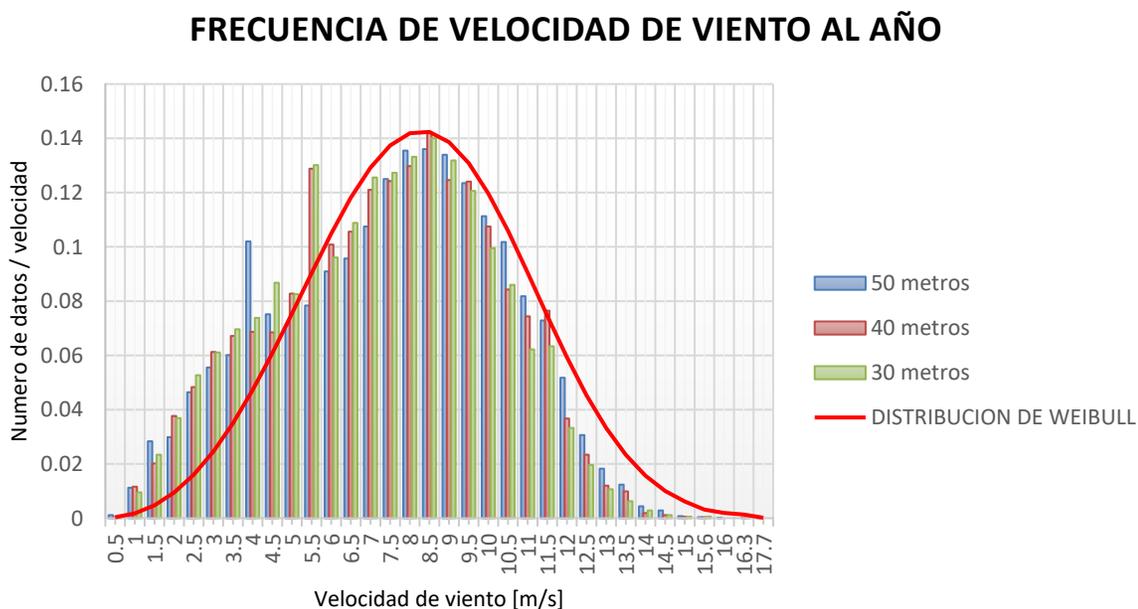


Figura 36. Frecuencia de Velocidad del Viento, alturas determinadas Curva Weibull

FRECUENCIA DE VELOCIDAD DE VIENTO AL AÑO

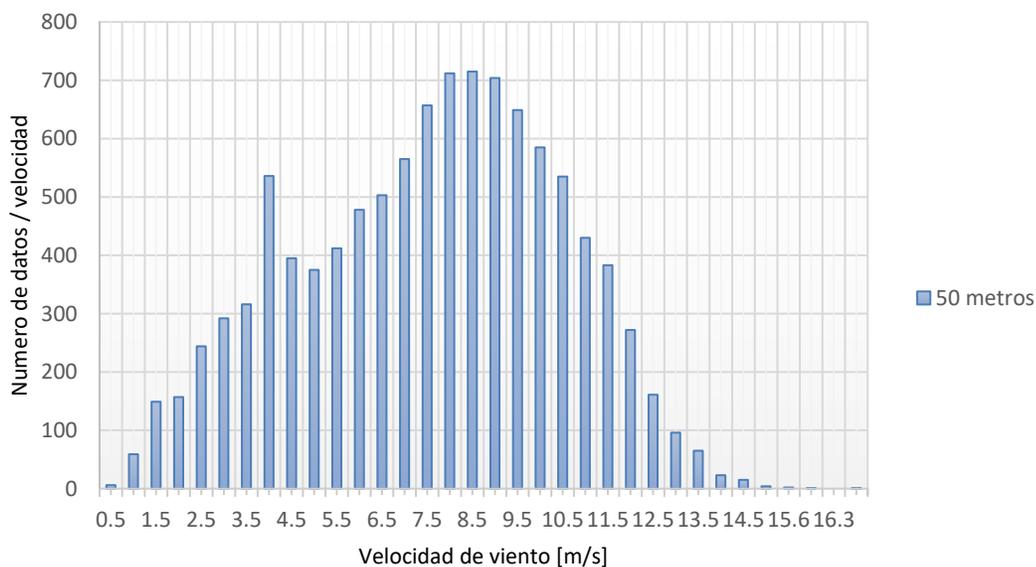


Figura 37. Frecuencia de Velocidad del Viento, a 50 [m]

FRECUENCIA DE VELOCIDAD DE VIENTO AL AÑO

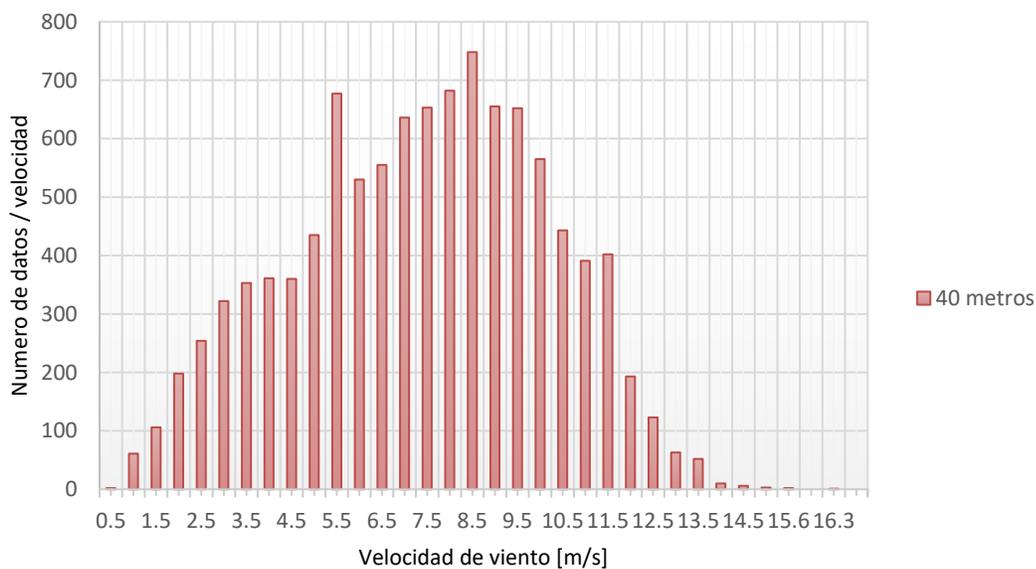


Figura 38. Frecuencia de Velocidad del Viento, a 40 [m].

FRECUENCIA DE VELOCIDAD DE VIENTO AL AÑO

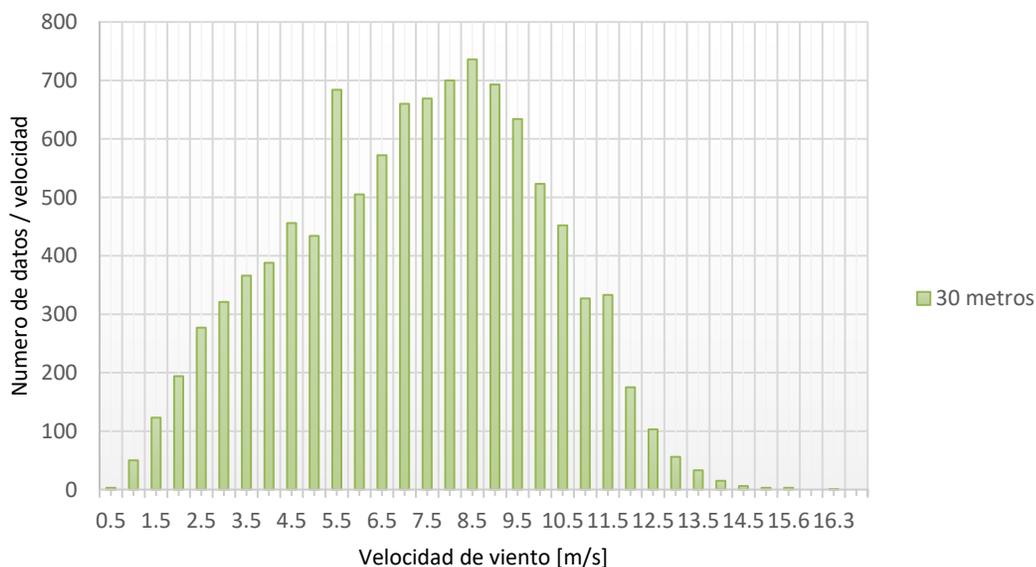


Figura 39. Frecuencia de Velocidad del Viento, a 30 [m]

FRECUENCIA ANUAL DIR. DE VIENTO A 50 [m]

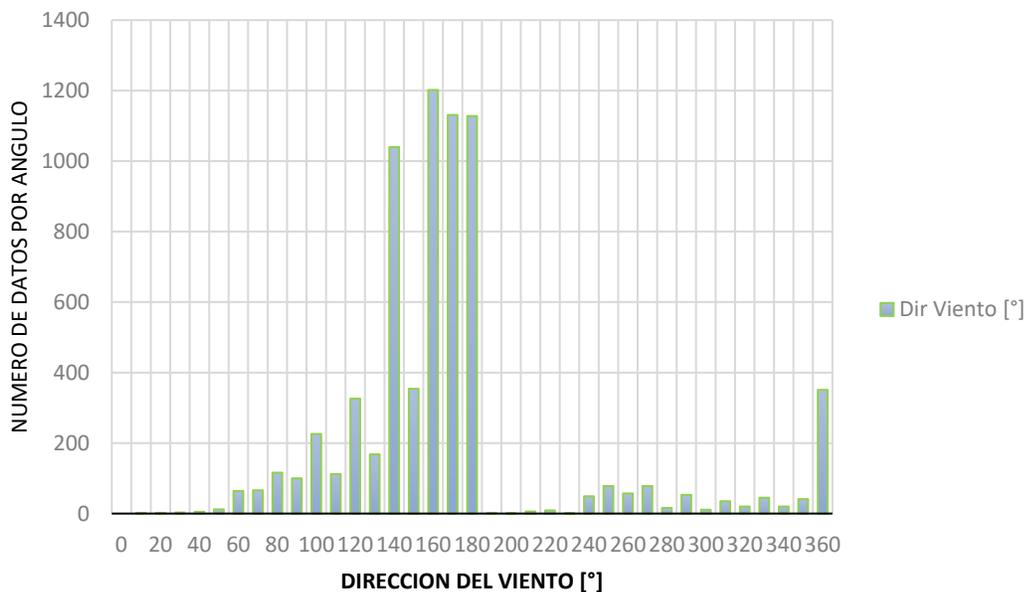


Figura 40. Frecuencia de Velocidad del Viento, a 50 [m]

3.2. Promedio de Velocidad Mensual del Viento

Los gráficos de rosa del viento, obtenidos de la velocidad promedio de velocidad del viento para los meses del año en estudio, se presentan en el Anexo “B”.

La superficie de la Tierra ejerce una fuerza de rozamiento que se opone al movimiento del aire y cuyo efecto es retardar el flujo, es decir disminuye su velocidad. Este efecto que disminuye la velocidad del viento, decrece a medida que se incrementa la altura sobre la superficie del terreno. De tal modo, a mayor altura se tiene mayor velocidad.

3.3. Variación de la velocidad del viento con la altura

La superficie de la Tierra ejerce una fuerza de rozamiento que se opone al movimiento del aire y cuyo efecto es retardar el flujo, es decir disminuye su velocidad. Este efecto que disminuye la velocidad del viento, decrece a medida que se incrementa la altura sobre la superficie del terreno. De tal modo, a mayor altura se tiene mayor velocidad; así:

$$\frac{v_1}{v_2} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^a$$

Dónde: V_1 = la velocidad del viento a una altura h_1

V_2 = la velocidad del viento a una altura h_2

El coeficiente “a” es un parámetro que depende de la topografía del terreno y de las condiciones meteorológicas. Y en caso de no existir información medida del perfil de velocidades, para una buena aproximación en terreno plano, libre de obstáculos se usa un parámetro equivalente de $a=0,14$.

3.4. Cálculo de la Potencia del Viento

La potencia se define como la rapidez con la cual la energía es empleada o transformada, y puede expresarse como energía por unidad de tiempo. La energía que contiene el viento es su propia energía cinética, y la energía cinética de cualquier masa de aire en movimiento, es decir; la potencia en el viento soplando con una velocidad “V” a través de un área “A”, es:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 \quad [W/m^2]$$

P_{viento} = es la potencia del viento en vatios en vatios [W]

ρ = es la densidad de aire (nivel del mar [1.2 kg/m³])

V = velocidad del viento [m/s]

A = área perpendicular al viento [m²]

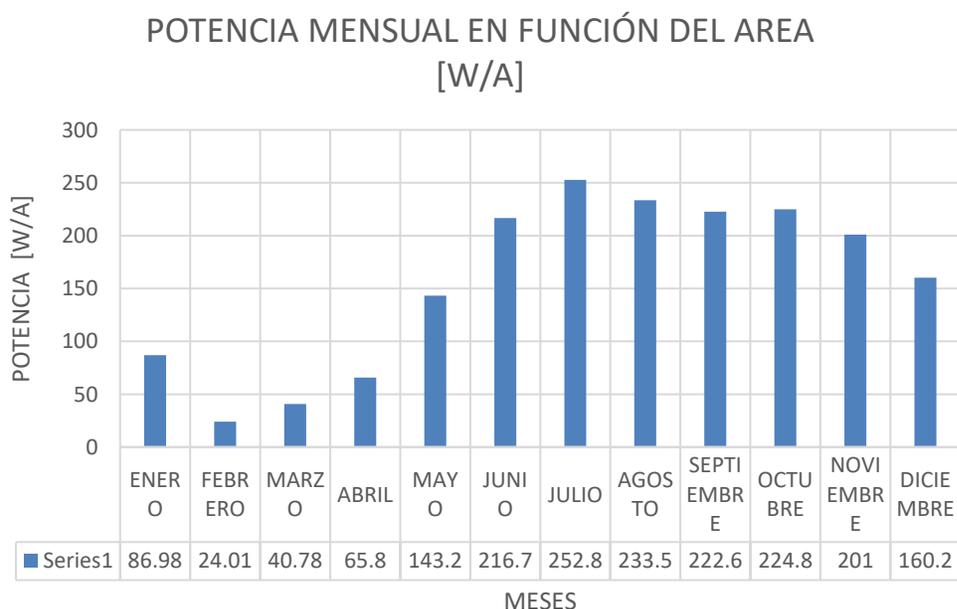


Figura 41. Potencia del viento en función del Área del aerogenerador a 50 [m]

3.5. Potencial del Viento en un Sitio o Región

Para evaluar la potencialidad del viento de un lugar específico, se realiza hacer este estudio sobre la base de la potencia específica o densidad de potencia, debido a que este valor expresa la cantidad de potencia que pasa por cada metro cuadrado de superficie que aporta el viento en dicha región o sitio.

Para obtener la anergia disponible anualmente se debe multiplicar la densidad de potencia anual por el número de horas totales del año (8760 horas), el resultado será la densidad de energía disponible anualmente.

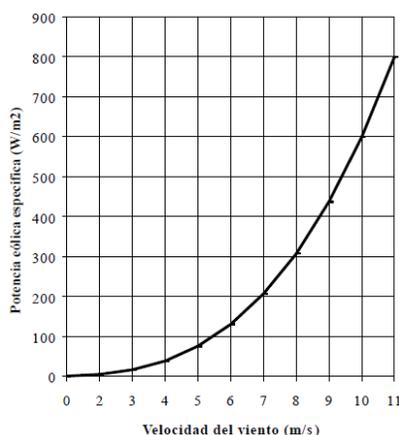


Figura 42. Potencia Eólica específica en función de la velocidad.
Fuente: Manual de Aplicación de Energía Eólica

Para evaluar el potencial eólico de un sitio, es prácticamente un estándar, la metodología de la determinación de la velocidad media anual. Sin embargo, debido a que la potencia es función del cubo de la velocidad, los periodos de vientos fuertes contribuyen mucho más a la contribución de energía anual que la misma velocidad media. Debido a esto, es necesario conocer la potencia media anual aprovechable en el sitio, que depende del comportamiento de la velocidad en dicho sitio, a su vez si el sitio se encuentra dentro de los vientos alisios y estos son más constantes. En ciertos lugares,

los vientos estables producen menos potencia en el tiempo que un régimen de viento moderado.

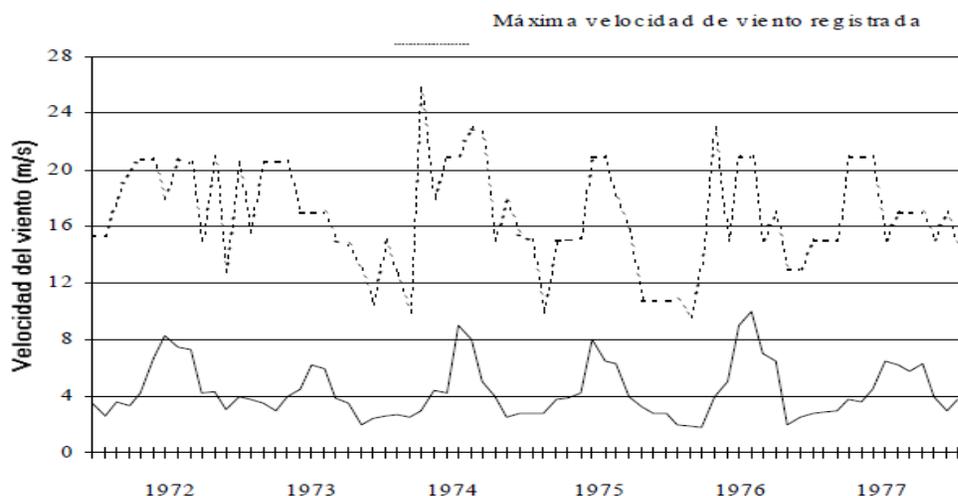


Figura 43. Comportamiento de la velocidad del Viento con el tiempo.
Fuente: Manual de Aplicación de Energía Eólica

Este comportamiento cíclico del viento Figura 43 servirá como base fundamental para la correcta programación anticipada de operación prevista para los posteriores años. Así como también puede constituirse en una referencia para futuros proyectos en Islas.

3.6. Régimen de Viento en Baltra

En las Islas Galápagos se cuenta con una variación de la velocidad del viento. Durante los meses de Febrero a Abril, se tiene la temporada de lluvias, para esta época las velocidades del viento son por debajo de 5 [m/s], mientras que para los meses de Mayo a Octubre, se tiene la temporada seca y se tiene regímenes de vientos alrededor de 7 [m/s].

En el caso de la Isla de Baltra se dispone únicamente de un régimen de velocidades de vientos moderados cercanos a los 6 [m/s], se realizaron mediciones en campo para

alturas de 50; 40 y 30 [m], en base a los resultados se evidencio que las velocidades de viento anuales se mantienen en calma por cerca de tres meses.

Las velocidades máximas de viento registradas en el año 2012 están por debajo de 22 [m/s], la intensidad media de la turbulencia mantenido por debajo del 11%. Por lo tanto, con velocidades medias anuales entre 6 y 6,2 [m/s] medidas en las alturas indicadas, generaría una clase de viento III B de la turbina es suficiente para que el sitio en Baltra.

Tabla 11

Clasificación de Aerogeneradores según Norma IEC 61400-1.

CLASES	I	II	III	IV	S
V_{ref} [m/s]	50	42.5	37.5	30	Valores que deben ser especificados por el diseñador
V_{pro} [m/s]	10	8.5	7.5	6	
A I₁₅ (-)	0.18	0.18	0.18	0.18	
a (-)	2	2	2	2	
B I₁₅ (-)	0.16	0.16	0.16	0.16	
a (-)	3	3	3	3	

V_{ref}: Velocidad máxima en 10 minutos con periodo de retorno de 50 años

V_{pro}: Velocidad promedio anual a la altura del centro del rotor

A y B: Categoría para características de turbulencia alta y turbulencia baja

I₁₅: Valor característico de la intensidad de turbulencia a 15 [m/s]

a: Parámetro usado para cálculo de desviación estándar en el modelo normal de turbulencia

Fuente: Norma IEC 61400-1

PROMEDIOS DE VELOCIDAD MENSUAL



Figura 44. Velocidad promedio mensual del viento a 50 [m] sobre la tierra

3.7. Valoración del Recurso Solar

El aprovechamiento de la energía solar está condicionado a la intensidad de radiación solar incidente sobre una determinada área, debido a esto es necesario contar con registros de radiación confiables que puedan emplearse en el diseño de equipos que aprovechen la energía solar. El país actualmente cuenta con mapas de radiación solar, donde normalmente se presentan valores promedios de radiación solar diaria, mensual o anual. El uso que damos a este tipo de información es importante para determinar las zonas geográficas que presenten un potencial alto para dar uso de esta fuente de energía limpia, así como también este tipo de datos pueden ser usados para etapas de prediseño.

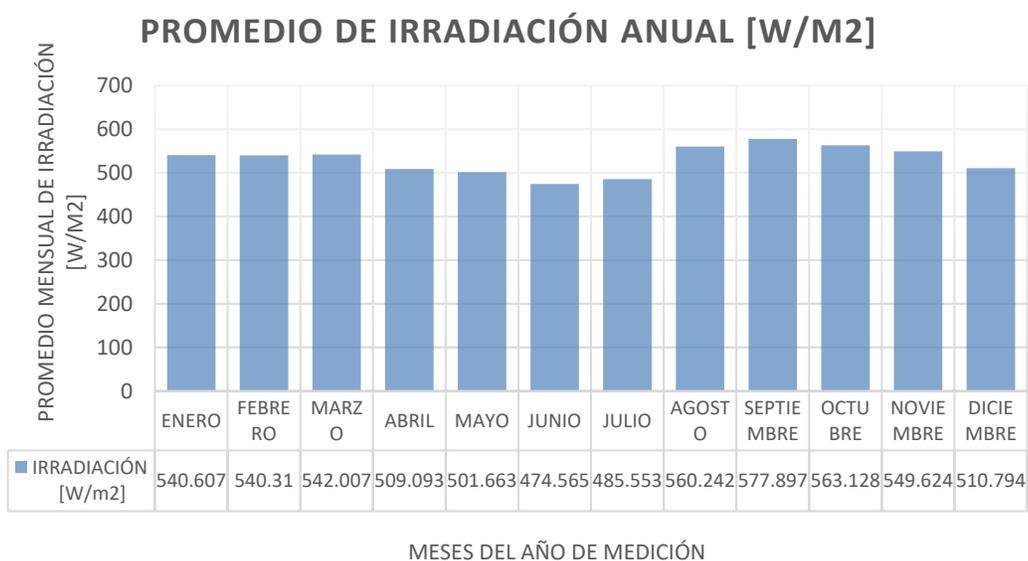


Figura 45. Promedio de Irradiación Anual [W/m2]

Actualmente, los mapas de radiación solar son elaborados a partir de mediciones vía satélite. No obstante, estos datos tienen cierta incertidumbre propia de la tecnología empleada, a lo que se suma, que la mayoría de datos están referidos a grandes

extensiones de territorio, por lo que su uso se hace limitado y poco práctico. Esta limitante conduce generalmente al sobre o sub-dimensionamiento de equipos, esta falla en la etapa de diseño tiene graves consecuencias en los costos de la inversión, operación y mantenimiento, así como la sostenibilidad de los sistemas cuando no cumplen con el fin para el cual fueron instalados.

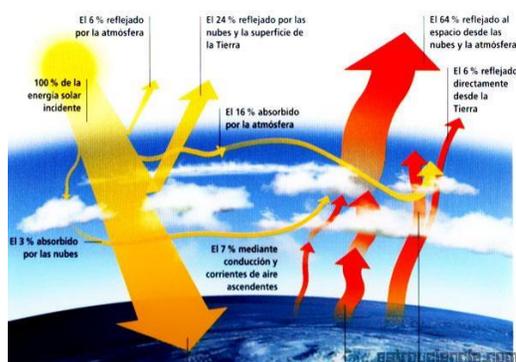


Figura 46. Distribución de Energía Solar.

Fuente: Libro Interactivo sobre Energía Solar y sus Aplicaciones

3.8. Promedio de Radiación Solar Mensual

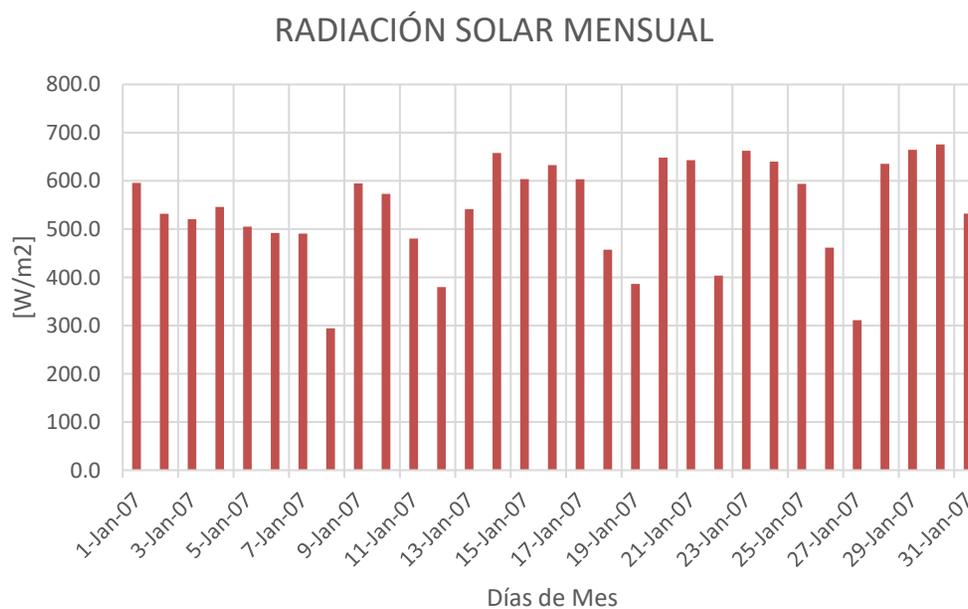


Figura 47. Promedio de Radiación Solar Mensual ENERO (W/m²)

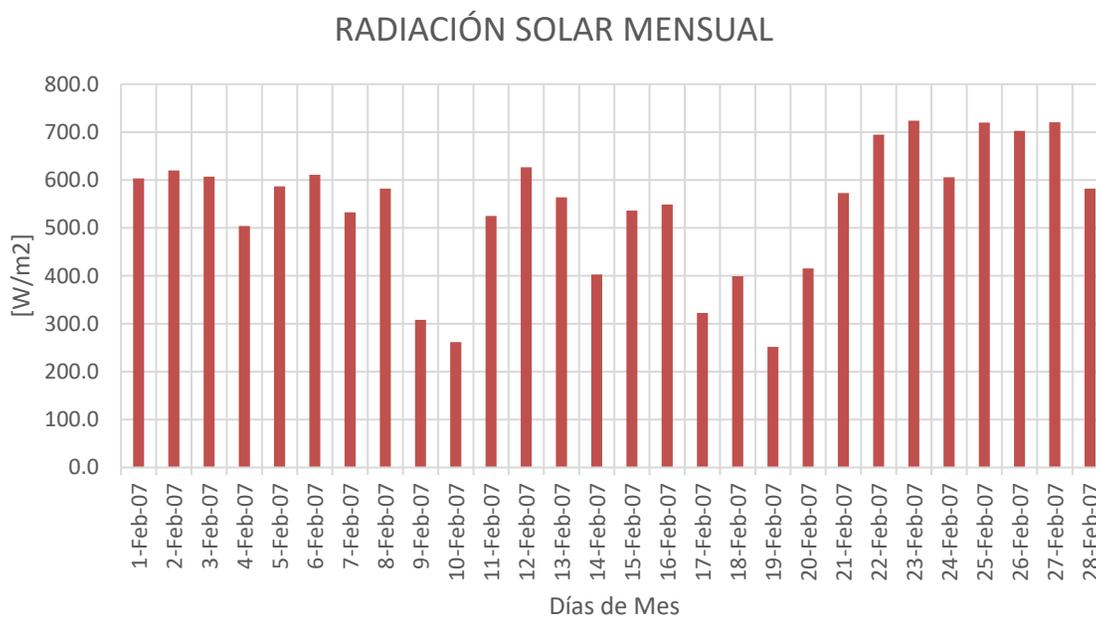


Figura 48. Promedio de Radiación Solar Mensual FEBRERO (W/m²)

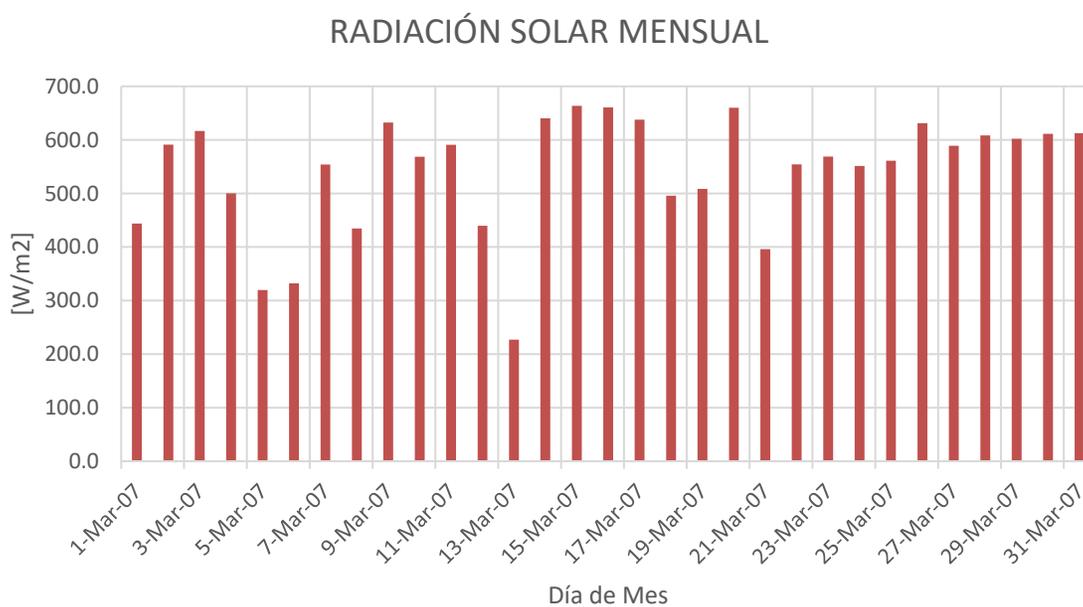


Figura 49. Promedio de Radiación Solar Mensual MARZO (W/m²)

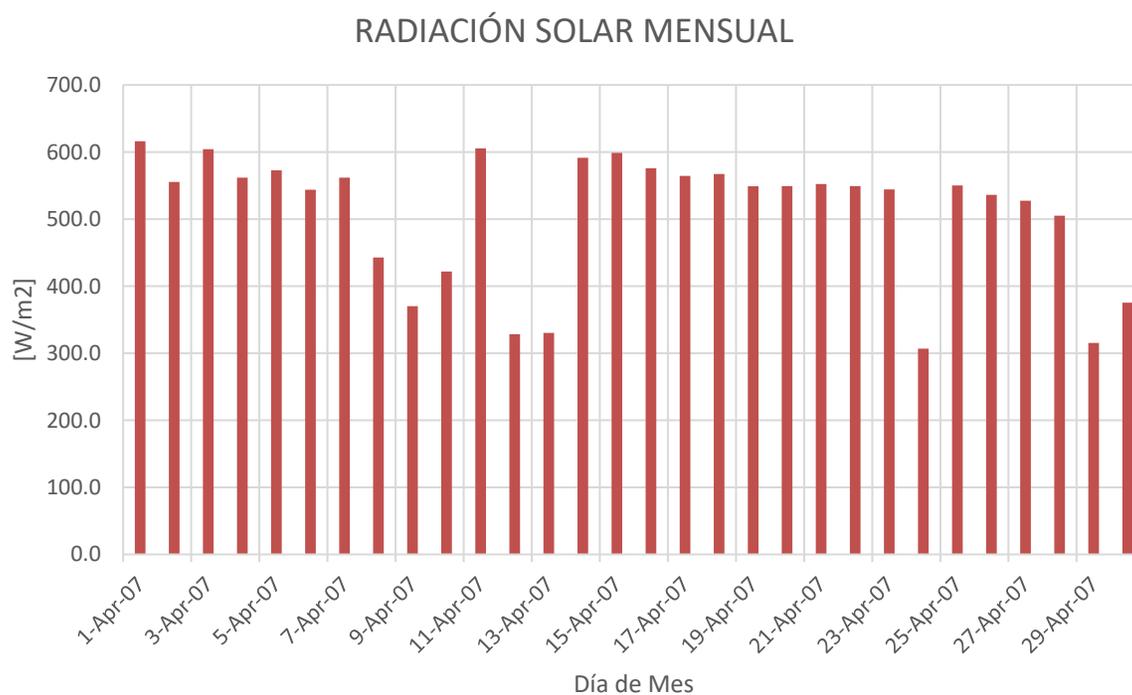


Figura 50. Promedio de Radiación Solar Mensual ABRIL (W/m²)

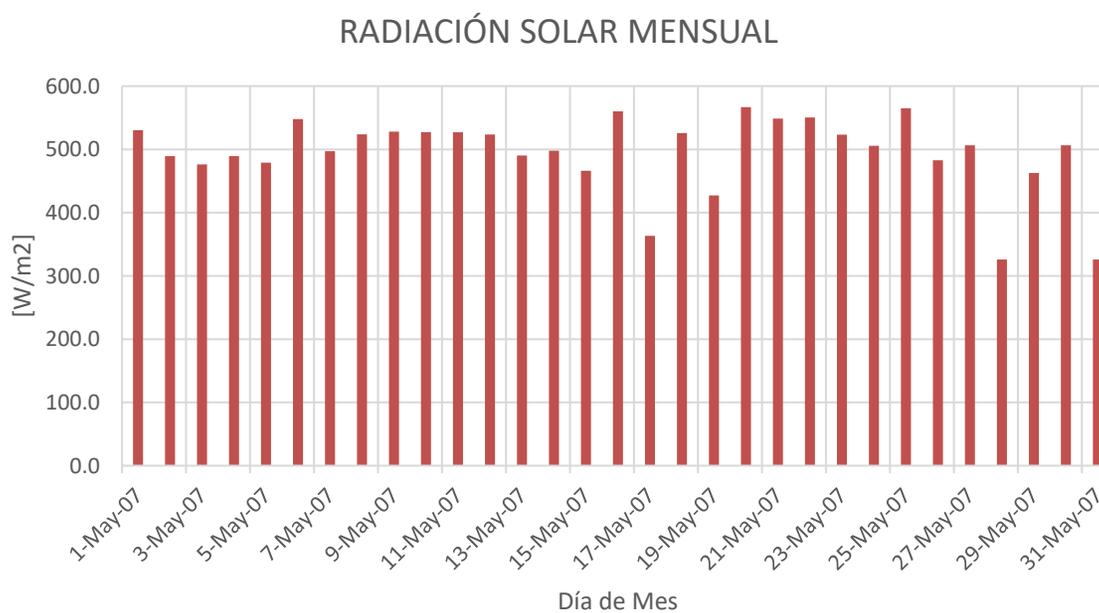


Figura 51. Promedio de Radiación Solar Mensual MAYO (W/m²)

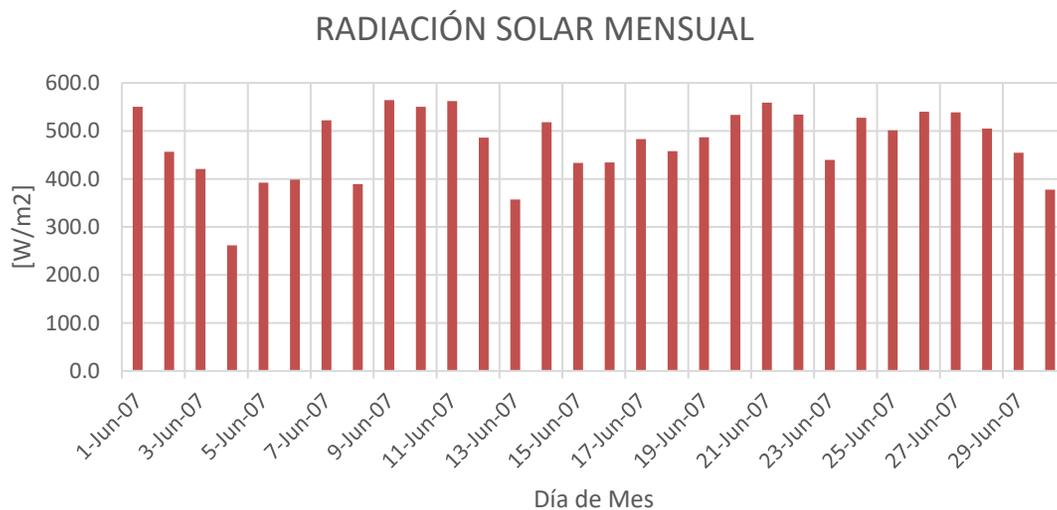


Figura 52. Promedio de Radiación Solar Mensual JUNIO (W/m²)

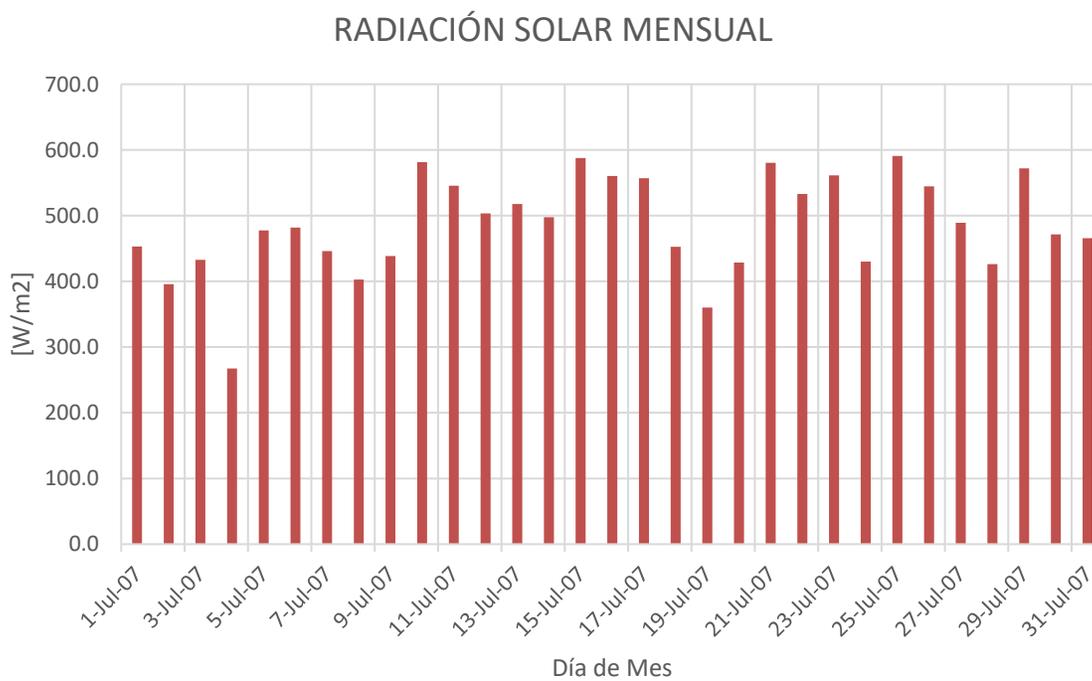


Figura 53. Promedio de Radiación Solar Mensual JULIO (W/m²)

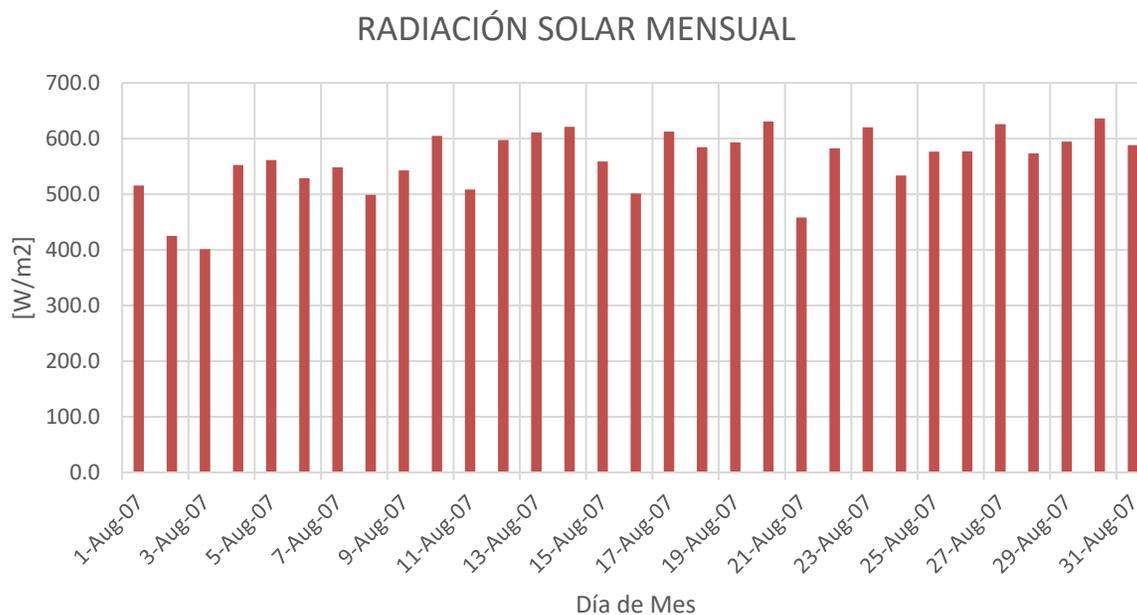


Figura 54. Promedio de Radiación Solar Mensual AGOSTO (W/m²)

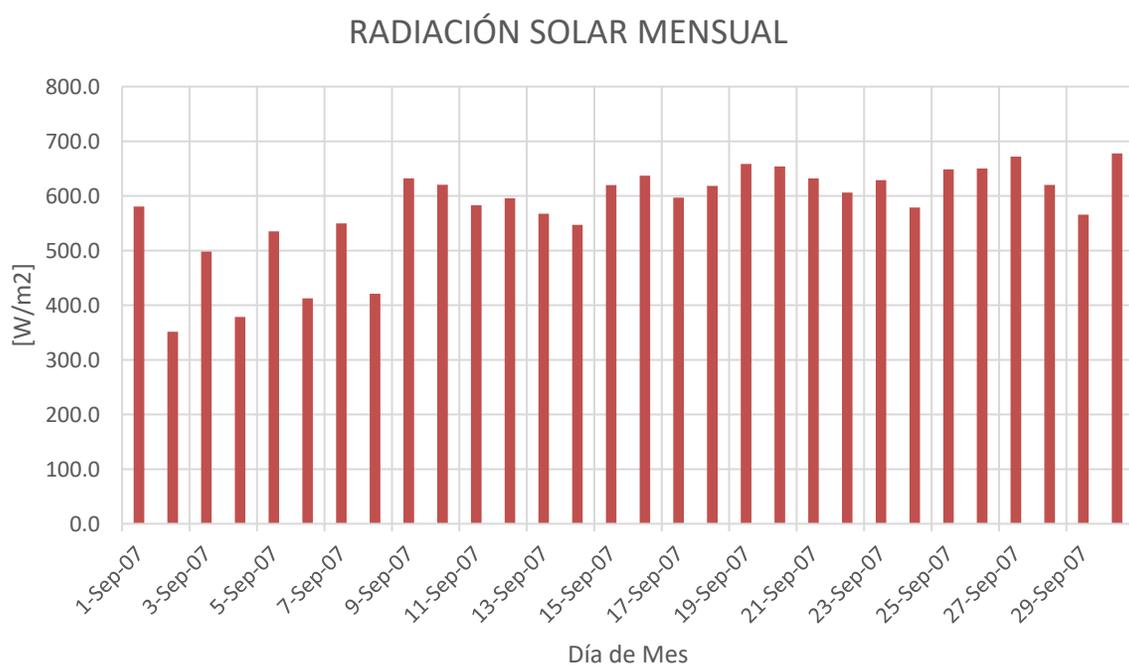


Figura 55. Promedio de Radiación Solar Mensual SEPTIEMBRE (W/m²)

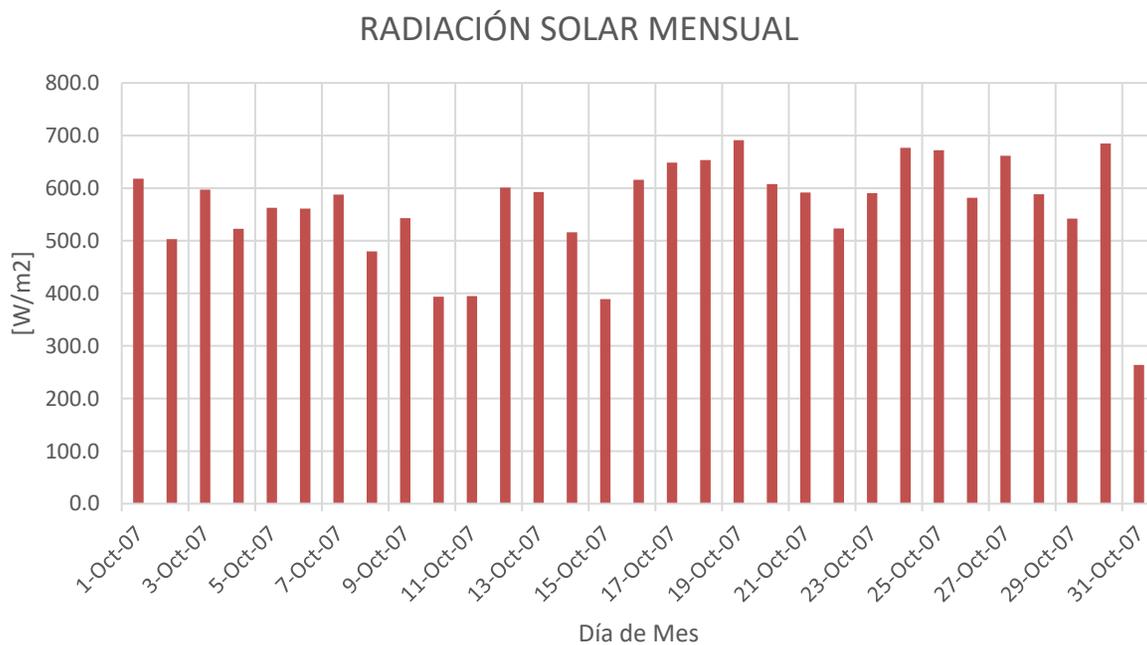


Figura 56. Promedio de Radiación Solar Mensual OCTUBRE (W/m²)

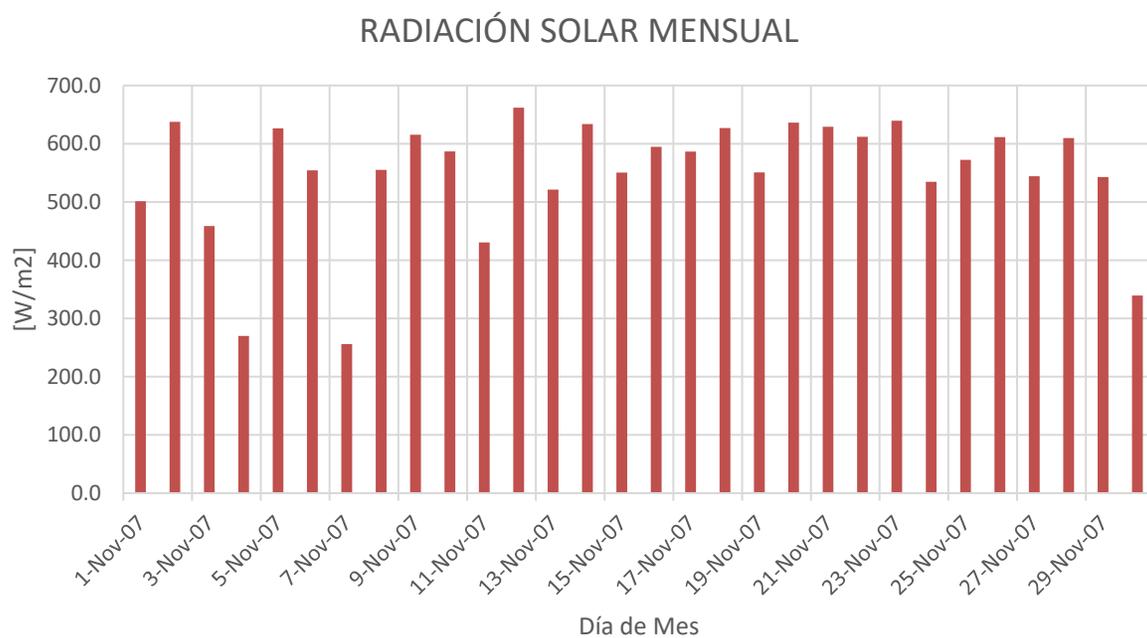


Figura 57. Promedio de Radiación Solar Mensual NOVIEMBRE (W/m²)

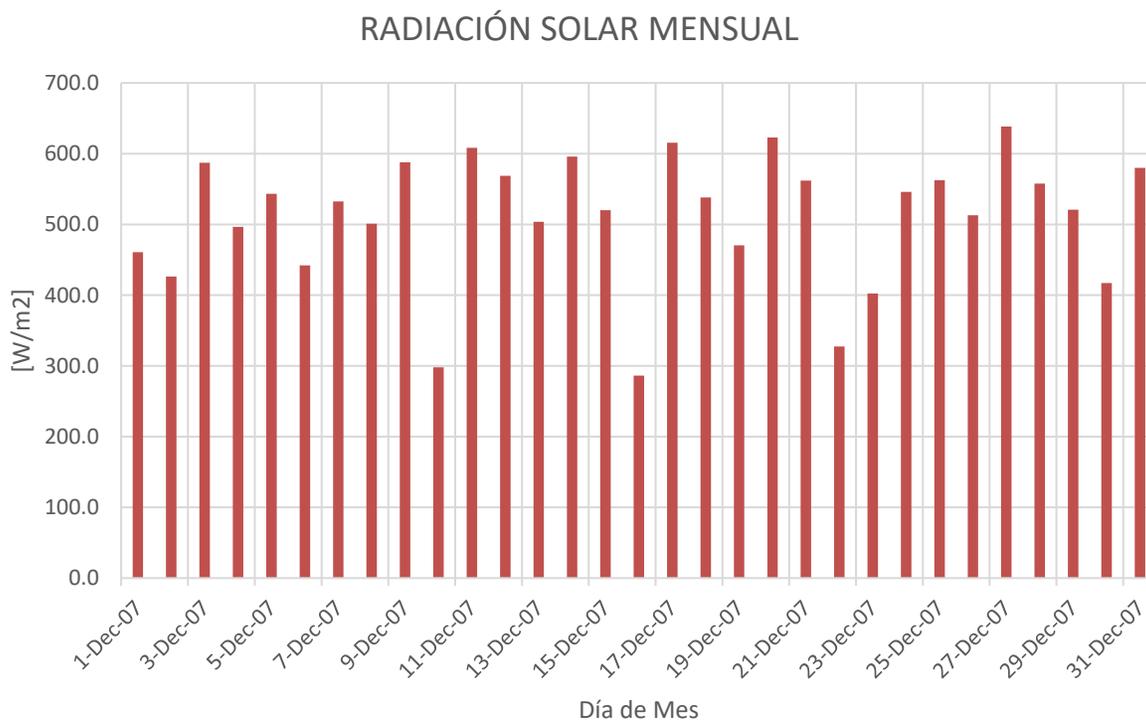


Figura 58. Promedio de Radiación Solar Mensual DICIEMBRE (W/m²)

3.9. Variación del Recurso Solar

La distribución espectral de la radiación incidente sobre la atmósfera terrestre influye en gran medida sobre la mayoría de procesos que en ésta, al igual que en la biosfera, tienen lugar. Su medición, por métodos indirectos basados en medidas terrestres, fue abordada desde principios del siglo XXI. Sin embargo, no fue hasta la llegada de la era espacial cuando se dispuso de medidas fiables.

- a) Irradiación Global
- b) Irradiación Difusa y Directa
- c) Radiación Global sobre Superficies Inclinadas

a) Irradiación Global

Aunque se han desarrollado varios modelos empíricos, por regla general, los parámetros que se requieren para su aplicación son básicamente los mismos. Los parámetros meteorológicos que normalmente se utilizan son la humedad relativa, la temperatura, la altitud, la nubosidad, así como la heliofanía relativa. Los modelos que más aceptación han tenido son aquellos que consideran únicamente la heliofanía relativa o bien la cantidad de nubes ya que son simples expresiones de regresión del proceso real de transferencia radiativa en la atmósfera.

b) Irradiación Difusa y Directa

En su paso a través de la atmósfera, parte de la irradiancia solar es atenuada por dispersión y otra parte por absorción. La radiación que es dispersada por la atmósfera se conoce como radiación difusa. A la radiación que llega a la superficie de la tierra sin haber sufrido cambio en su trayectoria lineal desde el disco solar se llama radiación directa. Conocer el flujo de la radiación solar directa y difusa es importante para el análisis y diseño de algunos sistemas solares. Por ejemplo, el valor de la radiación directa normal es necesario para el cálculo de la radiación solar sobre superficies inclinadas, así como para establecer el desempeño de colectores concentradores.

c) Radiación Global sobre Superficies Inclinadas

La claridad atmosférica se encuentra fuertemente influenciada por el grado de cobertura de las nubes sobre la tierra. Ésta es una variable aleatoria de difícil caracterización, por lo que las ecuaciones para caracterizar el paso de la radiación a

través de la atmósferas nubosas no son sino ajustes estadísticos, y por tanto su valor no es sino el de estimaciones que caben esperar en situaciones medias.

3.10. Centrales de Generación Fotovoltaica

Una central de generación fotovoltaica, es una agrupación de instalaciones solares ubicadas en una misma localización. Una de las ventajas de este tipo de plantas es que no emiten altos niveles de contaminación. De este modo se evita arrojar a la atmosfera cantidades de dióxido de carbono (CO_2) que liberan otro tipo de centrales tradicionales de generación. Este tipo de plantas debe incluir una serie de elementos indispensables para su adecuado funcionamiento y control de la instalación:

a) Módulo Fotovoltaico

La función es captar y transformar la radiación solar en corriente eléctrica. Este tipo de elementos pueden ser conectados en serie o paralelo. Cuando se conectan en serie el voltaje total es la suma de los voltajes individuales de cada uno de los dispositivos, la corriente de salida será igual a la corriente de un módulo. Al conectarlos en paralelo la corriente total será la suma de las corrientes individuales de cada módulo y el voltaje será el mismo que el de uno solo. Por lo tanto, el número de componentes conectado en serie determina el voltaje, y el número de dispositivos en paralelo determina la corriente que se le puede suministrar a una carga.

b) Baterías

La radiación solar naturalmente es variable, y por ende la energía eléctrica que se genera a partir de ella, por esta razón los sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica requiere sistemas de almacenamiento de energía que permitan disponer de

esta energía en periodos en los que no es factible la generación. La BATERIA cumple la función de acumulador de energía. Por esta razón, las propiedades de la batería que se elija para un sistema fotovoltaico influyen en el desempeño de este tipo de sistemas.

c) Inversor

El inversor es el elemento cuya función es adaptar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico a las características eléctricas que requiere la carga a ser alimentada.

d) Regulador de Carga

Es el equipo que controla los procesos de carga y descarga de la batería. Controla el proceso de carga evitando que, con la batería a plena capacidad, los módulos fotovoltaicos sigan inyectando carga a la misma. Se lleva a cabo anulando o reduciendo el paso de corriente del campo fotovoltaico. Controla el proceso de descarga evitando que el estado de carga de la batería alcance un valor demasiado bajo cuando está consumiendo la energía almacenada. Esto se lleva a cabo desconectando la batería de los circuitos de consumo.

e) Elemento de Protección del Circuito

Son elementos como diodos de bloqueo, interruptores para desconexión, tierra, etc., ubicados en diferentes partes del sistema, para brindar protección a los elementos de del mismo, en caso de existir un caso de falla o sobrecarga.

Es importante conocer la disponibilidad en el sitio de instalación el recurso solar, que se define como “la cantidad de radiación solar global o total que incide al día sobre los

módulos solares y que se expresa en $[\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{día}]$ (horas de sol máximo u horas de sol pico)", para obtener este dato es necesario contar con mediciones de campo durante aproximadamente un año en el sitio de la futura instalación, ayudado de las tablas y los mapas de radiación. En la práctica se toma como valor de la radiación, el promedio de los tres meses de peor radiación solar durante el año en la estación de medición.

CAPÍTULO 4

4. METODOLOGÍA

4.1. Metodología de Investigación.

Mediante el estudio de mediciones de velocidad de viento y de irradiación solar se analizará el comportamiento de las Instalaciones Eólicas y Fotovoltaicas en la Isla de Baltra y Santa Cruz.

Con los datos obtenidos de las instalaciones del Sistema Interconectado de Baltra – Santa Cruz, se modelará en estado estable el sistema híbrido (Diésel-Eólico-Fotovoltaico), para diferentes escenarios de demanda, esto permitirá identificar el consumo real de los combustibles fósiles, así como el aporte del recurso renovable “Eólico y Fotovoltaico”, a la demanda de la Isla.

Los escenarios para la demanda del Sistema Interconectado de Baltra – Santa Cruz, serán orientados en base a la curva de la demanda para este sistema y al comportamiento del recurso renovable en las Islas de Baltra y Santa Cruz.

La modelación facilita evaluar al sistema en diversos escenarios. En condiciones severas se debe establecer una reserva rodante necesaria para el sistema, que debe ser prevista en el caso de falla de las unidades eólicas o fotovoltaicas, para una reacción dinámica del Sistema.

En este contexto, el objetivo de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles e impulsar el desarrollo basadas en la contribución de las energías renovables a un Sistema Interconectado Aislado, se evalúa el aporte real de este tipo de tecnología sustentable, para una parte de las Islas Galápagos.

Para la simulación de los diversos escenarios del Sistema Interconectado Baltra – Santa Cruz se usara el programa PowerWorld Simulator.

El PowerWorld Simulator es un paquete de simulación interactiva de Sistemas de Potencia diseñado para simular el funcionamiento, la operación del sistema de potencia de alta tensión en un marco de tiempo que va desde varios minutos a varios días.

El software contiene un paquete de análisis de flujo de potencia eficaz capaz de resolver de manera eficiente los sistemas de hasta 250.000 buses. Esto mediante la interacción de todos los elementos que constituyen un Sistema Eléctrico.

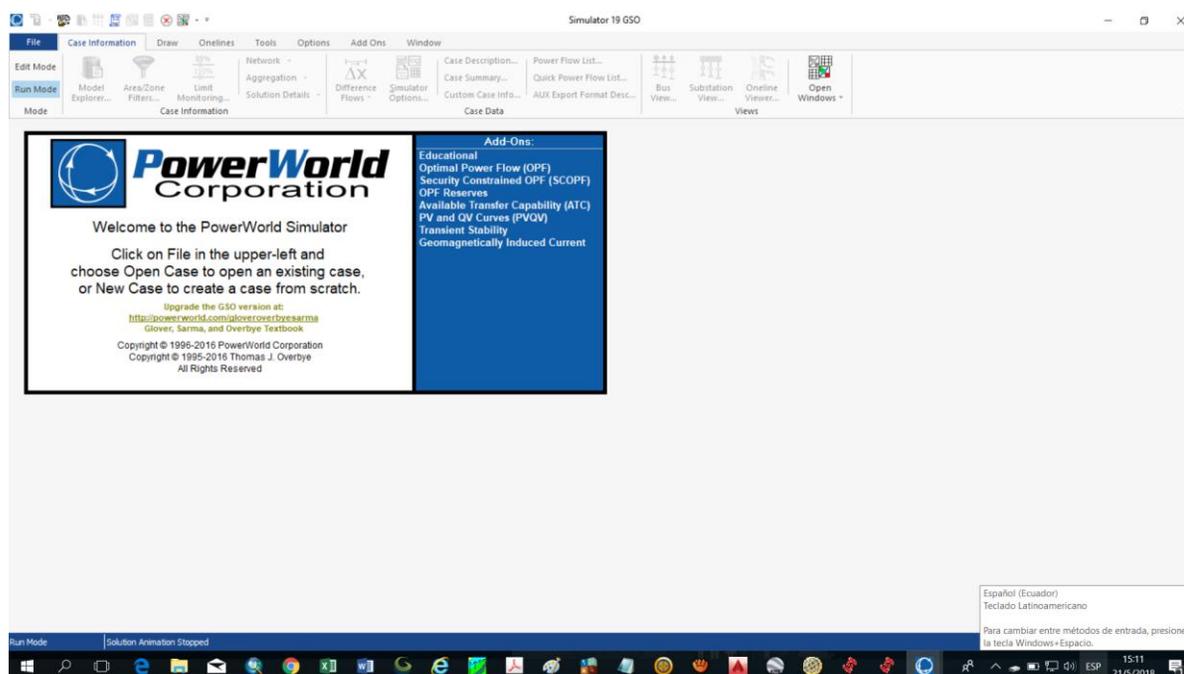


Figura 59. Software PowerWorld y Análisis de Resultados de Campo.
Fuente: PowerWord

4.2. Operación del Sistema Baltra – Santa Cruz

El uso de un aumento de la carga anual del 7% y las curvas de carga típicas en Puerto Ayora (Santa Cruz) y Baltra combinaron, simulaciones con el criterio de estabilidad de

una carga diésel mínimo del 50% indican una tasa de penetración de la energía eólica del 25% (es decir, 6.000 [MWh] de energía eólica de un total demanda de la red de 24.000 [MWh] en 2010) y un exceso de energía eólica de aproximadamente del 19% de la energía eólica producción.

Este exceso de energía eólica, siendo el resultado de una mayor penetración de la energía eólica de la rejilla podía tolerar, reduce la viabilidad económica del proyecto - por lo tanto, un estudio de fase 2 del proyecto es planificada, en la que prácticamente no hay energía eólica tiene que ser reducido (lanzó lejos).

4.3. Comportamiento de la Demanda y Tipos de Usuarios

Las tres turbinas eólicas instaladas en la Isla de Baltra, son TRES (3), cada una de ellas con una capacidad de 750 [kW], dependiendo del aumento de la carga en el Sistema Interconectado Baltra – Santa Cruz, operan en modo estándar, la salida de potencia del parque eólico se reduce para garantizar la estabilidad del Sistema Interconectado.

La categoría de clientes que maneja ELECGALAPAGOS es la siguiente:

1. Usuario Residencial Urbano
2. Usuario Residencial Rural
3. Usuario Comercial
4. Usuario Industrial con Demanda
5. Usuario Industrial sin Demanda

4.4. Curvas características de la Demanda Sistema Baltra – Santa Cruz

POTENCIA ACTIVA RESIDENCIAL URBANO [KW]:

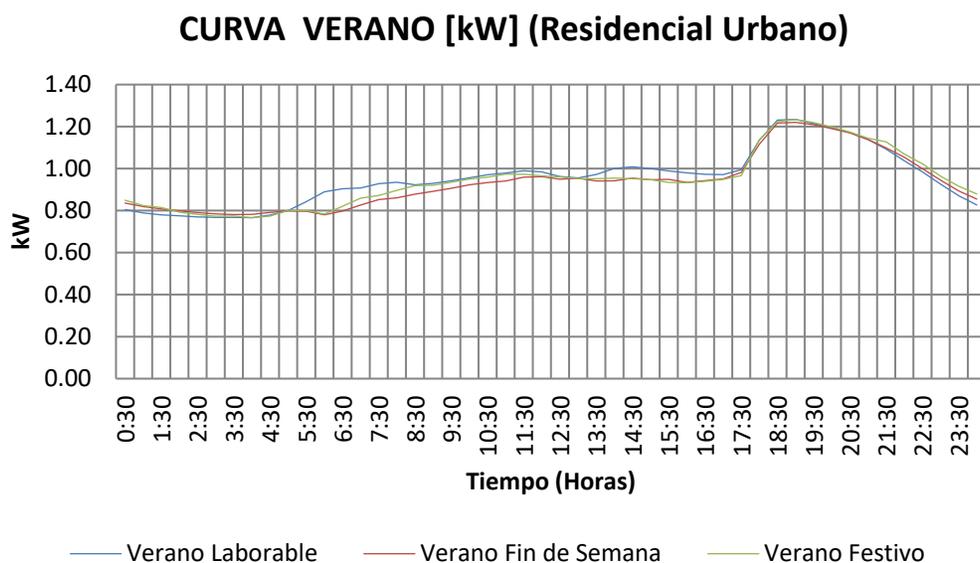


Figura 60. Potencia Activa Residencia Urbano [kW] “VERANO”

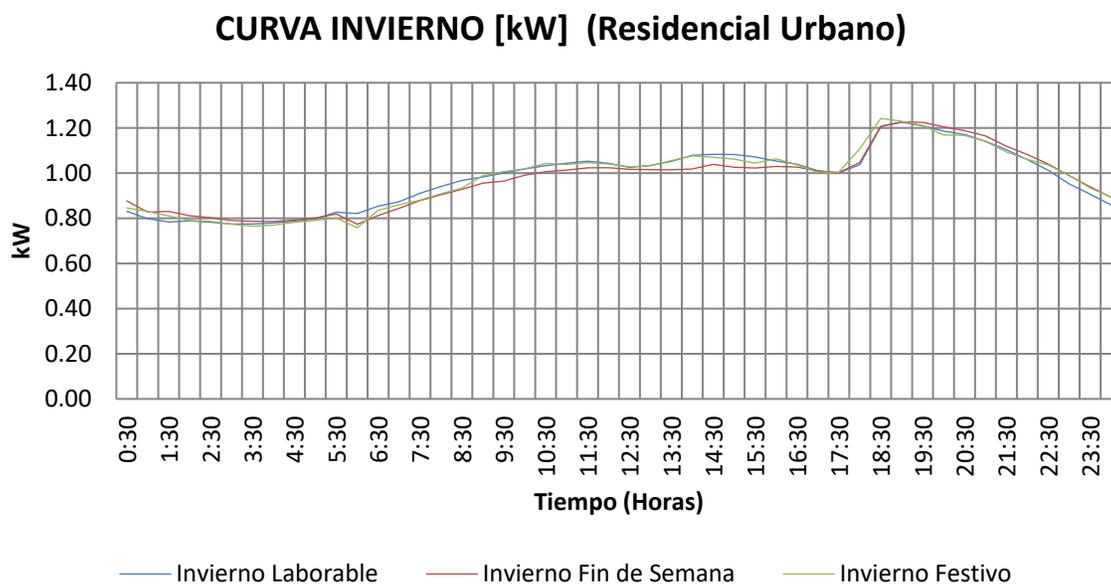


Figura 61. Potencia Activa Residencia Urbano [kW] “INVIERNO”

POTENCIA ACTIVA RESIDENCIAL RURAL [KW]:

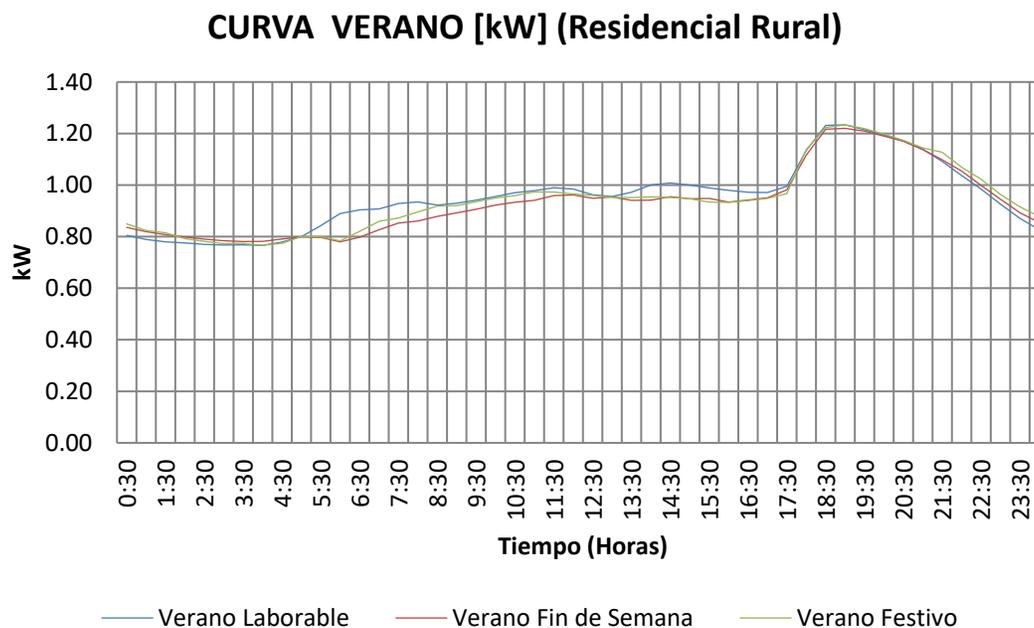


Figura 62. Potencia Activa Residencia Rural [kW] “VERANO”

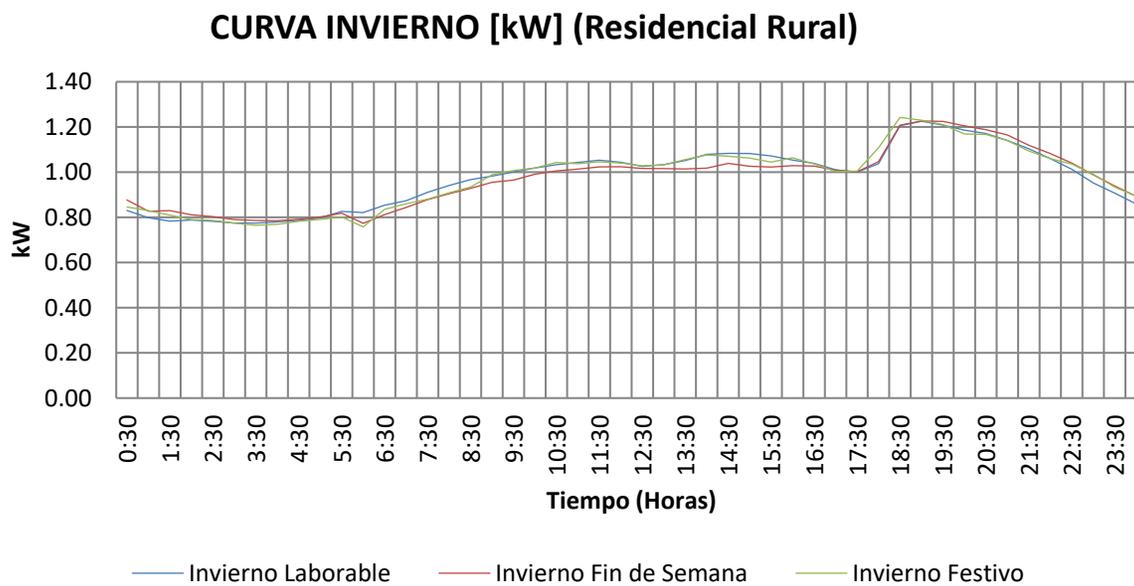
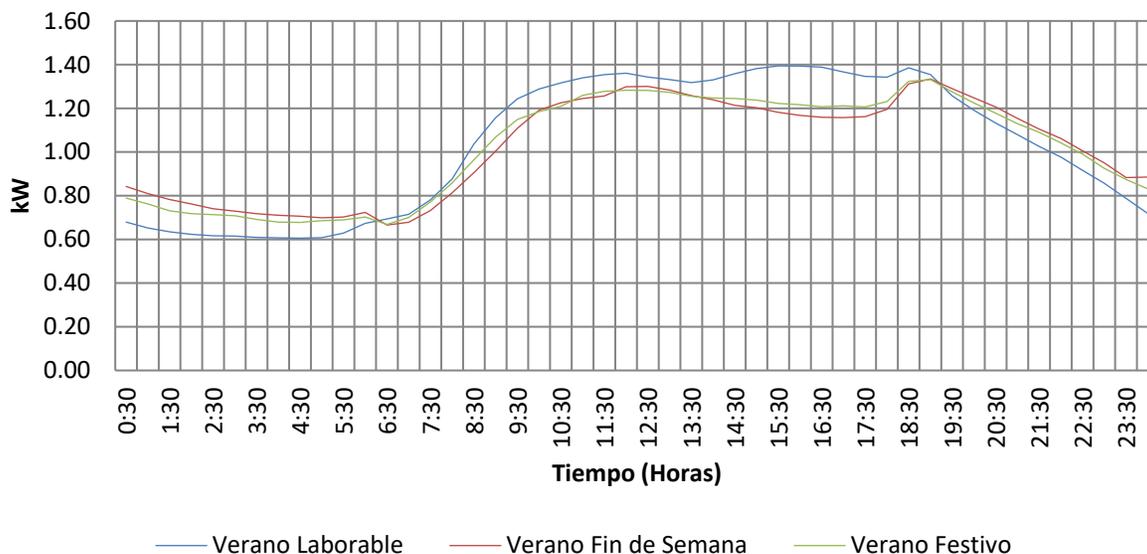
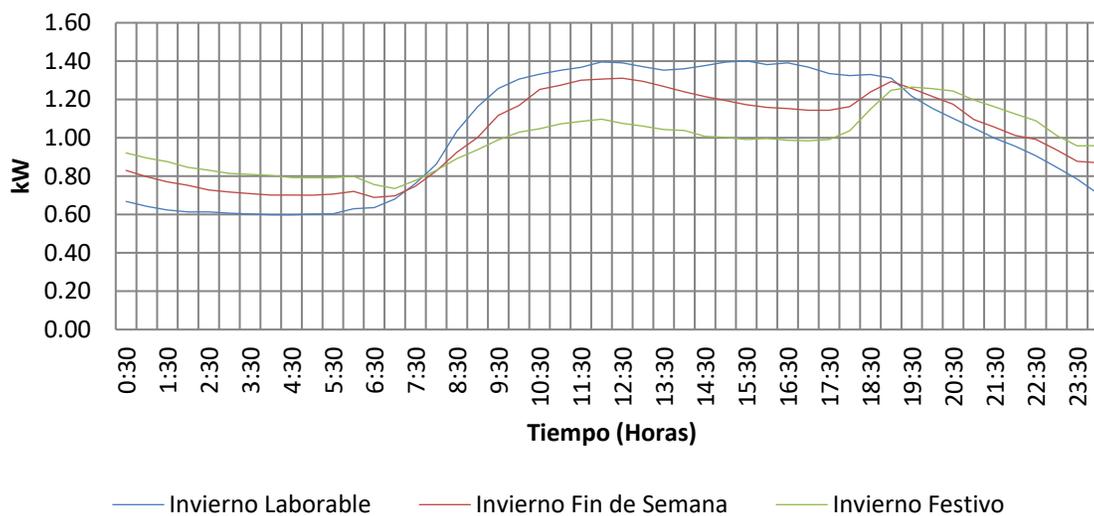


Figura 63. Potencia Activa Residencia Rural [kW] “INVIERNO”

POTENCIA ACTIVA COMERCIAL [kW]:**CURVA VERANO [kW] (Comercial)****Figura 64.** Potencia Activa Residencia Rural [kW] “INVIERNO”**CURVA INVIERNO [kW] (Comercial)****Figura 65.** Potencia Activa Comercial [kW] “INVIERNO”

POTENCIA REACTIVA RESIDENCIAL URBANO [KVAR]:

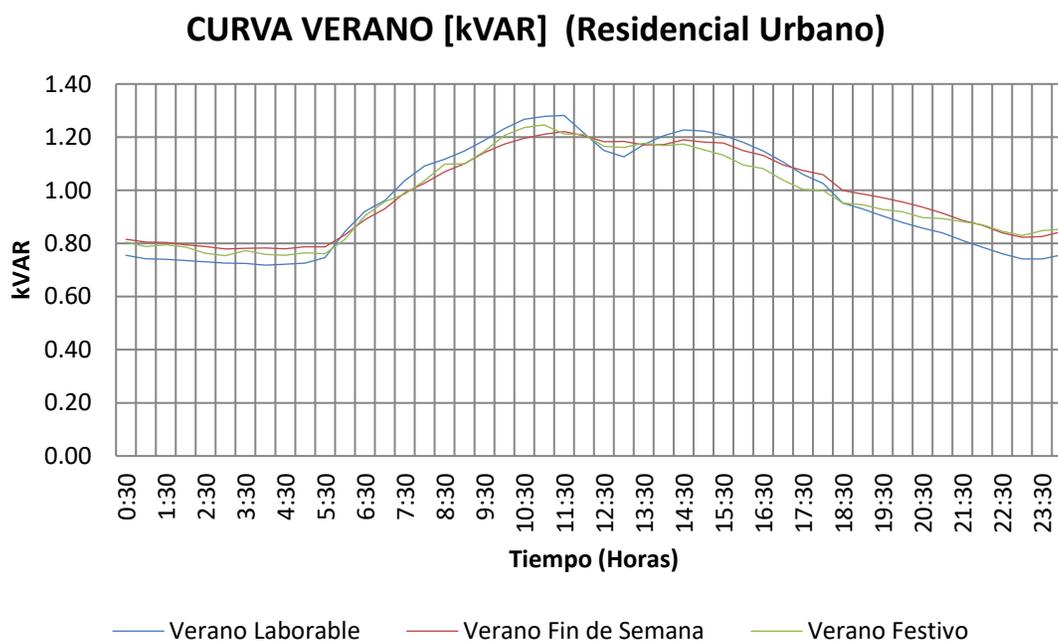


Figura 66. Potencia Reactiva Residencial Urbano [kVAR] “VERANO”

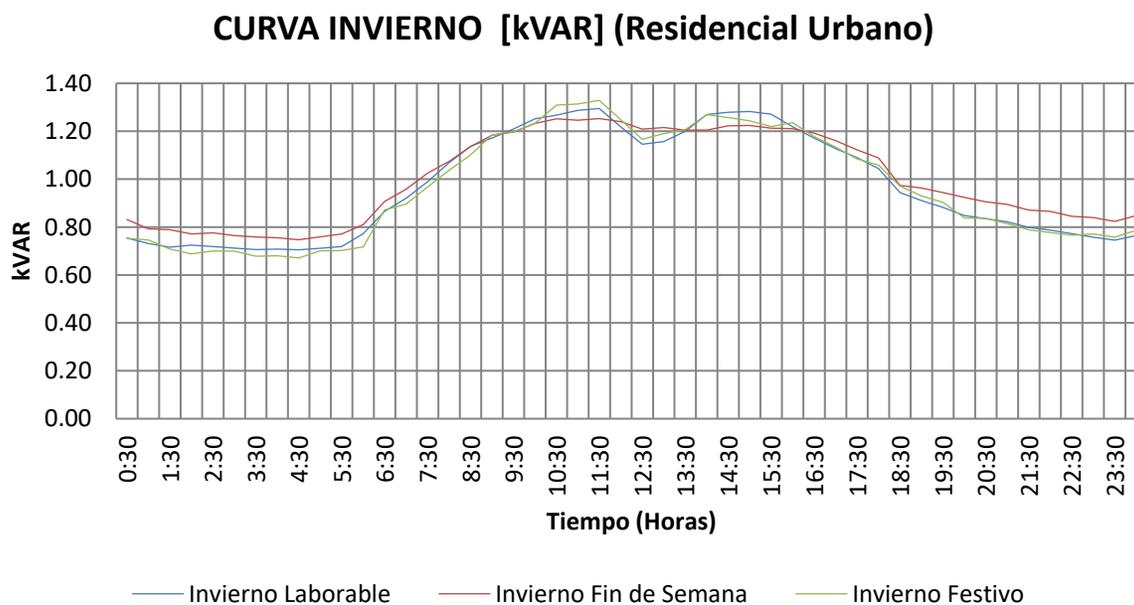


Figura 67. Potencia Reactiva Residencial Urbano [kVAR] “INVIERNO”

POTENCIA REACTIVA RESIDENCIAL RURAL [KVAR]:

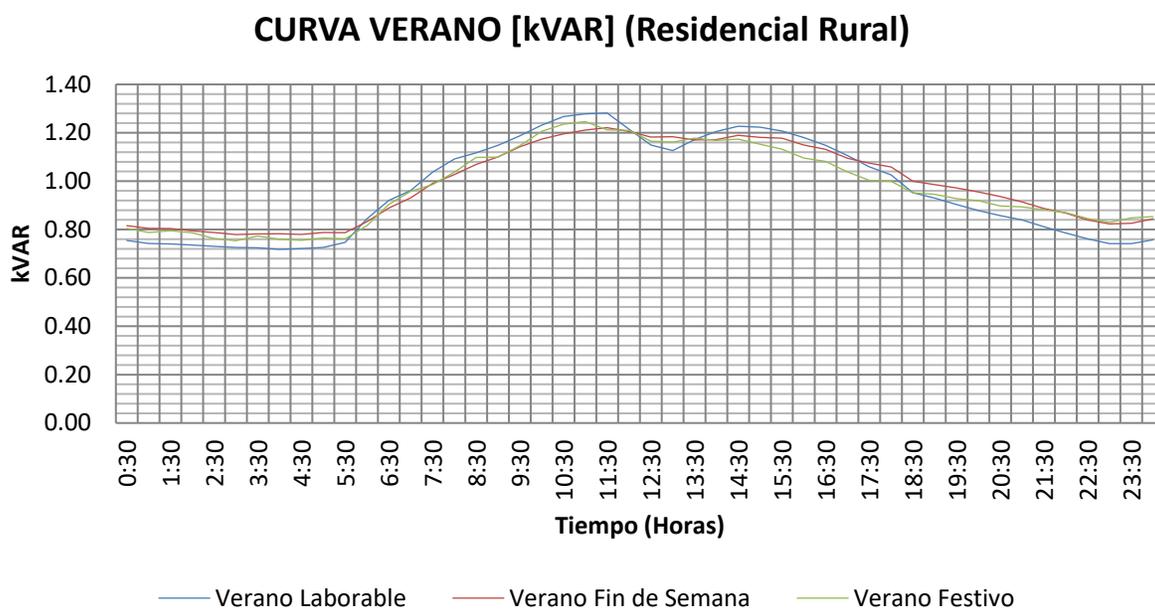


Figura 68. Potencia Reactiva Residencial Urbano [kVAR] “VERANO”

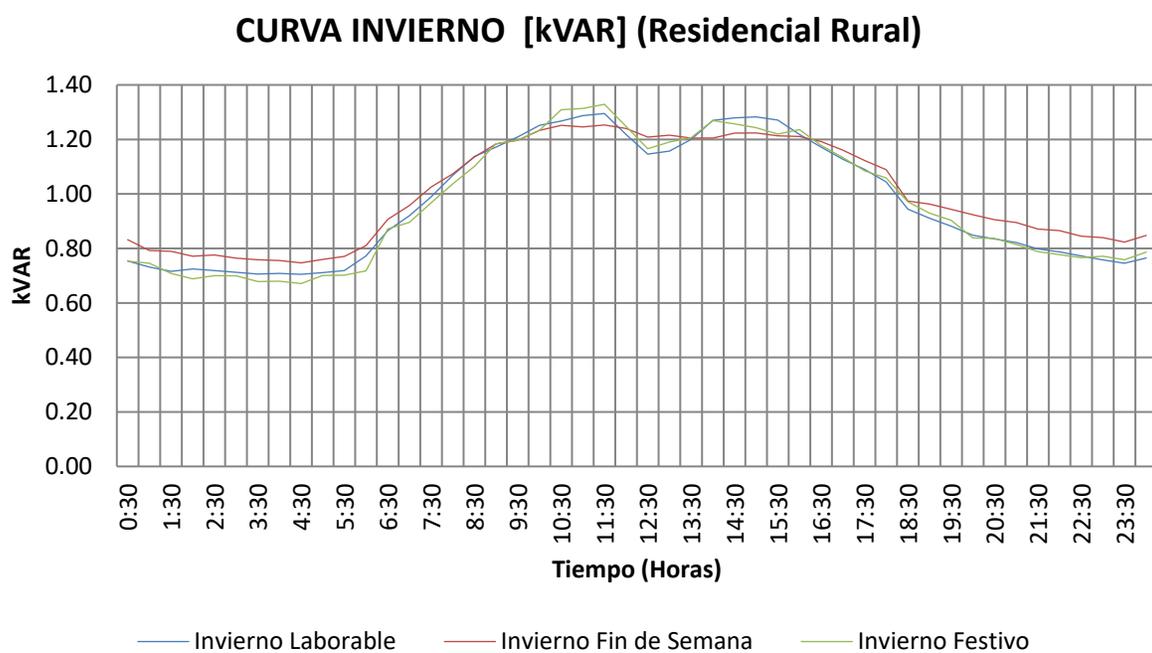


Figura 69. Potencia Reactiva Residencial Rural [kVAR] “INVIERNO”

POTENCIA REACTIVA COMERCIAL [KVAR]:

CURVA VERANO [kVAR] (Comercial)

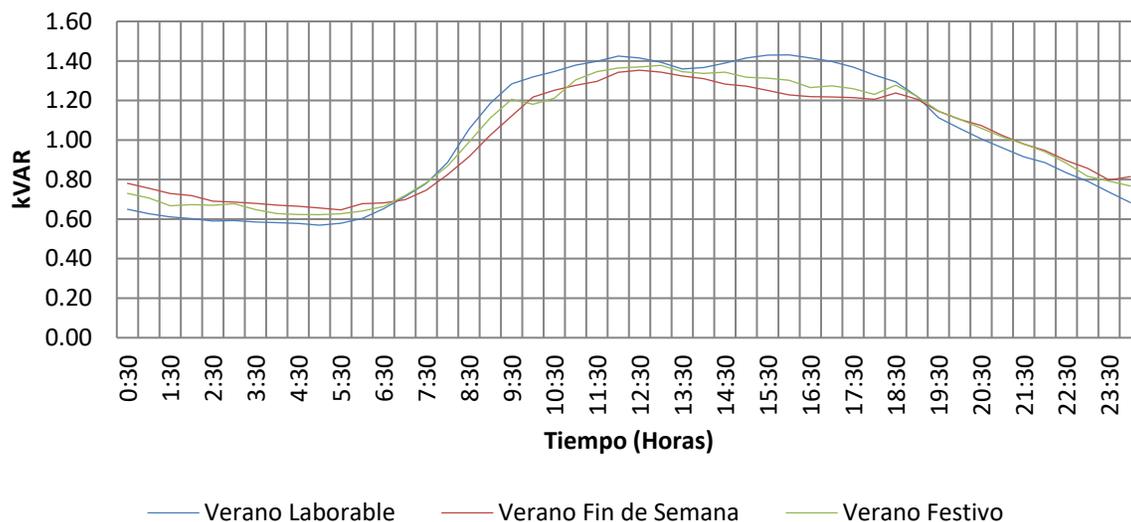


Figura 70. Potencia Reactiva Residencial Comercial [kVAR] “INVIERNO”

CURVA INVIERNO [kVAR] (Comercial)

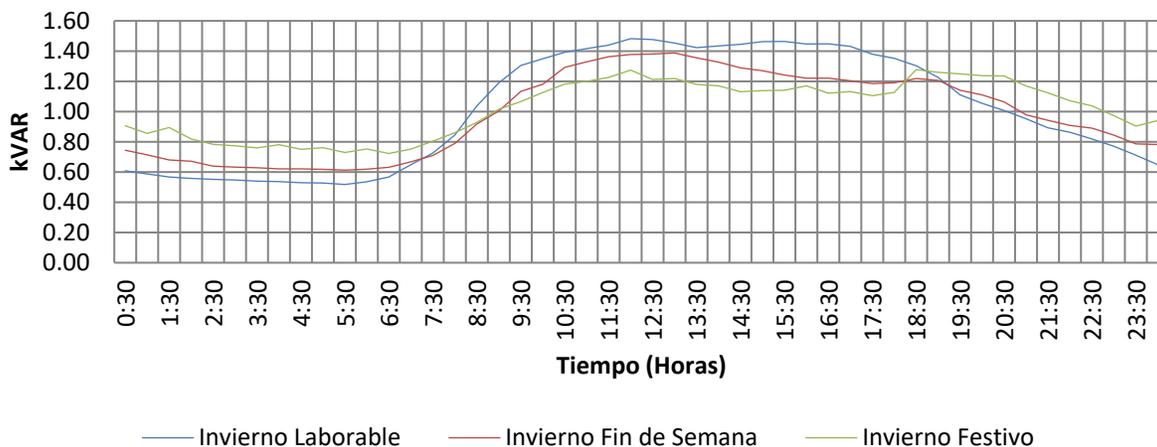


Figura 71. Potencia Reactiva Residencial Comercial [kVAR] “INVIERNO”

El incremento anual de la carga para este Sistema Interconectado Baltra – Santa Cruz es de 7%. Y las estaciones definidas por ELECGALAPAGOS están consideradas de la siguiente manera:

Tabla 12

Estaciones de trabajo, tipo de Clientes

NOMBRE	FECHA INICIO	FECHA FIN	CLIENTE
Verano (Estación Seca)	01 de Mayo	31 de Diciembre	Todos
Invierno (Periodo de llluvias)	01 de Enero	30 de Abril	Todos

Fuente: ELECGALÁPAGOS

Tabla 13

División de días dentro de una semana típica.

TIPO DIA	ACTIVIDA DE DIAS DE SEMANA						
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
Laborable	X	X	X	X	X		
Fin de Semana						X	X

Fuente: ELECGALÁPAGOS

Si bien es cierto existe una categoría de los clientes señalados anteriormente, en la actualidad en Galápagos no existe el Cliente Industrial con Demanda y sin demanda, debido a esto no se exponen las curvas de demanda.

REGIONAL	Tipo	Categoría	Estación	Tipo Día	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00		
ELECGALAPAGOS S.A.	Activa	1	Verano	Laborable	0.81	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78	0.80	0.84	0.89	0.90	0.91	0.93	0.93	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	0.99	0.98	0.96	0.96	0.97	1.00	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	1.00	1.13	1.23	1.23	1.21	1.19	1.17	1.14	1.09	1.04	0.98	0.93	0.87	0.83		
	Activa	1	Verano	Fin de Semana	0.84	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.78	0.80	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.93	0.94	0.95	0.98	1.12	1.22	1.22	1.21	1.19	1.17	1.14	1.10	1.05	1.00	0.94	0.89	0.85	
	Activa	1	Verano	Festivo	0.85	0.82	0.81	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.80	0.80	0.78	0.82	0.86	0.87	0.90	0.92	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.93	0.93	0.94	0.95	0.97	1.14	1.22	1.23	1.22	1.20	1.17	1.14	1.13	1.07	1.02	0.96	0.92	0.88	
	Activa	1	Invierno	Laborable	0.83	0.80	0.78	0.79	0.78	0.77	0.77	0.78	0.79	0.80	0.83	0.82	0.85	0.87	0.91	0.94	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04	1.05	1.04	1.03	1.03	1.05	1.08	1.08	1.08	1.07	1.05	1.04	1.01	1.00	1.04	1.21	1.23	1.21	1.19	1.17	1.14	1.10	1.06	1.01	0.95	0.91	0.86		
	Activa	1	Invierno	Fin de Semana	0.88	0.83	0.83	0.81	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.82	0.77	0.81	0.84	0.88	0.90	0.93	0.96	0.96	0.99	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.04	1.03	1.02	1.03	1.03	1.01	1.00	1.05	1.21	1.23	1.22	1.20	1.19	1.16	1.12	1.08	1.04	0.99	0.94	0.89
	Activa	1	Invierno	Festivo	0.85	0.83	0.81	0.79	0.79	0.77	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.76	0.84	0.86	0.88	0.91	0.93	0.99	1.01	1.02	1.04	1.04	1.05	1.04	1.03	1.03	1.06	1.08	1.07	1.06	1.04	1.06	1.04	1.00	1.00	1.11	1.24	1.23	1.21	1.17	1.17	1.14	1.09	1.06	1.04	0.99	0.93	0.89		
	Reactiva	1	Verano	Laborable	0.75	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.73	0.75	0.84	0.92	0.96	1.04	1.09	1.12	1.15	1.19	1.23	1.27	1.28	1.28	1.21	1.15	1.13	1.17	1.21	1.23	1.22	1.21	1.18	1.15	1.11	1.06	1.03	0.95	0.93	0.90	0.88	0.86	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.74	0.76		
	Reactiva	1	Verano	Fin de Semana	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.83	0.89	0.93	0.99	1.03	1.07	1.10	1.14	1.17	1.20	1.21	1.22	1.21	1.18	1.18	1.17	1.17	1.19	1.18	1.15	1.13	1.10	1.07	1.06	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.91	0.89	0.87	0.84	0.82	0.83	0.84				
	Reactiva	1	Verano	Festivo	0.80	0.79	0.79	0.79	0.76	0.75	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.82	0.90	0.96	0.99	1.04	1.10	1.10	1.15	1.21	1.24	1.25	1.21	1.21	1.17	1.16	1.18	1.17	1.17	1.15	1.13	1.10	1.08	1.04	1.00	1.00	0.95	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.88	0.87	0.85	0.83	0.85	0.85		
	Reactiva	1	Invierno	Laborable	0.75	0.73	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.72	0.77	0.87	0.92	0.99	1.07	1.14	1.17	1.21	1.25	1.27	1.29	1.29	1.22	1.15	1.16	1.20	1.27	1.28	1.28	1.27	1.22	1.17	1.13	1.09	1.04	0.94	0.91	0.88	0.85	0.84	0.82	0.80	0.79	0.77	0.76	0.75	0.76		
	Reactiva	1	Invierno	Fin de Semana	0.83	0.79	0.79	0.77	0.78	0.76	0.76	0.76	0.75	0.76	0.77	0.81	0.91	0.96	1.03	1.07	1.14	1.18	1.20	1.23	1.25	1.25	1.24	1.21	1.22	1.21	1.20	1.22	1.22	1.21	1.21	1.19	1.16	1.12	1.09	0.97	0.96	0.94	0.92	0.91	0.89	0.87	0.87	0.85	0.84	0.82	0.85			
	Reactiva	1	Invierno	Festivo	0.75	0.75	0.71	0.69	0.70	0.70	0.68	0.68	0.67	0.70	0.70	0.72	0.87	0.90	0.97	1.04	1.10	1.18	1.20	1.23	1.31	1.31	1.33	1.25	1.17	1.19	1.21	1.27	1.26	1.24	1.22	1.24	1.18	1.13	1.08	1.06	0.97	0.93	0.90	0.84	0.84	0.81	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.79		
	Activa	2	Verano	Laborable	0.81	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78	0.80	0.84	0.89	0.90	0.91	0.93	0.93	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	0.99	0.98	0.96	0.96	0.97	1.00	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	1.00	1.13	1.23	1.23	1.21	1.19	1.17	1.14	1.09	1.04	0.98	0.93	0.87	0.83		
	Activa	2	Verano	Fin de Semana	0.84	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.78	0.80	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.93	0.94	0.95	0.98	1.12	1.22	1.22	1.21	1.19	1.17	1.14	1.10	1.05	1.00	0.94	0.89	0.85		
	Activa	2	Verano	Festivo	0.85	0.82	0.81	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.80	0.80	0.78	0.82	0.86	0.87	0.90	0.92	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.93	0.93	0.94	0.95	0.97	1.14	1.22	1.23	1.22	1.20	1.17	1.14	1.13	1.07	1.02	0.96	0.92	0.88	
	Activa	2	Invierno	Laborable	0.83	0.80	0.78	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.78	0.79	0.80	0.83	0.82	0.85	0.87	0.91	0.94	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04	1.05	1.04	1.03	1.03	1.05	1.08	1.08	1.08	1.07	1.05	1.04	1.01	1.00	1.04	1.21	1.23	1.21	1.19	1.17	1.14	1.10	1.06	1.01	0.95	0.91	0.86	
	Activa	2	Invierno	Fin de Semana	0.88	0.83	0.83	0.81	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.82	0.77	0.81	0.84	0.88	0.90	0.93	0.96	0.96	0.99	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.04	1.03	1.02	1.03	1.03	1.01	1.00	1.05	1.21	1.23	1.22	1.20	1.19	1.16	1.12	1.08	1.04	0.99	0.94	0.89	
	Activa	2	Invierno	Festivo	0.85	0.83	0.81	0.79	0.79	0.77	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.76	0.84	0.86	0.88	0.91	0.93	0.99	1.01	1.02	1.04	1.04	1.05	1.04	1.03	1.03	1.06	1.08	1.07	1.06	1.04	1.06	1.04	1.00	1.00	1.11	1.24	1.23	1.21	1.17	1.17	1.14	1.09	1.06	1.04	0.99	0.93	0.89		
	Reactiva	2	Verano	Laborable	0.75	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.73	0.75	0.84	0.92	0.96	1.04	1.09	1.12	1.15	1.19	1.23	1.27	1.28	1.28	1.21	1.15	1.13	1.17	1.21	1.23	1.22	1.21	1.18	1.15	1.11	1.06	1.03	0.95	0.93	0.90	0.88	0.86	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.74	0.76		
	Reactiva	2	Verano	Fin de Semana	0.82	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.83	0.89	0.93	0.99	1.03	1.07	1.10	1.14	1.17	1.20	1.21	1.22	1.21	1.18	1.18	1.17	1.17	1.19	1.18	1.15	1.13	1.10	1.07	1.06	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.91	0.89	0.87	0.84	0.82	0.83	0.84				
	Reactiva	2	Verano	Festivo	0.80	0.79	0.79	0.79	0.76	0.75	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.82	0.90	0.96	0.99	1.04	1.10	1.10	1.15	1.21	1.24	1.25	1.21	1.21	1.17	1.16	1.18	1.17	1.17	1.15	1.13	1.10	1.08	1.04	1.00	1.00	0.95	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.88	0.87	0.85	0.83	0.85	0.85		
	Reactiva	2	Invierno	Laborable	0.75	0.73	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.72	0.77	0.87	0.92	0.99	1.07	1.14	1.17	1.21	1.25	1.27	1.29	1.29	1.22	1.15	1.16	1.20	1.27	1.28	1.28	1.27	1.22	1.17	1.13	1.09	1.04	0.94	0.91	0.88	0.85	0.84	0.82	0.80	0.79	0.77	0.76	0.75	0.76		
	Reactiva	2	Invierno	Fin de Semana	0.83	0.79	0.79	0.77	0.78	0.76	0.76	0.76	0.75	0.76	0.77	0.81	0.91	0.96	1.03	1.07	1.14	1.18	1.20	1.23	1.25	1.25	1.24	1.21	1.22	1.21	1.20	1.22	1.22	1.21	1.21	1.19	1.16	1.12	1.09	0.97	0.96	0.94	0.92	0.91	0.89	0.87	0.87	0.85	0.84	0.82	0.85			
	Reactiva	2	Invierno	Festivo	0.75	0.75	0.71	0.69	0.70	0.70	0.68	0.68	0.67	0.70	0.70	0.72	0.87	0.90	0.97	1.04	1.10	1.18	1.20	1.23	1.31	1.31	1.33	1.25	1.17	1.19	1.21	1.27	1.26	1.24	1.22	1.24	1.18	1.13	1.08	1.06	0.97	0.93	0.90	0.84	0.84	0.81	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.79		
	Activa	3	Verano	Laborable	0.68	0.65	0.63	0.62	0.62	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.63	0.67	0.69	0.71	0.78	0.88	1.04	1.16	1.24	1.29	1.32	1.34	1.35	1.36	1.34	1.33	1.32	1.33	1.36	1.38	1.39	1.39	1.39	1.39	1.37	1.35	1.34	1.39	1.35	1.26	1.19	1.13	1.08	1.03	0.98	0.92	0.86	0.79	0.72	
	Activa	3	Verano	Fin de Semana	0.84	0.81	0.78	0.76	0.74	0.73	0.72	0.71	0.71	0.70	0.7																																							

4.5. Sistema de Generación modelado en PowerWorld

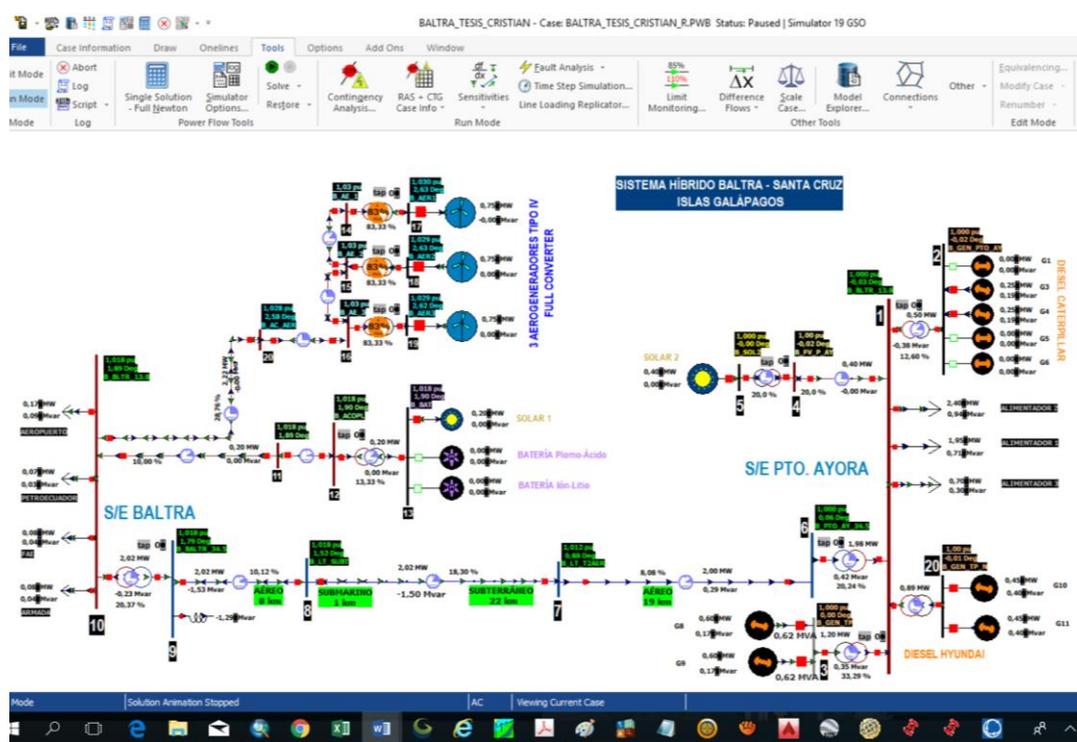


Figura 73. Diagrama Unifilar Baltra – Santa Cruz. Estabilidad Dinámica

4.5.1. Generación Convencional

Se realiza la simulación de la generación convencional de la planta de Puerto Ayora, ubicada en la Isla de Santa Cruz, es cierto que existe una generación convencional ubicada en baltra, pero debido a su capacidad no se considera relevante para el presente estudio.

4.5.2. Generación de Puerto Ayora

La generación existente en Puerto Ayora se conforma de 9 generadores de tecnología Diésel (identificados como G1 a G9). Estos generadores están subdivididos en dos grupos conectados a barras terminales. El primer grupo está integrado por los generadores G1 a G7, el segundo grupo de generadores está establecido por los G8 y

G9. Los dos grupos de generadores mencionados, se conectan a la barra de 13.8 [kV] de la subestación de Santa Cruz, a través de dos transformadores de elevación (ver figura 74), se considera que todos los generadores diésel contribuirán con el control del voltaje en la barra de 13.8 [kV].

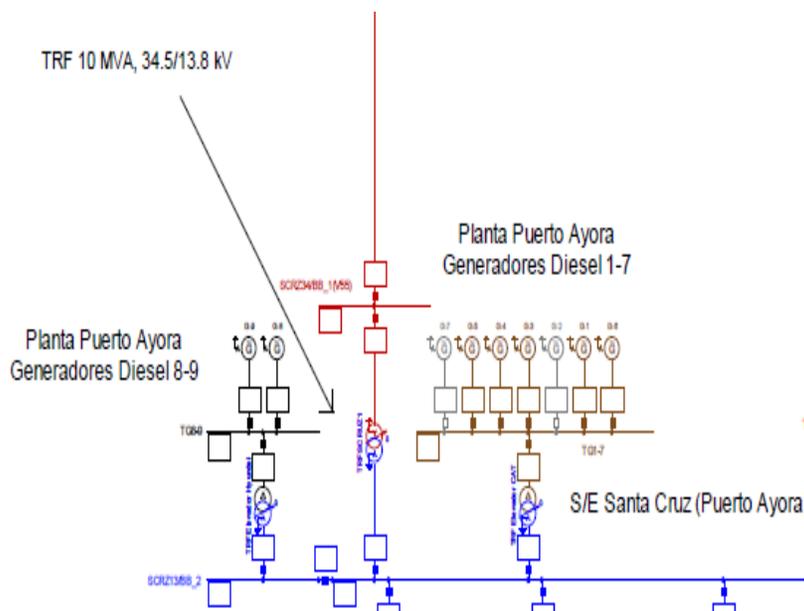


Figura 74. Esquema de conexión generadores

Tabla 14

Características de los Transformadores Elevadores.

Transformador	TRF Elevador CAT	TRF Elevador HYUNDAI
Tipo	TRF CAT 13.8 / 0.48	TRF HYUNDAI 13.8 / 0.48
[kVA] nominales	5000	3750
Relación HV/LV [kV]	13.8 / 0.48	13.8 / 4.16
Conexión	YnD5	YnD5
Xcc (%)	7.39	5.50
Xcc0 (%)	7.39 (2)	5.50 (2)
Pérdidas en cobre [kW]	(1)	(1)
Resistencia Secuencia 0 (%)	(1)	(1)
Pérdidas en vacío [kW]	(1)	(1)
Corriente en vacío (%)	0.23	0.23
Cambiador de tomas	Lado HV, ΔV por toma = 2.5%, Reg= $\pm 5\%$ (2)	Lado HV, ΔV por toma = 2.5%, Reg= $\pm 5\%$ (2)
Observaciones	TRF. Elevador para el grupo de generadores G1 a G7	TRF. Elevador para el grupo de generadores G8 y G9

(1): Valores Indisponibles, se asume 0.0

(2): Valores Estimados o típicos

Tabla 15*Características Básicas de los generadores.*

Generador	Tipo	[kVA] Nominal	[kW] Nominal	[kW] Efectivo	[V] Nominal	Estado
G-1	CAT 3512	812	650	520	480	Disponible
G-2	CAT 3512	812	650	520	480	Indisponible
G-3	CAT 3512	812	650	520	480	Disponible
G-4	CAT 3512	812	650	520	480	Disponible
G-5	CAT PM3516	1375	1100	880	480	Disponible
G-6	CAT 3512	812	650	520	480	Disponible
G-7	CAT C32	1137	910	728	480	Indisponible
G-8	HYUNDAI	2127	1700	1360	480	Disponible
G-9	HYUNDAI	2127	1700	1360	480	Disponible

4.5.3. Generación Renovable / No Convencional

La generación no convencional instalada en el sistema de las Islas Galápagos (Baltra y Santa Cruz), y modelada para el presente estudio, está conformada por:

- a. Un parque eólico en Baltra, con 3 aerogeneradores de 750 [kW] cada uno
- b. Una planta Fotovoltaica en Baltra, de 200 [kW] de potencia nominal
- c. Un banco de baterías para regulación de fluctuaciones viento/irradiación (baterías Ion-Litio) con capacidad de potencia de 500 [kW] y 400 [kWh] de capacidad de energía
- d. Un banco de baterías para almacenamiento de energía no usada (baterías Plomo ácido) con capacidad de potencia de 600 [kW] y 4000 [kWh] de capacidad de energía
- e. Una segunda planta Fotovoltaica de 1500 [kW] de potencia nominal en Santa Cruz.

A continuación se dan los detalles de modelación de cada una de las plantas.

4.5.4. Parque Eólico Baltra

El parque eólico Baltra está constituido por tres aerogeneradores de 750 [kW] de potencia nominal, con conversor AC/DC/AC completo (Fully Rated Converter Wind Turbine Generator, FRCWTG), con tensión de salida de 690 V. La salida de cada aerogenerador está conectada al nivel de 13.8 [kV] de la red de transmisión Baltra-santa Cruz por medio de un transformador elevador dedicado. Los aerogeneradores estarán conectados en un esquema "Daisy Chain" mediante un cable a 13.8 [kV], que terminará en el cuarto de acople con la red. El esquema unifilar de la configuración descrita de la planta puede verse en la Figura 75.

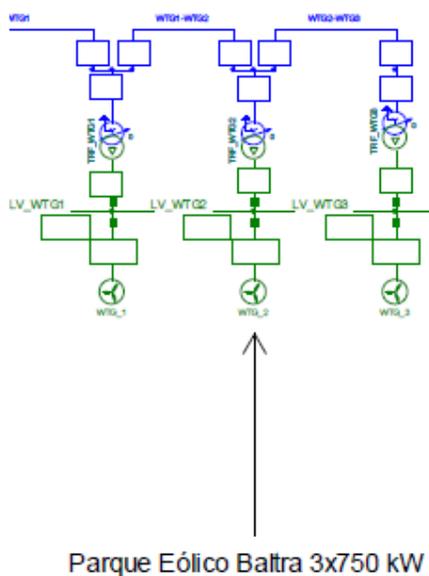


Figura 75. Esquema de conexión Aerogeneradores

Los parámetros y características de los elementos de red utilizados se dan a continuación, así como una breve descripción del modelo dinámico de control de los aerogeneradores.

Tabla 16*Características Básicas de los Elevadores (Transformadores).*

Transformador	TRF WTG1, TRF WTG2, TRF WGT3
Tipo	TRF 0.9 [MVA] 13.8 / 0.69 [kV]
[kVA] nominales	900
Relación HV/LV [kV]	13.8 / 0.69
Conexión	YnD1
Xcc (%)	6.0
Xcc0 (%)	6.0 (2)
Pérdidas en cobre [kW]	8.2
Resistencia Secuencia 0 (%)	0.9 (2)
Pérdidas en vacío [kW]	2.3
Corriente en vacío (%)	(1)
Cambiador de tomas	Lado HV, ΔV por toma = 2.5%, Reg= \pm 5%

(1): Valores Indisponibles, se asume 0.0

(2): Valores Estimados o típicos

Tabla 17*Características Básicas de los Cables.*

Tramo	Tipo	Longitud [km]	Capacidad [kW]	R / R0 [ohm/km]	X / X0 [ohm/km]	B / B0 [uF/km]
C.Acople – WTG1	XLPE 2/0Cu	0.205	0.211	0.268 / 1.1347	0.129 / 0.52165	0.19 / 0.187
WTG1 – WTG2	XLPE 2/0Cu	0.208	0.211	0.268 / 1.1347	0.129 / 0.52165	0.19 / 0.187
WTG2 – WTG3	XLPE 2/0Cu	0.191	0.211	0.268 / 1.1347	0.129 / 0.52165	0.19 / 0.187

4.5.5. Parque Fotovoltaico Santa Cruz

El parque fotovoltaico Santa Cruz cuenta con una potencia nominal de 1500 [kW], una tensión de salida del inversor de 0.4 [kV], y se conectará a la red en la subestación de Santa Cruz a 13.8 [kV]. No se dispone de mayor información sobre el cableado y transformador(es) de la planta, por lo cual se modeló una conexión directa a la subestación de Santa Cruz mediante un transformador elevador de dimensiones y características estimadas.

Tabla 18*Características del Transformador Elevador.*

Transformador	TRF PV SCRUZ
Tipo	TRF PV SMA 2 [MVA]
[kVA] nominales	2000
Relación HV/LV [kV]	13.8 / 0.4
Conexión	DYn5
Xcc (%)	6.0
Xcc0 (%)	6.0
Pérdidas en cobre [kW]	18.0
Resistencia Secuencia 0 (%)	0.9
Pérdidas en vacío [kW]	0.0
Corriente en vacío (%)	0.0
Cambiador de tomas	Lado HV, ΔV por toma = 2.5%, Reg= \pm 5%

(1): Todos los valores fueron estimados

4.5.6. Parque Fotovoltaico Baltra

El parque fotovoltaico en Baltra tiene una potencia nominal de 200 [kW] y una tensión de salida del inversor de 0.48 [kV], está conectado a la red a nivel de 13.8 [kV] en el mismo cuarto de acople del parque eólico de Baltra. No se dispone de mayor información sobre el cableado de la planta, por lo cual se modeló una conexión directa a una barra individual (separada de la barra representativa de la conexión del parque eólico) en el cuarto de acople en Baltra mediante un transformador elevador de 1.5 [MVA] y características estimadas.

Tabla 19*Características del Transformador Elevador.*

Transformador	TRF PV / BESS BALTRA
Tipo	TRF 1.5 [MVA] 1.8 / 0.48 [kV]
[kVA] nominales	1500
Relación HV/LV [kV]	13.8 / 0.48
Conexión	DYn5
Xcc (%)	6.0
Xcc0 (%)	6.0
Pérdidas en cobre [kW]	13.5
Resistencia Secuencia 0 (%)	0.9
Pérdidas en vacío [kW]	0.0
Corriente en vacío (%)	0.0
Cambiador de tomas	Lado HV, ΔV por toma = 2.5%, Reg= \pm 5%

(1): Todos los valores fueron estimados

4.5.7. Bancos de Baterías en Baltra

En la isla Baltra, están instalados dos bancos de baterías asociados al parque fotovoltaico con finalidades diferentes: un banco de baterías de Ion-Litio para regulación de fluctuaciones de las fuentes de energía renovable y el otro banco de baterías de plomo ácido para almacenamiento y re-utilización de la energía renovable no usada. El banco de baterías de Ion-Litio cuenta con un inversor con capacidad de potencia nominal de 500 [kVA], y una capacidad de almacenamiento de 400 [kWh]. La tensión de salida del inversor es de 0.48 [kV]. Su conexión a la red a nivel de 13.8 [kV] está en la misma barra de conexión del parque fotovoltaico de Baltra, mediante el mismo transformador elevador descrito en el punto anterior. No se dispone de mayor información sobre el cableado asociado a este banco de baterías, por lo cual se le modeló como una inyección directa en el lado de baja del transformador elevador.

4.6. Sistema de Transmisión

4.6.1. Línea de Transmisión

El sistema de transmisión Baltra – Santa Cruz cuenta con dos niveles de voltaje: 34.5 [kV] y 13.8 [kV]. La transmisión desde el cuarto de acople (que agrupa las llegadas del parque eólico, de la planta fotovoltaica y de los bancos de baterías en Baltra) a la subestación de Baltra es mediante dos circuitos trifásicos (uno desde cada una de las llegadas de los parques eólico y fotovoltaico en el cuarto de acople) a 13.8 [kV] de conductor 3/0 AWG montados en postes multi-circuito. La línea de transmisión Baltra – Santa Cruz a 34.5 [kV] tiene diferentes tramos de tipología distinta (línea aérea de

conductor 250 MCM, cable submarino de 95 [mm²] para el cruce del canal de Itabaca entre las islas Baltra y Santa Cruz, y cable subterráneo de 120 [mm²]). En su primer tramo, la línea Baltra – Santa Cruz 34.5 [kV] estará montada en postes compartidos con los circuitos a 13.8 [kV] desde el cuarto de acople a la subestación de Baltra.

En la Figura 76 se muestran de forma esquemática los tramos de línea conformantes el sistema de transmisión Baltra – Santa Cruz.

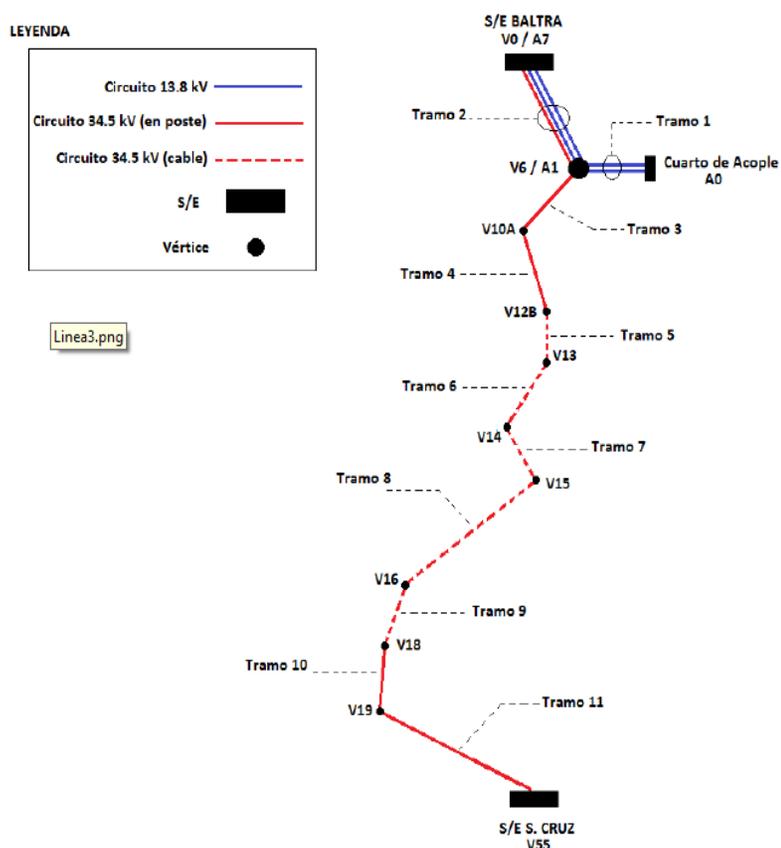


Figura 76. Esquema del Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz.
Fuente: ELECGALAPAGOS

Las especificaciones de construcción y parámetros de conductores y sistemas de cables se detallan a continuación:

Tabla 20**Especificaciones de construcción**

Tramo	Longitud [km]	Vértices	Tipo de Instalación	Circuitos	Cable Tripolar	Conductor	Tipo de Torre
1	0.74	A0 – A1/V6	Aérea	2x13.8 [kV]	N.A.	3/0 AWG ACAR 4/3	P2-T (14)
2	1.88	V0/A7–V6/A1	Aérea	1x34.5 [kV] 2x13.8 [kV]	N.A.	250 MCM ACAR 15/04 3/0 AWG ACAR 4/3	P1-50 (1B)
3	3.10	V6 – V10A	Aérea	1x34.5 [kV]	N.A.	250 MCM ACAR 15/04	P3-50 (17)
4	3.00	V10A – V12B	Aérea	1x34.5 [kV]	N.A.	250 MCM ACAR 15/04	P3-50 (17)
5	0.10	V12B – V13	Subterránea	1x34.5 [kV]	Cu 95 mm ²	N.A.	N.A.
6	0.67	V13 – V14	Submarina	1x34.5 [kV]	Cu 95 mm ²	N.A.	N.A.
7	0.41	V14 – V15	Subterránea	1x34.5 [kV]	Al 120 mm ²	N.A.	N.A.
8	17.4	V15 – V16	Subterránea	1x34.5 [kV]	Al 120 mm ²	N.A.	N.A.
9	2.88	V16 – V18	Subterránea	1x34.5 [kV]	Al 120 mm ²	N.A.	N.A.
10	2.61	V18 – V19	Aérea	1x34.5 [kV]	N.A.	250 MCM ACAR 15/04	P3-50 (17)
11	17.0	V19 – V55	Aérea	1x34.5 [kV] (1)	N.A.	250 MCM ACAR 15/04	P1-50 (1B) modificada

(1): Este tramo incluye 1 circuito aéreo correspondiente al sistema de distribución Santa Cruz, no representado en este estudio

(2): Todos los tramos aéreos tendrán un conductor de guarda del tipo OPGW

Tabla 21**Características de Cables Tripolares.**

Cable Tripolar	Voltaje [kV]	Capacidad [kA]	R / R0 (ohm/km)	X / X0 (ohm/km)	B / B0 (ohm/km)
Cu 95 mm²	34.5	0.328	0.1856 / 0.7424	0.1576 / 0.6304	0.191 / 0.196
Al 120 mm²	34.5	0.328	0.253 / 1.012	0.122 / 0.508	0.182 / 0.190

(1): Los parámetros de secuencia fueron estimados

Tabla 22
Características de Conductores Aéreos.

Tipo	Voltaje [kV]	Capacida d [kA]	Diámetro [mm]	GMR	Máx. Temp [°C]	Corriente de CC [1 s] [kA]
250 MCM ACAR 15/04	34.5	0.419	0.234	6.5062 (1)	200 (1)	12 (1)
3/0 AWG ACAR 4/3	34.5	0.327	0.3607	5.1212 (1)	200 (1)	12 (1)
OPGW	34.5	0.2 (1)	0.522	5.14 (1)	200	8.50

(1): Valores estimados

Se muestran las estructuras usadas en el sistema de transmisión a continuación:

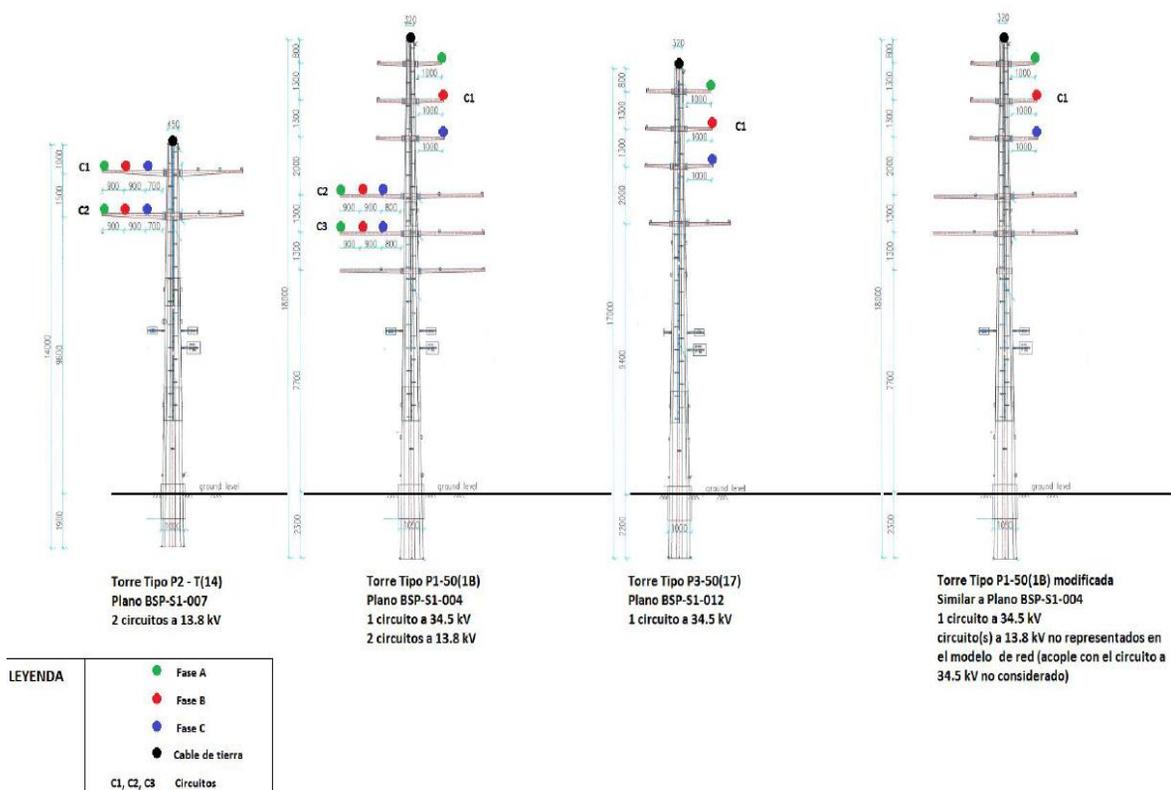


Figura 77. Esquema de torres del Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz.
Fuente: CELEC EP – Transelectric

Para la modelación del sistema Baltra – Santa Cruz se considera la siguiente configuración:

Tabla 23
Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz.

Elemento	Tramo	Terminales	Línea/Ruta	Tipo	Longitud [km]	Descripción
Línea C.Acople (WTG)- Baltra 13.8 [kV]	1	C_Acople WTG (A0) – A1_1	A0 – A1 (WTG)	Acople Tramo 1	0.74	Línea desde la llegada del parque eólico Baltra en el cuarto de acople hasta la subestación Baltra a 13.8 [kV]
	2	Baltra / BB 13.8 (A7)	A1 – A7 (WTG)	Acople Tramo 2	1.88	
Línea C.Acople (PV)- Baltra 13.8 [kV]	1	C_Acople PV (A0) – A1_2	A0 – A1 (PV)	Acople Tramo 1	0.74	Línea desde la llegada de la planta fotovoltaica Baltra en el cuarto de acople hasta la subestación Baltra a 13.8 [kV]
	2	A1_2 – Baltra/BB 13.8 (A7)	A1 – A7 (PV)	Acople Tramo 2	1.88	
Línea Baltra – Santa Cruz a 34.5 [kV]	2	Baltra/BB 34.5 (V0) – V6	V0 – V6	Acople Tramo 2	1.88	Línea a 34.5 [kV] entre las subestaciones Baltra y Santa Cruz. 5 tramos aéreos y 5 subterráneos/submarinos. El cruce del canal se produce con el tramo V13-V14. El acople entre el tramo 11 de la línea y los circuitos de distribución a 13.8 [kV] que comparten la estructura no se modeló.
	3	V6 – V10A	V6 – V10A	Acople Tramo 3	3.1	
	4	V10A – V12B	V10A – V12B	Acople Tramo 4	3.0	
	5	V12B – V13	V12B – V13	Cable 95 mm ²	0.10	
	6	V13 – V14	V13 – V14	Cable 95 mm ²	0.67	
	7	V14 – V15	V14 – V15	Cable 120 mm ²	0.41	
	8	V15 – V16	V15 – V16	Cable 120 mm ²	17.4	
	9	V16 – V18	V16 – V18	Cable 120 mm ²	2.88	
	10	V18 – V19	V18 – V19	Acople Tramo 10	2.61	
	11	V19 – Santa Cruz 34.5/BB_1 (V55)	V19 – V55	Acople Tramo 11	17.0	

4.6.2. Transformadores de Potencia

Los niveles de 13.8 [kV] y 34.5 [kV] de las Subestaciones de Baltra y Santa Cruz están conectados mediante transformadores de potencia de características idénticas, identificados en el diagrama unifilar de la Figura 77 como “TRF BALTRA 1” y “TRF SCRUIZ 1”. Los datos de estos transformadores se dan en la tabla a continuación.

Tabla 24

Características de los Transformadores de Potencia del Sistema.

Transformador	TRF BALTRA 1, TRF SCRUIZ 1
Tipo	TRF 10 [MVA] – 34.5 / 13.8 [kV]
[MVA] nominales	10.0
Relación HV/LV [kV]	34.5 / 13.8
Conexión	YnYn0
Xcc (%)	8.82
Xcc0 (%)	8.82 (1)
Pérdidas en cobre [kW]	38.0
Resistencia Secuencia 0 (%)	0.38 (1)
Pérdidas en vacío [kW]	13.0
Corriente en vacío (%)	0.3
Cambiador de tomas	Lado HV, ΔV por toma = 2.5%, Reg= \pm 5%

(1): Valores estimados o típicos

4.7. Sistemas Locales Isla de Baltra e Isla de Santa Cruz

Antes de la construcción del sistema de transmisión Baltra – Santa Cruz, en la Isla Baltra, los sistemas FAE, Armada, PetroEcuador y DGCA-Aeropuerto operaron de forma aislada, disponiendo cada uno de ellos de generación propia. En la actualidad estos sistemas operan de forma interconectada mediante el sistema de transmisión, mediante alimentadores a nivel de 13.8 [kV] en la subestación Baltra. La generación propia quedará fuera de línea en condiciones normales de operación, desempeñando una función de

back-up a través de un sistema de conmutación que saca a la carga alimentada del sistema eléctrico.

En este estudio, estos sistemas están representados mediante cuatro (4) elementos de carga, representando las demandas estimadas de dichos sistemas a nivel de la salida de los alimentadores en la subestación de Baltra a 13.8 [kV].

De igual forma, el sistema de distribución a nivel de 13.8 [kV] de la isla Santa Cruz existente, suplemento desde la subestación Santa Cruz mediante tres alimentadores principales, se considera para la simulación mediante tres (3) elementos de carga, representando la demanda de cada uno de dichos alimentadores en la subestación Santa Cruz.

Los valores de demanda asignados a cada una de estas cargas serán variables según el escenario a considerar.

4.8. Estudio en Estado Estacionario del Sistemas Baltra Santa Cruz

Se verificará el dimensionamiento de los equipos mediante cálculos de flujo de carga y cortocircuito para el estado estacionario del sistema.

Los cálculos de flujo de carga se utilizarán para verificar las condiciones operativas del sistema bajo diferentes escenarios de carga/generación posibles. Los escenarios de carga/generación están definidos en base a los escenarios de demanda proporcionados por “Centro Nacional de Control de Energía” CENACE, en combinación con escenarios de generación resultantes de condiciones de viento e irradiación variables.

Se incluye la descripción de los criterios y datos utilizados para la definición de los escenarios, y los resultados obtenidos para cada escenario.

4.8.1. Línea de Transmisión

La definición de los diferentes escenarios de carga a ser considerados se basa en la información original suministrada por CENACE.

Las demandas presentadas corresponden a la situación del sistema para el año 2014, resultantes en una demanda máxima total (neta a nivel de 13.8 [kV], escenario pico del día en época de calor) de 4.79 [MW]. El estudio prevé la proyección al año 2017, cuando se considera que las demandas del sistema se estabilizarán, y el sistema de interconexión Baltra Santa Cruz y las nuevas plantas de energía renovable están en servicio.

La proyección de las demandas se hace utilizando los factores de crecimiento inter-anual proporcionados por CENACE, aplicado a todos los escenarios actuales por igual. Dichos factores de crecimiento serán:

- Cargas Isla Baltra: 5% inter-anual (factor de crecimiento previsto)
- Cargas Isla Santa Cruz: 3% inter-anual (factor de crecimiento histórico)

Para la proyección de requerimientos reactivos de la carga, se considerará invariante el factor de potencia.

Se presentan a continuación las tablas de demanda resultantes, a ser consideradas para el estudio.

Tabla 25

Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz en época de calor

Carga	Demanda [MW]	Factor de Potencia	Tipo de Carga
Carga Alimentador 1 Santa Cruz	1.945054	0.94	Residencial Comercial
Carga Alimentador 2 Santa Cruz	2.207308	0.92	Residencial Comercial

CONTINÚA



Carga Alimentador 3 Santa Cruz	0.6993452	0.92	Residencial Industrial
Carga DGAC - Aeropuerto	0.1736437	0.90	Residencial
Carga FAE	0.08103375	0.92	Residencial
Carga Armada	0.08103375	0.92	Residencial
Carga PetroEcuador	0.0694575	0.90	Industrial
Total	5.257		

Tabla 26

Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz en época de calor.

Carga	Demanda [MW]	Factor de Potencia	Tipo de Carga
Carga Alimentador 1 Santa Cruz	1.61724	0.95	Residencial Comercial
Carga Alimentador 2 Santa Cruz	2.05433	0.94	Residencial Comercial
Carga Alimentador 3 Santa Cruz	0.66656	0.94	Residencial Industrial
Carga DGAC - Aeropuerto	0.03473	0.85	Residencial
Carga FAE	0.046305	0.90	Residencial
Carga Armada	0.046305	0.90	Residencial
Carga PetroEcuador	0.05788	0.92	Industrial
Total	4.5233		

Tabla 27

Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz en época de frío.

Carga	Demanda [MW]	Factor de Potencia	Tipo de Carga
Carga Alimentador 1 Santa Cruz	1.704654	0.92	Residencial Comercial
Carga Alimentador 2 Santa Cruz	1.802999	0.92	Residencial Comercial
Carga Alimentador 3 Santa Cruz	0.6009998	0.92	Residencial Industrial
Carga DGAC - Aeropuerto	0.1736437	0.92	Residencial
Carga FAE	0.08103375	0.90	Residencial
Carga Armada	0.08103375	0.92	Residencial
Carga PetroEcuador	0.0694575	0.90	Industrial
Total	4.5138		

Tabla 28*Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz en época de frío.*

Carga	Demanda [MW]	Factor de Potencia	Tipo de Carga
Carga Alimentador 1 Santa Cruz	1.835781	0.95	Residencial Comercial
Carga Alimentador 2 Santa Cruz	1.955981	0.95	Residencial Comercial
Carga Alimentador 3 Santa Cruz	0.6556362	0.92	Residencial Industrial
Carga DGAC - Aeropuerto	0.03472875	0.85	Residencial
Carga FAE	0.03472875	0.90	Residencial
Carga Armada	0.03472875	0.90	Residencial
Carga PetroEcuador	0.05788125	0.92	Industrial
Total	4.6095		

Tabla 29*Demandas del Sistema Baltra – Santa Cruz, valores de demanda mínima.*

Carga	Demanda [MW]	Factor de Potencia	Tipo de Carga
Carga Alimentador 1 Santa Cruz	0.5245089	0.88	Residencial Comercial
Carga Alimentador 2 Santa Cruz	0.5463635	0.87	Residencial Comercial
Carga Alimentador 3 Santa Cruz	0.2622545	0.93	Residencial Industrial
Carga DGAC - Aeropuerto	0.03472875	0.85	Residencial
Carga FAE	0.0231525	0.90	Residencial
Carga Armada	0.0231525	0.90	Residencial
Carga PetroEcuador	0.01157625	0.87	Industrial
Total	1.4257		

Resumiendo los escenarios tendríamos:

- Época de calor, pico de demanda del día
- Época de calor, pico de demanda de la noche
- Época de frío, pico de demanda del día
- Época de frío, pico de demanda de la noche
- Mínima demanda (calor y frío)

4.8.2. Condiciones de Generación

Las condiciones para definir los escenarios de generación considerados para este estudio, correspondientes a los diferentes escenarios planteados de la demanda se describen a continuación.

4.8.3. Generación Convencional

Para definir el escenario de la generación convencional, se tomará en cuenta lo siguiente:

- Para todo escenario, se tendrá en servicio por lo menos una unidad de cada uno de los grupos de generadores diésel de la planta Puerto Ayora; esto para evitar que la eventual pérdida de un grupo generador (salida de su transformador elevador) deje a los convertidores de las plantas de energía renovable sin frecuencia de referencia, lo cual ocasionaría su salida de servicio.
- Se considerarán indisponibles, a lo largo de todo el estudio, las unidades 2 y 7 de la planta Puerto Ayora.
- Por requerimientos de reserva se cargarán las unidades de generación a un valor menor que su generación máxima efectiva y a un valor superior al mínimo de operación del 25% de su capacidad total efectiva.
- La utilización de la generación convencional estará, en la medida de lo posible, supeditada a la disponibilidad de la generación renovable, es decir, se utilizará

la generación convencional para cubrir la demanda no suplida por la generación renovable disponible y los requerimientos de reserva.

- Se mantendrá la generación reactiva, en condiciones normales de operación, correspondiente a un factor de potencia igual o superior al factor de potencia nominal, de ser posible, y en ningún caso se excederá la capacidad dada por las curvas PQ de las unidades.
- La generación propia de los clientes en la isla Baltra se considerará fuera de servicio.

4.8.4. Generación Fotovoltaica

Para definir la generación fotovoltaica de las Islas de Baltra y Santa Cruz para los diferentes escenarios de demanda, se tendrán en cuenta las siguientes determinantes:

- Se considerarán tres diferentes condiciones de disponibilidad de energía fotovoltaica primaria:
 - Máxima irradiación
 - Irradiación reducida y
 - Sin irradiación.
- Se considerará la misma condición de irradiación para ambas plantas.
- Solamente se considerará disponibilidad de generación fotovoltaica para las condiciones de máxima demanda de día tanto de la época fría como de la época de calor.
- Para dichas condiciones de demanda, se considerarán dos posibles condiciones: máxima irradiación e irradiación promedio, debido a que, para la

hora correspondiente a la máxima demanda de día (alrededor de las 12:00 horas), se considera muy improbable la ausencia de irradiación.

- Se estimará una salida para máxima irradiación de 0.19 [MW] en la planta de la Isla de Baltra y de 1.4 [MW] en la planta de la Isla de Santa Cruz, reducciones sobre el máximo nominal para considerar eventuales pérdidas internas de la planta.
- Debido a que no se dispone de una curva irradiación vs potencia para las plantas fotovoltaicas, la salida para irradiación reducida se estimará en 1/2 de la máxima potencia de salida, nuevamente debido a que, para horas de máxima demanda de día, no se esperan condiciones permanentes de baja irradiación.
- Se considerarán iguales condiciones de irradiación para época fría y época de calor.
- Se considerarán las inyecciones de las plantas fotovoltaicas a factor de potencia unitario en todos los casos.

4.8.5. Generación Eólica

Para definir la generación eólica en la isla de Baltra para los diferentes escenarios de demanda planteados, se tendrán en cuenta las siguientes determinantes:

- Se considerarán tres diferentes condiciones de disponibilidad de energía eólica primaria:

Máximo viento

Viento promedio y

Sin viento.

- Los valores de velocidad de viento a utilizar se convertirán en producción de la planta mediante una curva potencia vs viento aproximada estimada en base a las características de los aerogeneradores indicadas por el fabricante, es decir:

Velocidad de “cut-in” -> 3 [m/s]

Velocidad de viento nominal -> 11.5 [m/s] y

Velocidad de “cut-off” -> 25 [m/s].

Al no disponerse de mayor información, la característica potencia-viento se aproximó a una función lineal entre 3 [m/s] y 11.5 [m/s]. La curva resultante se muestra a continuación.

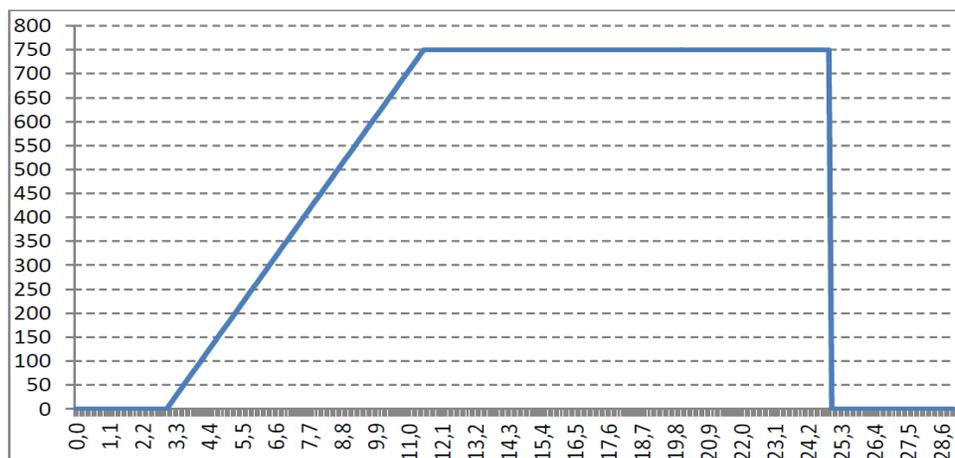


Figura 78. Curva de Potencia [kW] vs Viento [m/s] para aerogeneradores.

Fuente: Real Decreto –España

- Las velocidades de viento correspondientes a las condiciones de máximo viento y viento promedio para los diferentes escenarios de demanda se estimaron en base a los registros antes citados, para el año 2012 y 2013. Los valores utilizados

de tal registro fueron los valores promedio sobre 10 minutos a 50 [m] de altura (altura de la torre de los aerogeneradores). Para la estimación de las velocidades de viento a considerar, se filtraron las lecturas correspondientes a las horas del día alrededor de los diferentes escenarios de demanda (entre 10 y 14 horas para el escenario de máxima demanda de día, entre 18 y 22 horas para el escenario de máxima demanda de noche y entre 0 y 4 horas para el escenario de mínima demanda). Los datos extraídos fueron adicionalmente subdivididos para diferenciar época caliente y fría (meses entre Mayo y Septiembre para la época fría, Octubre a Abril para época de calor). Se consideró que el escenario de viento máximo corresponde a la máxima generación si en el período pertinente se tienen por lo menos 10 lecturas puntuales iguales o superiores al 99% del viento nominal. Para el escenario de viento promedio, se tomaron las observadas superiores a la velocidad de “cut-in” e inferiores a la velocidad máxima considerada para el escenario. Los valores de viento y potencias por generador individual correspondientes se muestran a continuación.

Tabla 30
Generación Eólica para vientos máximos y promedios

Periodo	Escenario	Viento Máximo [m/s]	Pv _{máx} [kW]	Viento Promedio [m/s]	Pv _{prom} [kW]	Nota
Época de Calor	Máx. Dem. Día	≥ 11.5	750	8.0	441	
	Máx. Dem. Noche	10.5	662	6.8	335	$V_{máx} < V_{nom}$
	Mín. Demanda	10.3	644	6.0	265	$V_{máx} < V_{nom}$
Época de Frío	Máx. Dem. Día	≥ 11.5	750	9.0	529	
	Máx. Dem. Noche	≥ 11.5	750	7.6	406	
	Mín. Demanda	≥ 11.5	750	6.6	318	

4.8.6. Reserva Rodante

La reserva rodante, en un sistema eléctrico con tecnología convencional es importante y en un sistema híbrido es un factor mucho más importante, para la definición de los escenarios de estudio de flujo de carga. La práctica usual en un sistema con generación convencional es prever una reserva rodante suficiente para cubrir la pérdida de generación de la mayor unidad en servicio (o un porcentaje de la demanda en algunos casos), pero al hablar de un sistema de generación híbrido de energía, es una generación variable, como el caso de la generación eólica y fotovoltaica, se tiene la necesidad de cubrir las fluctuaciones a corto plazo de las fuentes primarias (viento e irradiación solar). Esto se traduce en un incremento del requerimiento de reserva rodante con relación a lo que se necesita en un sistema con sólo unidades convencionales. Sin embargo, para el caso del estudio presente, deben hacerse dos observaciones importantes:

- No se tiene a la fecha presente un estudio detallado de los requerimientos adicionales de reserva rodante debidos a las fluctuaciones en la generación renovable instalada,
- La configuración particular del sistema de transmisión Baltra – Santa Cruz es tal que una falla sencilla de transmisión puede ocasionar la salida simultánea de más de una sola unidad de generación (por ejemplo, la salida de la línea Baltra-Santa Cruz ocasionaría la pérdida de toda la generación renovable en Baltra).

Para efectos del presente estudio, se considera que el banco de baterías ion-litio está dedicado a cubrir las fluctuaciones de las plantas renovables en la isla Baltra, mientras

que las fluctuaciones de la planta fotovoltaica en Santa Cruz serán cubiertas con reserva rodante en la planta Puerto Ayora. La reserva rodante convencional será mantenida en un valor suficiente para cubrir la salida de la mayor inyección individual (es decir el generador de mayor capacidad). Los diferentes escenarios se definirán según los lineamientos anteriormente expuestos. Las unidades Diésel disponibles, pero consideradas fuera de línea, se considerarán como reserva de arranque rápido (reserva a corto plazo).

4.9. Condiciones de Transmisión

Para los estudios de estado estacionario, se observarán los siguientes criterios:

- Se considera el sistema de transmisión completo
- Se considera cambiador automático de tomas de transformadores solamente para los transformadores elevadores de las unidades eólicas de la planta Baltra.
- Se considera una posición fija e invariante a lo largo de los escenarios para los cambiadores de tomas de todos los demás transformadores (cambiador de tomas operado sin carga).
- No se admite, para condiciones de operación normal, sobrecargas de ningún tipo en los equipos de transmisión.
- En condición de operación normal, se mantendrán las tensiones en las barras de transmisión en un rango preferiblemente entre 0.97 - 1,03 [p.u.], y en ningún caso excedentes el rango 0.95 – 1.05 [p.u.].

4.9.1. Flujos de Carga – Operación Normal

Se presentan los flujos de carga correspondientes a los diferentes escenarios de carga considerados en este estudio:

4.9.2. Escenario 1. Pico de Demanda del día, Época de Calor

Las demanda máxima en horas del día para el año 2017, correspondientes a la época de calor, se dan en la Tabla 30.

Para este escenario de carga, se considera condiciones de generación eólica y fotovoltaica según indicado a continuación:

- Viento máximo, Irradiación máxima
- Viento máximo, Irradiación reducida
- Viento promedio, Irradiación máxima
- Viento promedio, Irradiación reducida
- Sin viento, Irradiación máxima
- Sin viento, Irradiación reducida

No se considera el escenario sin irradiación, debido la hora del día correspondiente a este escenario de demanda.

El banco de baterías de plomo-ácido se considera disponible para casos de necesidad y cargado lo suficiente como para poder proveer la cantidad requerida de potencia a lo largo del período. En ningún caso se considerará aporte de potencia en estado estacionario del banco de ion-litio.

Caso 1: Viento Máximo, Máxima Irradiación

Tabla 31

Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G - 1	-			-		1.010191	Out line
G - 2	-			-			Out
G - 3	0.2454368	0.1008029	0.925	0.52	0.274563		
G - 4	0.2454368	0.1008029	0.925	0.52	0.274563		
G - 5	0.4189355	0.1713649	0.926	0.88	0.461065		
G - 6	-			-			Out line
G - 7				-			Out
G - 8				-		0.716818	Out line
G - 9	0.6431822	0.2641035	0.925	1.36	0.716818		
Totales	1.552991	0.637074	0.925	3.28	1.727	1.727	

Tabla 32

Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.75	-0.0045	>0.999		
	Baltra AG-2	0.75	-0.0045	>0.999		
	Baltra AG-3	0.75	-0.0045	>0.999		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.19	0.00	1.0		
	PV S. Cruz	1.40	0.00	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		3.84	-0.0135	>0.999	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 33

Resumen Carga - Generación

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
1.55	3.84	5.39	5.26	0.14	71.2

Tabla 34
Perfil de tensiones

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.025 / 1.016	1.015	1.017	0.988	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.017	1.007	1.031	1.019	1.005

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

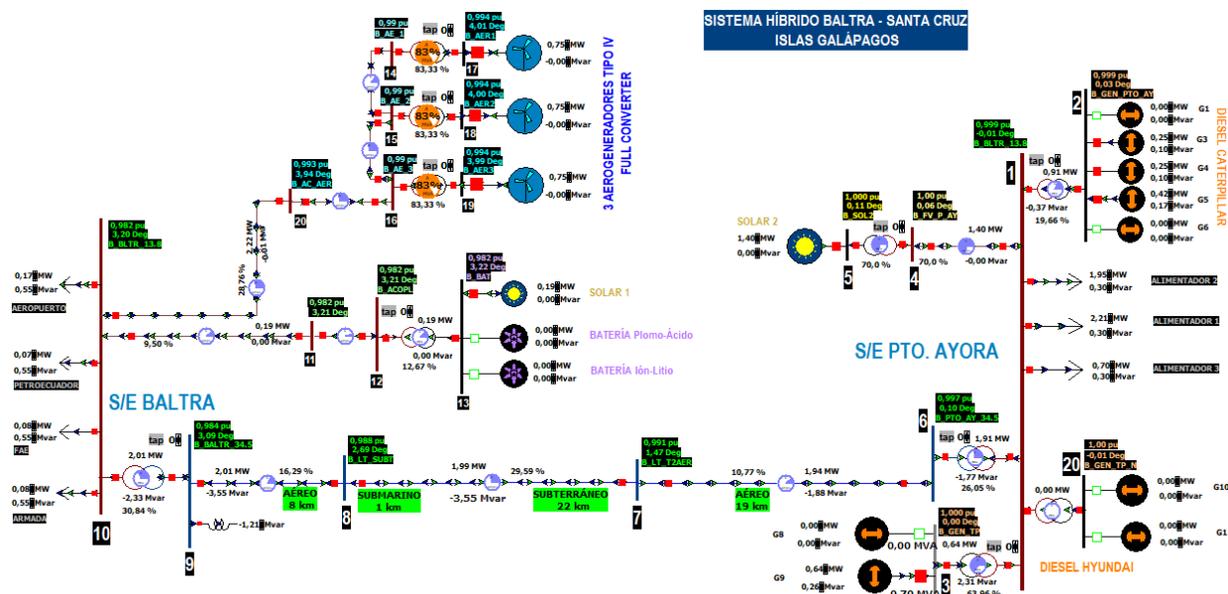


Figura 79. Viento Máximo, Máxima Irradiación

Generación Renovable vs Tradicional

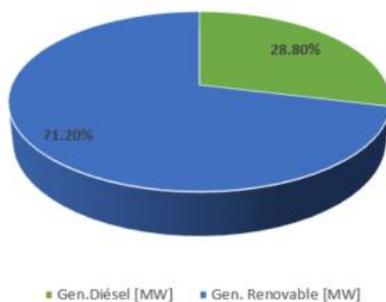


Figura 80. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1

Caso 2: Viento Máximo, Irradiación Reducida

Tabla 35
Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3117594	0.07944463	0.969	0.52	0.208241	0.97348	
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.3117594	0.07944463	0.969	0.52	0.208241		
G – 4	0.3117594	0.07944463	0.969	0.52	0.208241		
G – 5	0.5312429	0.1350559	0.969	0.88	0.348757		
G – 6				-	0		Out line
G – 7				-	0		Out
G – 8				-	0		0.5431 Out line
G – 9	0.8169116	0.2081449	0.969	1.36	0.543088		
Totales	2.28433	0.58135	0.969	3.8	1.517	1.517	

Tabla 36
Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.75	0.0043	>0.999		
	Baltra AG-2	0.75	0.0043	>0.999		
	Baltra AG-3	0.75	0.0043	>0.999		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.1	0.00	1.0		
	PV S. Cruz	0.75	0.00	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		3.10	0.0129	>0.999	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 37
Resumen Carga - Generación

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
2.284	3.10	5.384	5.26	0.13	57.6

Tabla 38
Perfil de tensiones

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.025 / 1.015	1.015	1.017	0.988	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.016	1.008	1.031	1.029	1.003

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

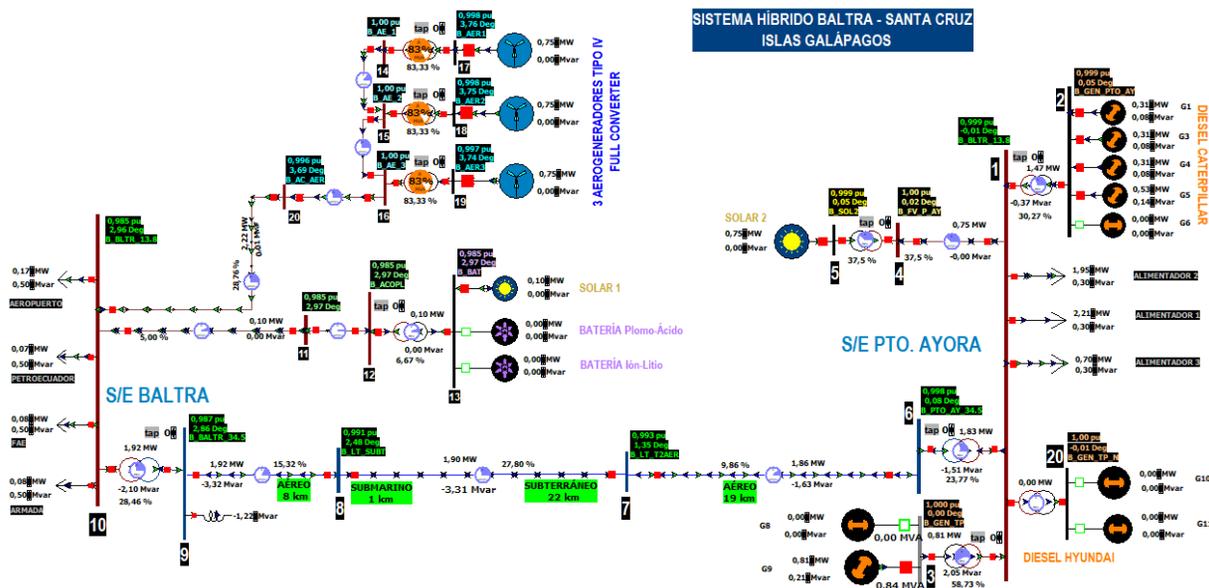


Figura 81. Viento Máximo, Irradiación Reducida

Generación Renovable vs Tradicional

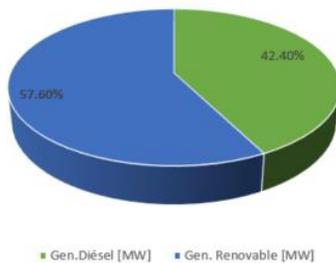


Figura 82. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2

Caso 3: Viento Promedio, Máxima Irradiación

Tabla 39
Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas	
G – 1	0.3319055	0.04223356	0.992	0.52	0.188095	0.8789		
G – 2				-	0		Out	
G – 3	0.3319055	0.04223356	0.992	0.52	0.188095			
G – 4	0.3319055	0.04223356	0.992	0.52	0.188095			
G – 5	0.5653572	0.07179705	0.992	0.88	0.314643			
G – 6				-	0		Out line	
G – 7				-	0		Out	
G – 8				-	0		0.4903	Out line
G – 9	0.8696834	0.1106519	0.992	1.36	0.490317			
Totales	2.4307	0.30915	0.992	3.8	1.369	1.369		

Tabla 40
Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.441	0.0636	0.99		
	Baltra AG-2	0.441	0.0636	0.99		
	Baltra AG-3	0.441	0.0636	0.99		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.19	0.00	1.0		
	PV S. Cruz	1.40	0.00	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		2.913	0.1908	0.998	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 41
Resumen Carga - Generación

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
2.4307	2.913	5.34	5.26	0.09	54.5

Tabla 42
Perfil de tensiones

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.022 / 1.016	1.015	1.017	0.991	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.017	1.006	1.08	1.027	1.005

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

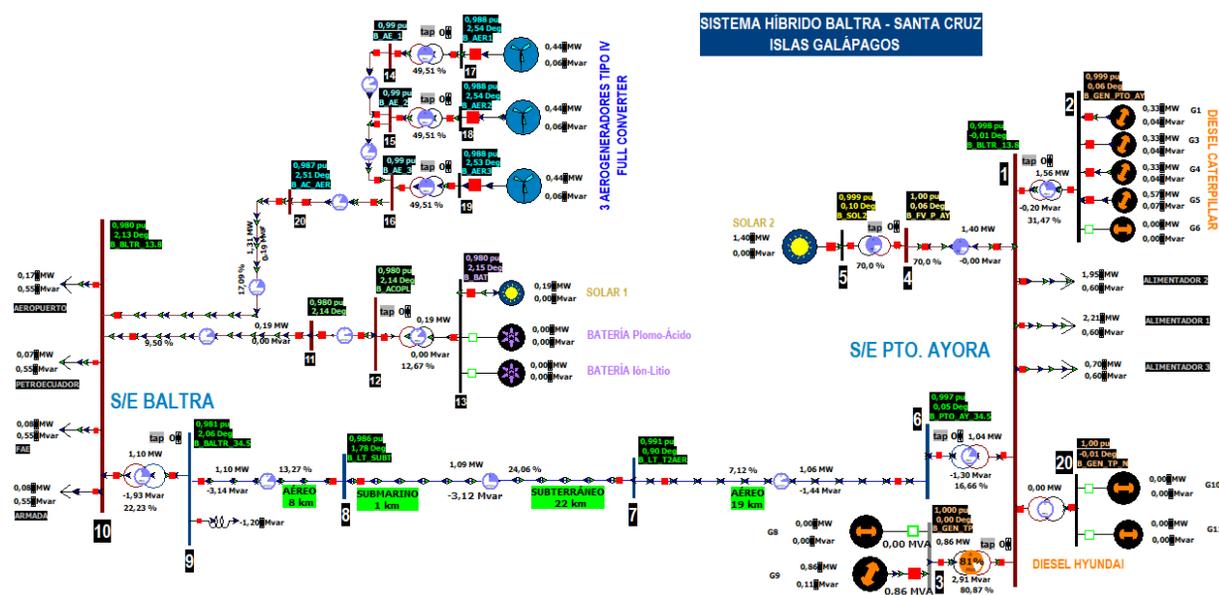


Figura 83. Viento Promedio, Máxima Irradiación

Generación Renovable vs Tradicional

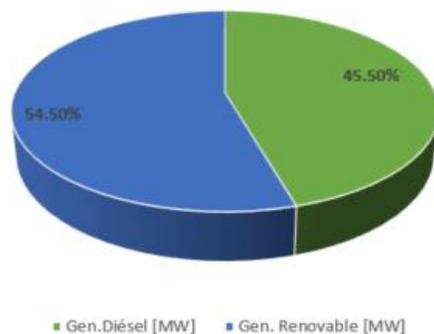


Figura 84. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3

Caso 4: Viento Promedio, Irradiación Reducida

Tabla 43
Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3180879	0.0260917	0.997	0.52	0.201912	0.9438	
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.3180879	0.0260917	0.997	0.52	0.201912		
G – 4	0.3180879	0.0260917	0.997	0.52	0.201912		
G – 5	0.5419592	0.0443559	0.997	0.88	0.338041		
G – 6					0		Out line
G – 7				-	0		Out
G – 8	0.86114888	0.06836026	0.997	1.36	0.526511		1.053
G – 9	0.76111888	0.05836026	0.997	1.36	0.526511		
Totales	3.1632	0.2593	0.997	5.16	1.997	1.997	

Tabla 44
Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.441	0.0735	0.99		
	Baltra AG-2	0.441	0.0735	0.99		
	Baltra AG-3	0.441	0.0735	0.99		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.10	0.00	1.0		
	PV S. Cruz	0.75	0.00	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		2.173	0.2205	0.9948	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 45
Resumen Carga - Generación

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
3.1632	2.173	5.34	5.26	0.08	40.7

Tabla 46
Perfil de tensiones

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.022 / 1.016	1.015	1.017	0.991	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.016	1.007	1.028	1.027	1.003

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

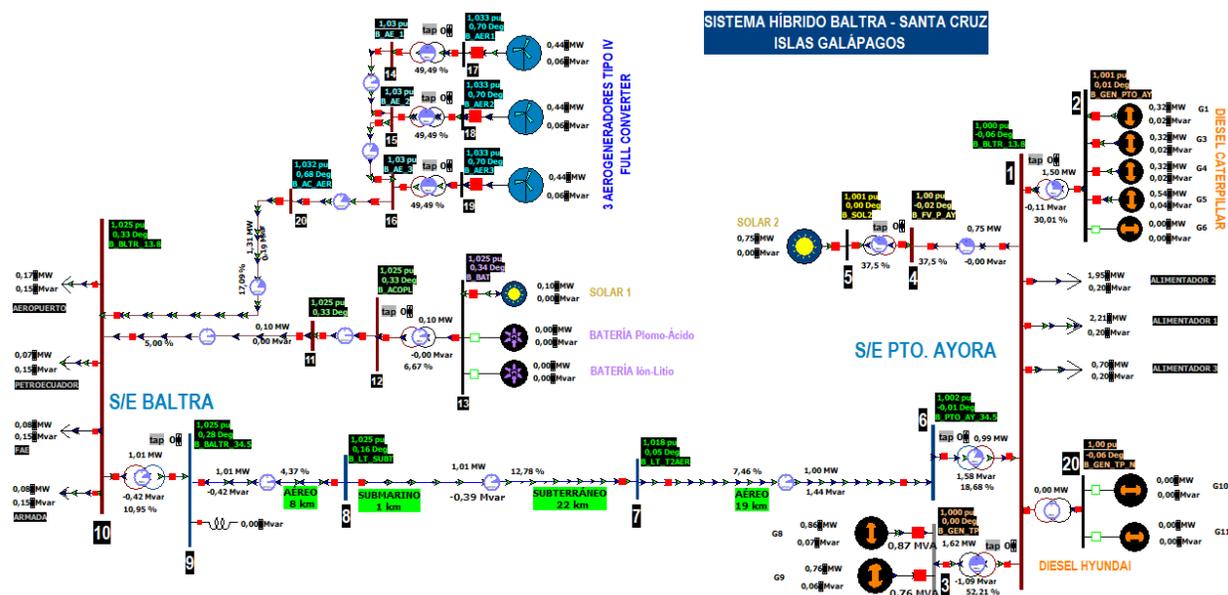


Figura 85. Viento Promedio, Irradiación Reducida

Generación Renovable vs Tradicional

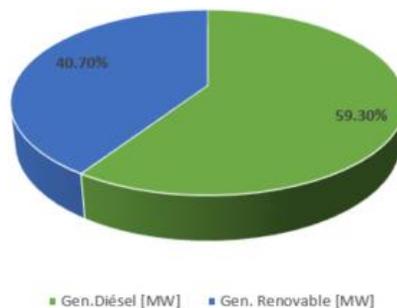


Figura 86. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 4

Caso 5: Sin Viento, Máxima Irradiación

Tabla 47
Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3745332	0.05090205	0.9909	0.52	0.179726	0.6789	
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.3745332	0.05090205	0.9909	0.52	0.179726		
G – 4	0.3745332	0.05090205	0.9909	0.52	0.179726		
G – 5	0.6375409	0.08653348	0.9909	0.88	0.300472		
G – 6							Out line
G – 7				-	0		Out
G – 8	1.049813	0.1393634	0.9909	1.36	0.468396		0.7573
G – 9	0.968134	0.1293634	0.9909	1.36	0.468396		
Totales	3.724	0.5059	0.9909	5.68	1.4367	1.4367	

Tabla 48
Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.0	0.0			
	Baltra AG-2	0.0	0.0			
	Baltra AG-3	0.0	0.0			
Fotovoltaica	PV Baltra	0.19	0.0	1.0		
	PV S. Cruz	1.4	0.0	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.0		0.50	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		1.59	0.0	1.0	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 49
Resumen Carga - Generación

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
3.724	1.59	5.31	5.26	0.06	29.9

Tabla 50
Perfil de tensiones

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	0.997 / 0.998	0.997	0.999	0.989	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	0.999	-	1.029	1.029	1.005

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

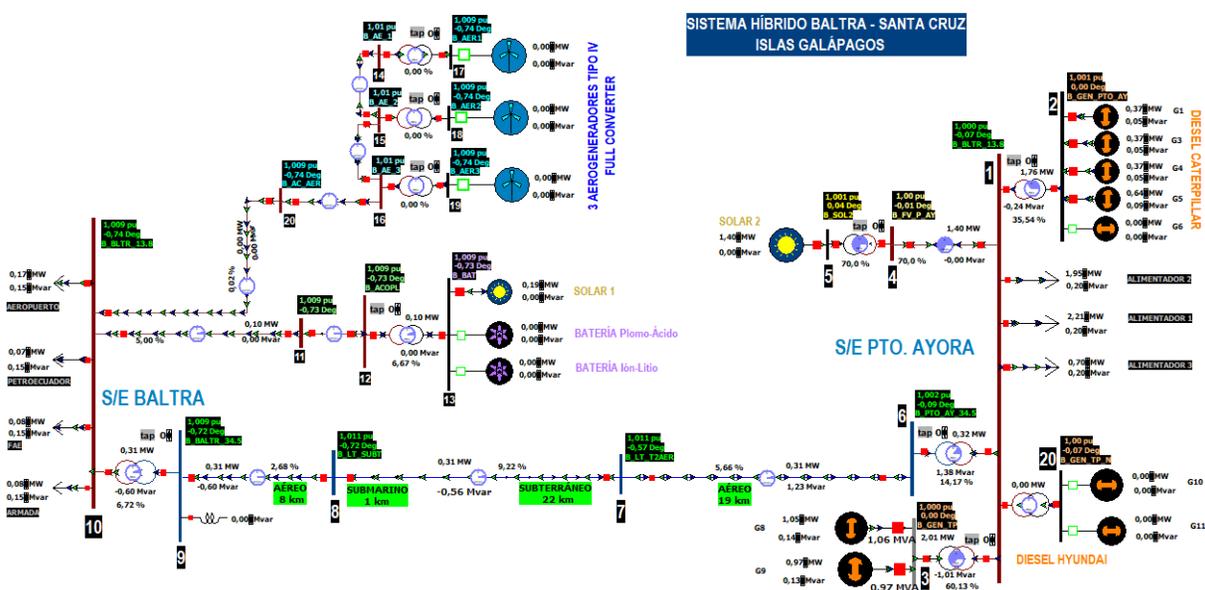


Figura 87. Sin Viento, Máxima Irradiación

Generación Renovable vs Tradicional

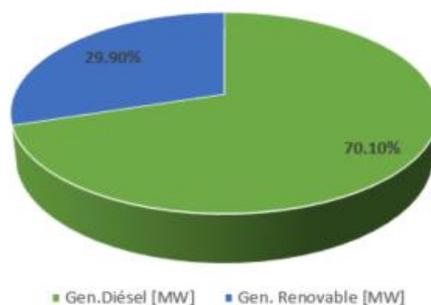


Figura 88. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 5

Caso 6: Sin Viento, Irradiación Reducida

Tabla 51
Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3800276	0.044577859	0.9932	0.52	0.162544	0.79305	
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.3800276	0.04457859	0.9932	0.52	0.162544		
G – 4	0.3800276	0.04457859	0.9932	0.52	0.162544		
G – 5	0.6468447	0.07578361	0.9932	0.88	0.271377		
G – 6	0.3800276	0.04457859	0.9932	0.52	0.162544		
G – 7				-	0		Out
G – 8	1.0299573	0.1367959	0.9932	1.36	0.423388	0.72856	
G – 9	0.9395737	0.1307959	0.9932	1.36	0.423388		
Totales	4.158	0.4877	0.9932	5.68	1.5216	1.5216	

Tabla 52
Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.0	0.0			
	Baltra AG-2	0.0	0.0			
	Baltra AG-3	0.0	0.0			
Fotovoltaica	PV Baltra	0.10	0.0	1.0		
	PV S. Cruz	0.75	0.0	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.0		0.50	(1)
	Plomo - Ácido	0.30		1.0		(2)
Totales		1.15	0.0	1.0	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 53
Resumen Carga - Generación

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
4.158	1.15	5.31	5.26	0.05	22.9

Tabla 54
Perfil de tensiones

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.001 / 0.999	0.999	1.001	0.989	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.003	-	1.029	1.029	1.005

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

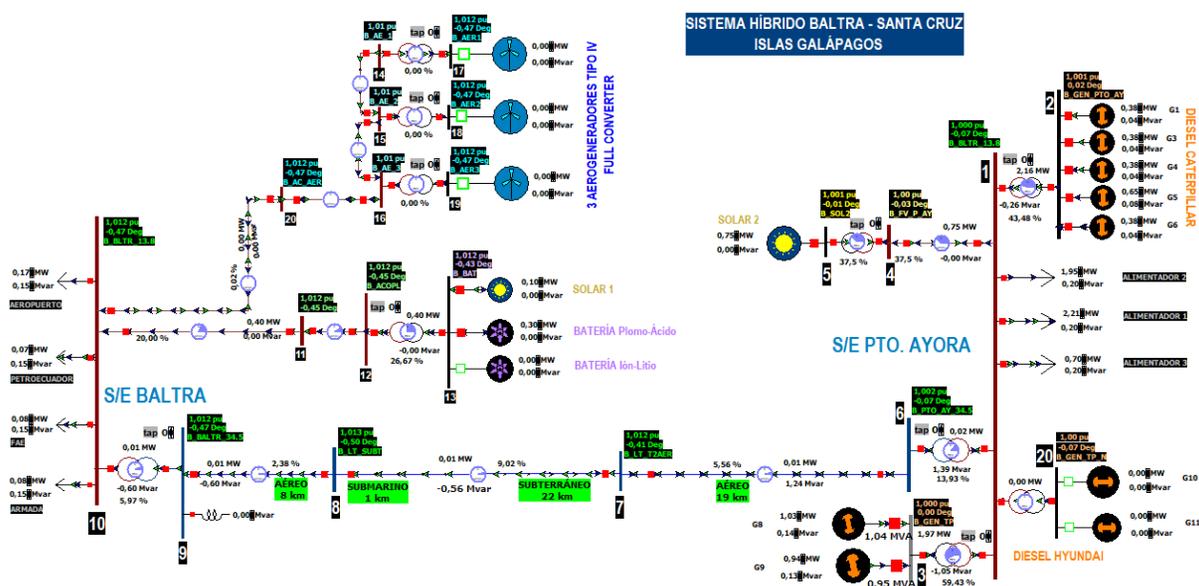


Figura 89. Sin Viento, Irradiación Reducida Caso 6

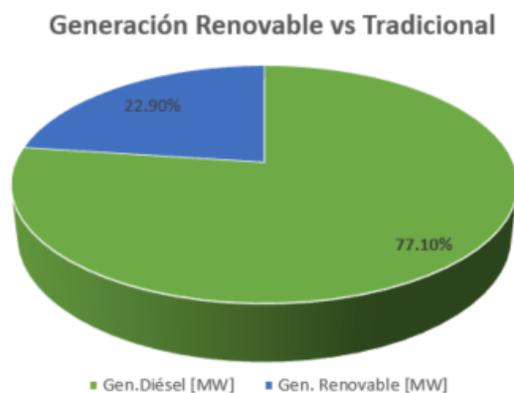


Figura 90. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 6

4.9.3. Escenario 2. Pico de Demanda de la noche, Época de Calor

Las demanda máxima en horas de la tarde – noche para el año 2017, correspondientes a la época de calor, se dan en la Cuadro 26.

Para este escenario de carga, se considera condiciones de generación eólica y fotovoltaica según indicado a continuación:

- Viento máximo, sin Irradiación
- Viento promedio, sin Irradiación
- Sin viento, sin Irradiación

No se considera el escenario con irradiación, debido la hora del día correspondiente a este escenario de demanda.

El banco de baterías de plomo-ácido se considera disponible para casos de necesidad y cargado lo suficiente como para poder proveer la cantidad requerida de potencia a lo largo del período. En ningún caso se considerará aporte de potencia en estado estacionario del banco de ion-litio.

Caso 1: Viento Máximo

Tabla 55
Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3181148	0.01202515	0.9993	0.52	0.2018852		
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.3181148	0.01202515	0.9993	0.52	0.2018852		
G – 4	0.3181148	0.01202515	0.9993	0.52	0.2018852		
G – 5	0.5420048	0.02044275	0.9993	0.88	0.3379952		
G – 6	0.3181148	0.01202515	0.9993	0.52	0.2018852		Out
G – 7				-	0		Out line
G – 8				-	0		
G – 9	0.8335593	0.03150588	0.9993	1.36	0.5264407		
Totales	2.648	0.1	0.9993	4.32	1.672		

Tabla 56
Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.662	-0.0233	>0.999		V _{m(ax)<Nom}
	Baltra AG-2	0.662	-0.0233	>0.999		V _{m(ax)<Nom}
	Baltra AG-3	0.662	-0.0233	>0.999		V _{m(ax)<Nom}
Fotovoltaica	PV Baltra	0.0	0.00	1.0		Sin Irrad.
	PV S. Cruz	0.0	0.00	1.0		Sin Irrad
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		1.986	-0.0699	>0.999	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 57
Resumen Carga - Generación

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
2.648	1.986	4.63	4.52	0.11	42.9

Tabla 58
Perfil de tensiones

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.024 / 1.015	1.015	1.017	0.989	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	-	1.004	1.026	1.026	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

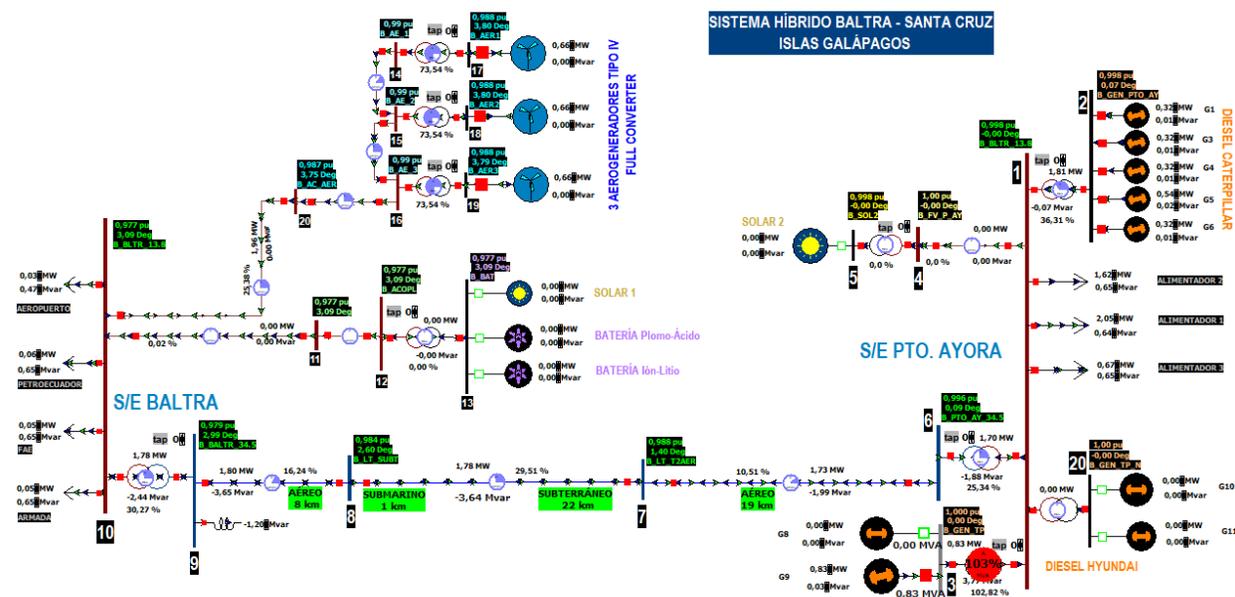


Figura 91. Caso 1: Viento Máximo

Generación Renovable vs Tradicional

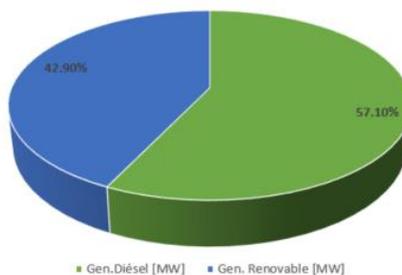


Figura 92. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1

Caso 2: Viento Promedio

Tabla 59
Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G - 1	0.3607473	-0.02350437	0.998	0.52	0.1592527	0.7436	Out
G - 2				-	0		
G - 3	0.3607473	-0.02350437	0.998	0.52	0.1592527		
G - 4	0.3607473	-0.02350437	0.998	0.52	0.1592527		

CONTINÚA

G – 5	0.6141964	-0.03995744	0.998	0.88	0.2658036	
G – 6					0	Out line
G – 7				-	0	Out
G – 8	0.9582332	0.12958145	0.998	1.36	0.4147668	0.8295
G – 9	0.8712332	0.03158145	0.998	1.36	0.4147668	
Totales	3.587	-0.2336	0.998	5.16	1.5731	1.5731

Tabla 60*Generación No Convencional*

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.335	0.05694	0.986		
	Baltra AG-2	0.335	0.05694	0.986		
	Baltra AG-3	0.335	0.05694	0.986		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.0	0.00	1.0		Sin Irrad.
	PV S. Cruz	0.0	0.00	1.0		Sin Irrad
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		1.005	0.1708	0.986	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 61*Resumen Carga - Generación*

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
3.587	1.005	4.59	4.52	0.07	21.9

Tabla 62*Perfil de tensiones*

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.021 / 1.015	1.015	1.017	0.991	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	-	1.003	1.024	1.024	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

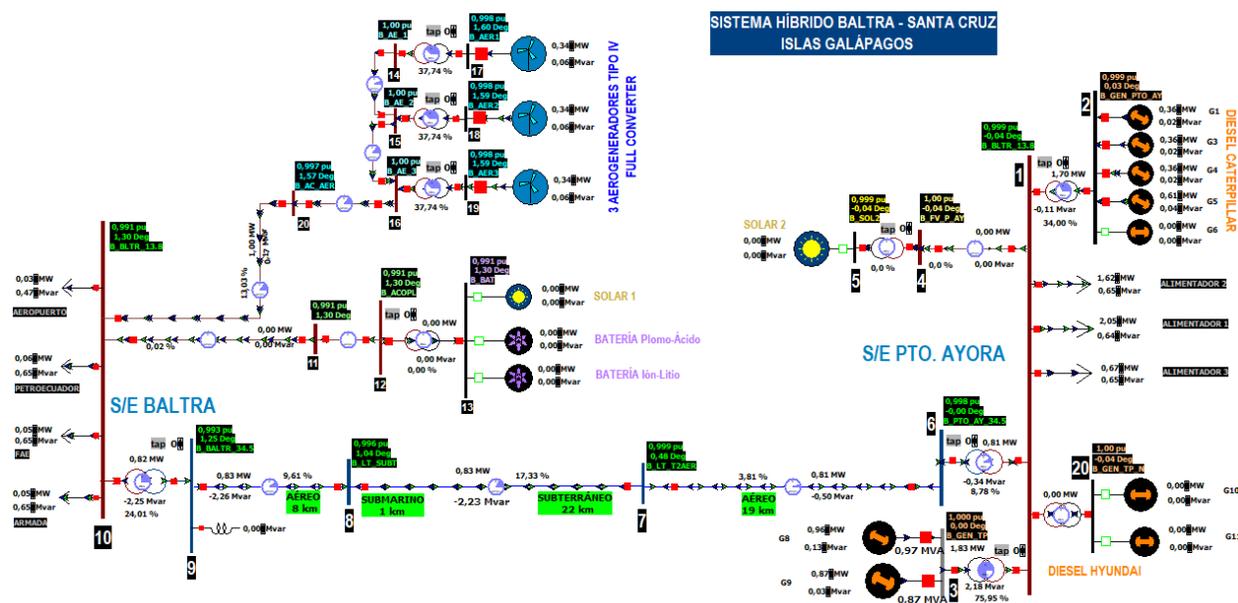


Figura 93. Caso 2: Viento Promedio



Figura 94. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2

Caso 3: Sin Viento

Tabla 63

Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3815483	-0.00499147	>0.999	0.52	0.1384517	0.7844	CONTINÚA
G – 2				-	0		
G – 3	0.3815483	-0.00499147	>0.999	0.52	0.1384517		
G – 4	0.3815483	-0.00499147	>0.999	0.52	0.1384517		

CONTINÚA

G – 5	0.6494198	-0.00848551	>0.999	0.88	0.2305802	
G – 6	0.3815483	-0.00499147	>0.999	0.52	0.1384517	
G – 7				-	0	Out
G – 8	1.2091205	-0.01307766	>0.999	1.36	0.3602795	0.7206
G – 9	1.1397205	-0.01307766	>0.999	1.36	0.3602795	
Totales	4.175	-0.0546	0.998	5.68	1.505	1.505

Tabla 64*Generación No Convencional*

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.0	0.0			
	Baltra AG-2	0.0	0.0			
	Baltra AG-3	0.0	0.0			
Fotovoltaica	PV Baltra	0.0	0.0			Sin Irrad.
	PV S. Cruz	0.0	0.0			Sin Irrad.
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.0		0.5	(1)
	Plomo - Ácido	0.4	0.0	1.0		(2)
Totales		0.4	0.0	1.0	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): Energía almacenada

Tabla 65*Resumen Carga - Generación*

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
4.175	0.4	4.58	4.52	0.06	8.7

Tabla 66*Perfil de tensiones*

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.004 / 1.006	1.004	1.005	0.990	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.009	-	1.025	1.025	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

- Viento promedio, Irradiación máxima
- Viento promedio, Irradiación reducida
- Sin viento, Irradiación máxima
- Sin viento, Irradiación reducida

No se considera el escenario sin irradiación, debido la hora del día correspondiente a este escenario de demanda.

El banco de baterías de plomo-ácido se considera disponible para casos de necesidad y cargado lo suficiente como para poder proveer la cantidad requerida de potencia a lo largo del período. En ningún caso se considerará aporte de potencia en estado estacionario del banco de ion-litio.

Caso 1: Viento Máximo, Irradiación Máxima

Tabla 67

Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1				-	0	0.6894	Out line
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.17527	0.09285	0.8837	0.52	0.344727		
G – 4	0.17527	0.09285	0.8837	0.52	0.344727		
G – 5					0		Out line
G – 6				-	0		Out line
G – 7				-	0		Out
G – 8				-	0	0.9006	Out line
G – 9	0.459391	0.24326	0.8837	1.36	0.90061		
Totales	0.809937	0.428956	0.8837	2.40	1.590	1.590	

Tabla 68
Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.75	-0.0045	>0.999		
	Baltra AG-2	0.75	-0.0045	>0.999		
	Baltra AG-3	0.75	-0.0045	>0.999		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.19	0.00	1.0		
	PV S. Cruz	1.40	0.00	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		3.84	-0.0135	>0.999	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 69
Resumen Carga - Generación

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
0.81	3.84	4.65	4.51	0.14	82.6

Tabla 70
Perfil de tensiones

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.025 / 1.016	1.015	1.017	0.988	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.017	1.007	1.028	1.029	1.005

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

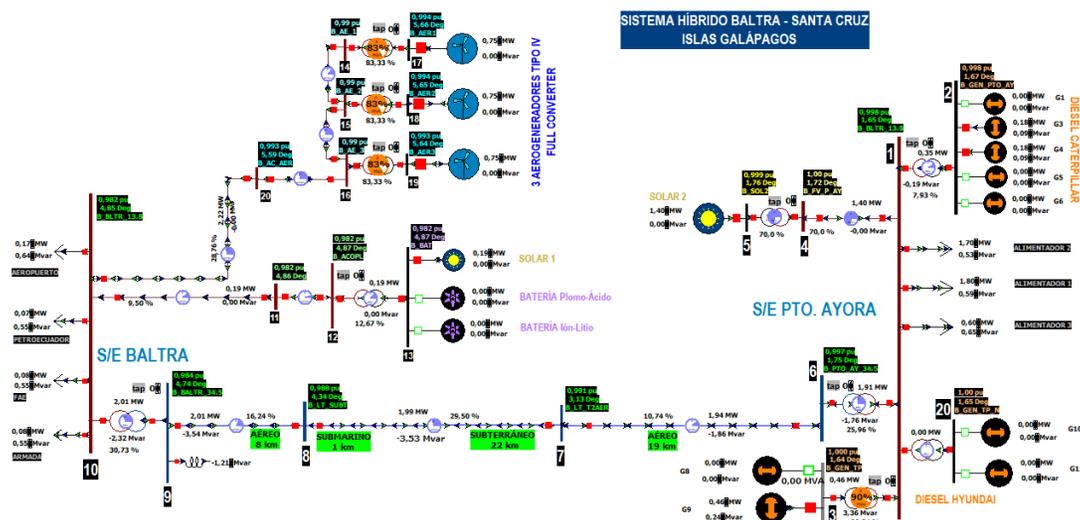


Figura 97. Caso 1: Viento Máximo, Máxima Irradiación

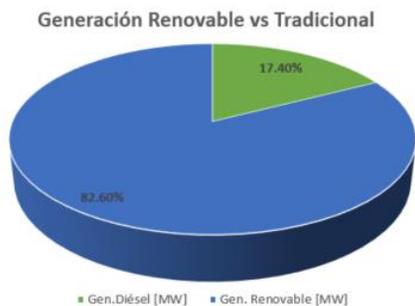


Figura 98. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1

Caso 2: Viento Máximo, Irradiación Reducida

Tabla 71

Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G - 1	0.27407	0.064668	0.973	0.52	0.245933	0.7378	
G - 2				-	0		Out
G - 3	0.27407	0.064668	0.973	0.52	0.245933		
G - 4	0.27407	0.064668	0.973	0.52	0.245933		
G - 5					0		Out line
G - 6				-	0		Out line
G - 7				-	0		Out

CONTINUÍA

G – 8				-	0	0.6418	Out line
G – 9	0.78178	0.16943	0.973	1.36	0.64182		
Totales	1.5404	0.3634	0.973	2.92	1.3796	1.3796	

Tabla 72*Generación No Convencional.*

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.75	0.0043	>0.999		
	Baltra AG-2	0.75	0.0043	>0.999		
	Baltra AG-3	0.75	0.0043	>0.999		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.1	0.00	1.0		
	PV S. Cruz	0.75	0.00	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		3.10	0.0130	>0.999	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 73*Resumen Carga - Generación.*

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
1.5404	3.10	4.64	4.51	0.13	66.8

Tabla 74*Perfil de tensiones.*

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.025 / 1.015	1.015	1.017	0.988	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.016	1.007	1.028	1.028	1.003

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

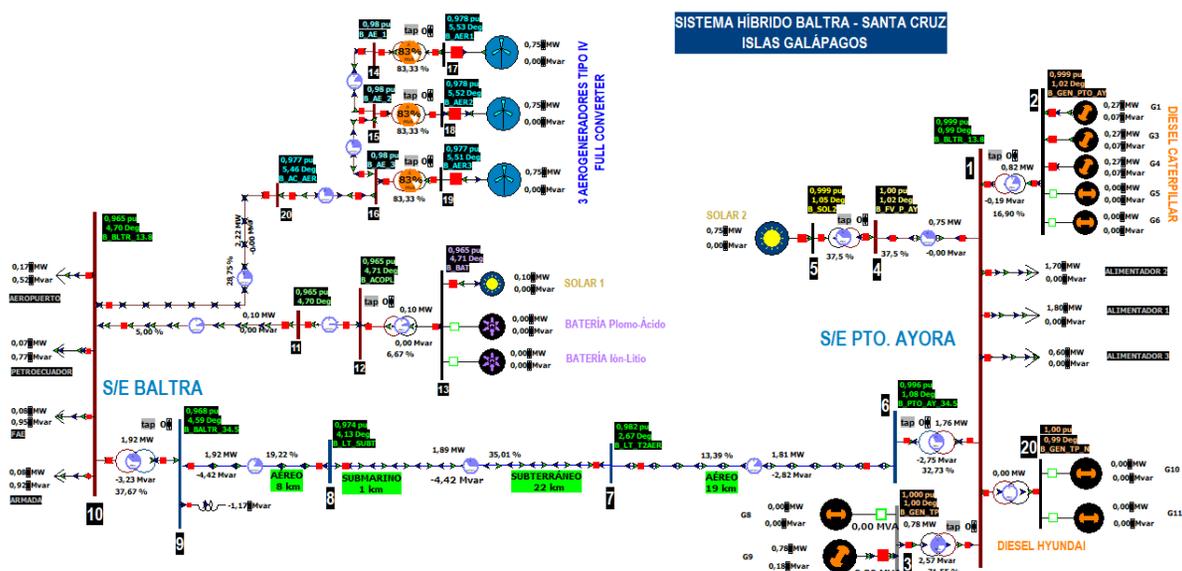


Figura 99. Caso 2: Viento Máximo, Irradiación Reducida.



Figura 100. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2

Caso 3: Viento Promedio, Irradiación Máxima

Tabla 75

Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.25519	0.032647	0.992	0.52	0.2648084	0.7944	
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.25519	0.032647	0.992	0.52	0.2648084		
G – 4	0.25519	0.032647	0.992	0.52	0.2648084		
G – 5					0		Out line
G – 6				-	0		Out line
G – 7				-	0		Out

CONTINÚA

G – 8				-	0	0.6913	Out line
G – 9	0.668735	0.085535	0.992	1.36	0.6912655		
Totales	1.4343	0.1835	0.992	2.92	1.4857	1.4857	

Tabla 76*Generación No Convencional.*

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.529	0.0414	0.997		
	Baltra AG-2	0.529	0.0414	0.997		
	Baltra AG-3	0.529	0.0414	0.997		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.19	0.0	1.0		
	PV S. Cruz	1.40	0.0	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.0		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		3.177	0.1241	0.99	0.5	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 77*Resumen Carga - Generación.*

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
1.4343	3.177	4.61	4.51	0.1	68.9

Tabla 78*Perfil de tensiones.*

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.023 / 1.016	1.015	1.017	0.990	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.017	1.006	1.027	1.027	1.005

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

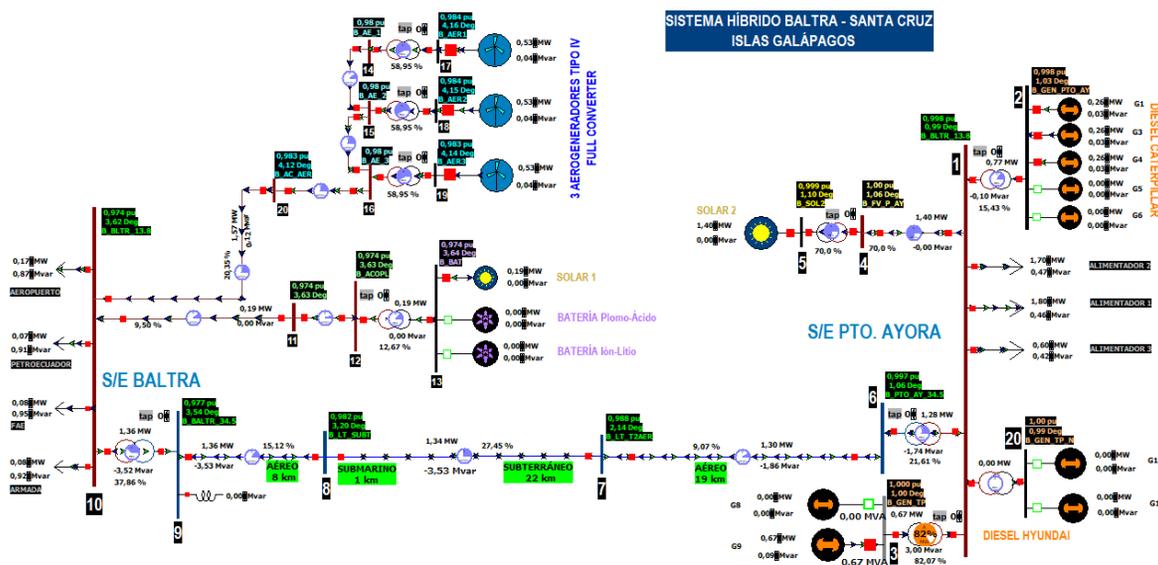


Figura 101. Caso 3: Viento Promedio, Irradiación Máxima.

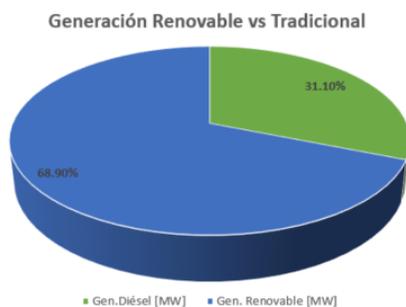


Figura 102. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3

Caso 4: Viento Promedio, Irradiación Reducida

Tabla 79

Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G - 1	0.2957239	0.01760556	0.998	0.52	0.2242761	1.0487	
G - 2				-	0		Out
G - 3	0.2957239	0.01760556	0.998	0.52	0.2242761		
G - 4	0.2957239	0.01760556	0.998	0.52	0.2242761		
G - 5	0.5040892	0.02992945	0.998	0.88	0.3759108		
G - 6					0		Out line

CONTINÚA

G – 7				-	0		Out
G – 8					0	0.5851	Out line
G – 9	0.7749073	0.04612655	0.998	1.36	0.5850927		
Totales	2.166	0.1289	0.998	3.8	1.634	1.634	

Tabla 80*Generación No Convencional.*

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.529	0.0510	0.995		
	Baltra AG-2	0.529	0.0510	0.995		
	Baltra AG-3	0.529	0.0510	0.995		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.10	0.0	1.0		
	PV S. Cruz	0.75	0.0	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.0		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		2.437	0.1529	0.998	0.5	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 81*Resumen Carga - Generación.*

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
2.166	2.437	4.60	4.51	0.09	52.9

Tabla 82*Perfil de tensiones.*

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.023 / 1.016	1.015	1.017	0.990	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.016	1.007	1.026	1.026	1.003

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

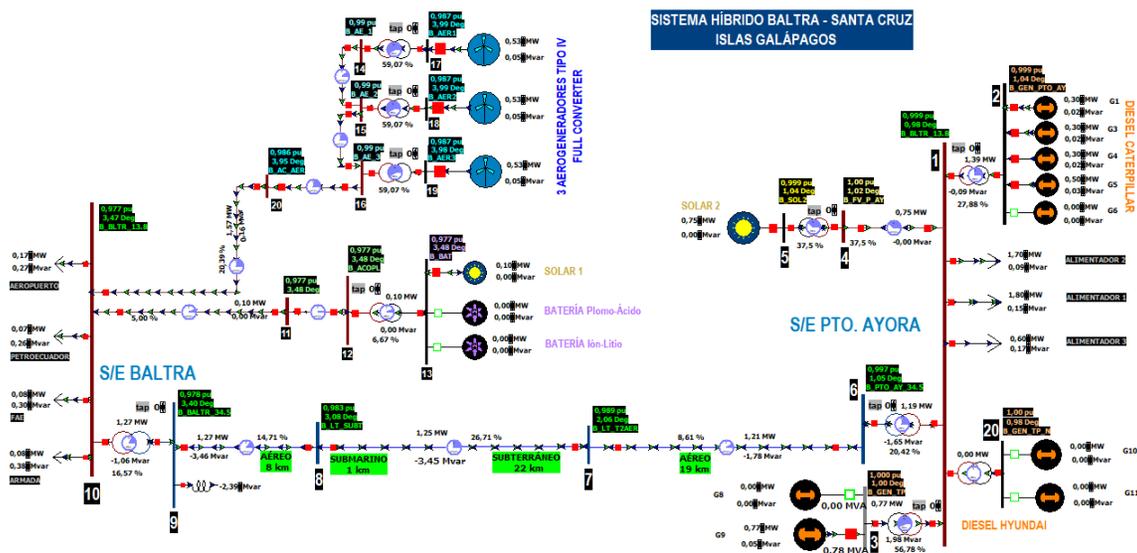


Figura 103. Caso 4: Viento Promedio, Irradiación Reducida



Figura 104. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 4

Caso 5: Sin Viento, Irradiación Máxima

Tabla 83

Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3581438	0.03423537	0.995	0.52	0.1618562	0.9176	
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.3581438	0.03423537	0.995	0.52	0.1618562		
G – 4	0.3581438	0.03423537	0.995	0.52	0.1618562		
G – 5	0.6097878	0.05820014	0.995	0.88	0.2702122		
G – 6	0.3581438	0.03423537	0.995	0.52	0.1618562		
G – 7				-	0		Out

CONTINÚA

G – 8					0	0.4216	Out line
G – 9	0.9384135	0.08969668	0.995	1.36	0.4215865		
Totales	2.981	0.2848	0.995	4.31	1.3392	1.3392	

Tabla 84*Generación No Convencional.*

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.0	0.0			
	Baltra AG-2	0.0	0.0			
	Baltra AG-3	0.0	0.			
Fotovoltaica	PV Baltra	0.19	0.0	1.0		
	PV S. Cruz	1.4	0.0	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.0		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		1.59	0.0	1.0	0.5	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 85*Resumen Carga - Generación.*

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
2.981	1.59	4.57	4.51	0.06	34.8

Tabla 86*Perfil de tensiones.*

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	0.997 / 0.998	0.997	0.999	0.989	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	0.999	-	1.028	1.027	1.005

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

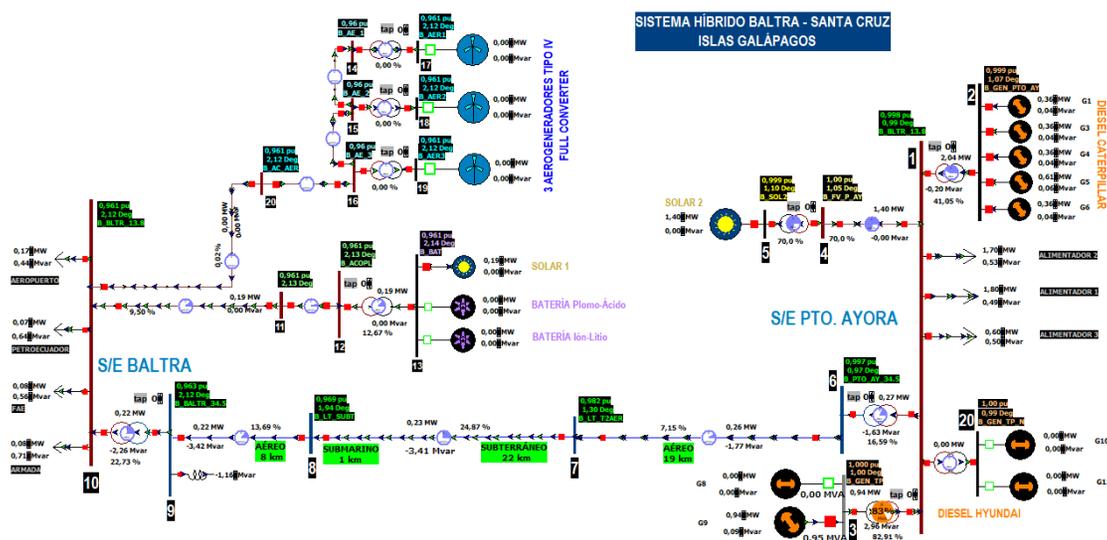


Figura 105. Caso 5: Sin Viento, Irradiación Máxima

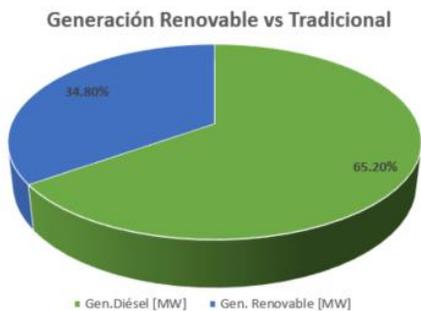


Figura 106. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 5

Caso 6: Sin Viento, Irradiación Reducida

Tabla 87

Generación Planta Puerto Ayora

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas	
G – 1	0.3736207	0.02738487	0.997	0.52	0.1463793	0.6831		
G – 2				-				Out
G – 3	0.3736207	0.02738487	0.997	0.52	0.1463793			
G – 4	0.3736207	0.02738487	0.997	0.52	0.1463793			
G – 5	0.6359957	0.04655427	0.997	0.88	0.2440043			
G – 6					0			
G – 7				-	0			Out line

CONTINÚA



G – 8	1.0249547	0.07874834	0.997	1.36	0.3810453	0.7621	Out
G – 9	0.9349547	0.07474834	0.997	1.36	0.3810453		
Totales	3.7148	0.2722	0.997	5.16	1.4452	1.4452	

Tabla 88*Generación No Convencional.*

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVar]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.0	0.0			
	Baltra AG-2	0.0	0.0			
	Baltra AG-3	0.0	0.			
Fotovoltaica	PV Baltra	0.10	0.0	1.0		
	PV S. Cruz	0.75	0.0	1.0		
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.0		0.5	(1)
	Plomo - Ácido	0.0	0.0			(2)
Totales		0.85	0.0	1.0	0.5	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 89*Resumen Carga - Generación.*

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
3.7148	0.85	4.56	4.51	0.05	18.6

Tabla 90*Perfil de tensiones.*

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	0.996 / 0.996	0.996	0.998	0.989	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	0.997	-	1.027	1.027	1.003

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

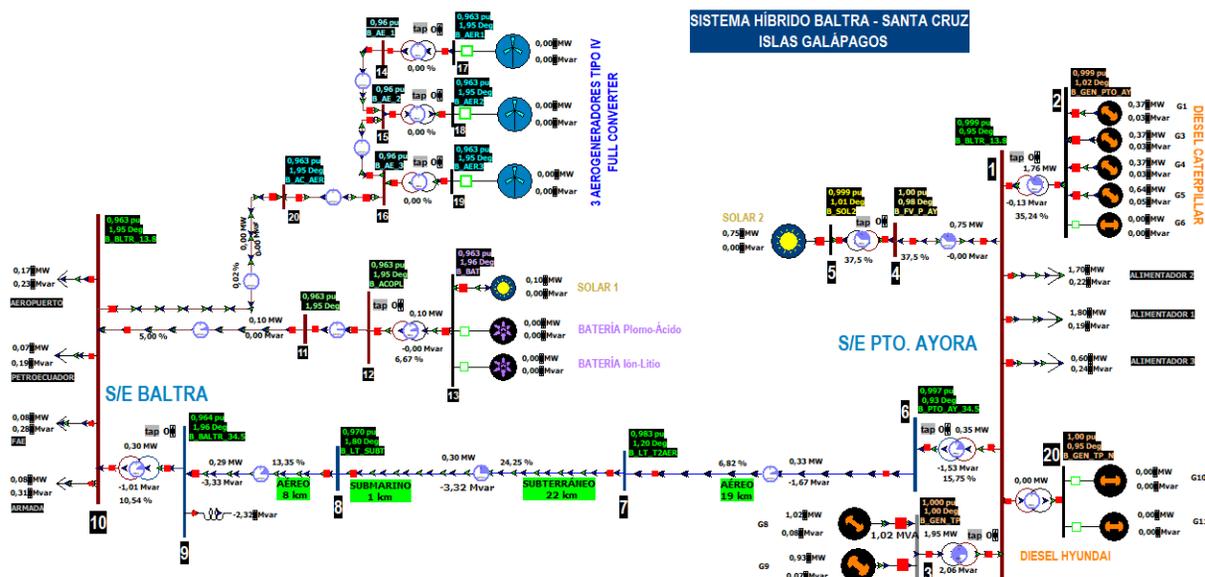


Figura 107. Caso 6: Sin Viento, Irradiación Reducida

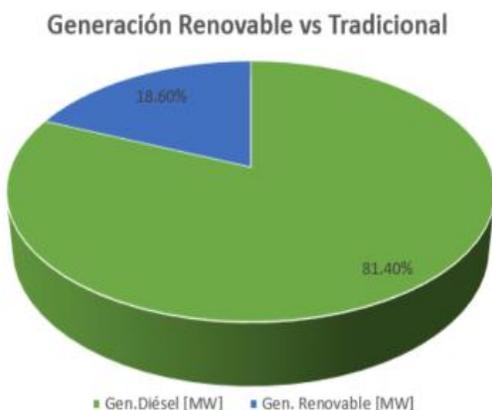


Figura 108. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 6

4.9.5. Escenario 4. Pico de Demanda de la noche, Época de Frío

Las demanda máxima en horas del día para el año 2017, correspondientes a la época de frío, se dan en la Tabla 87.

Para este escenario de carga, se considera condiciones de generación eólica y fotovoltaica según indicado a continuación:

- Viento máximo, sin Irradiación
- Viento promedio, sin Irradiación
- Sin viento, sin Irradiación

No se considera el escenario con irradiación, debido la hora del día correspondiente a este escenario de demanda.

El banco de baterías de plomo-ácido se considera disponible para casos de necesidad y cargado lo suficiente como para poder proveer la cantidad requerida de potencia a lo largo del período. En ningún caso se considerará aporte de potencia en estado estacionario del banco de ion-litio.

Caso 1: Viento Máximo

Tabla 91
Generación Planta Puerto Ayora.

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas	
G – 1	0.3398359	0.02861168	0.996	0.52	0.1801641	0.8417		
G – 2				-	0		Out	
G – 3	0.3398359	0.02861168	0.996	0.52	0.1801641			
G – 4	0.3398359	0.02861168	0.996	0.52	0.1801641			
G – 5	0.5787862	0.04863986	0.996		0.3012138			
G – 6					0		Out line	
G – 7				-	0		Out	
G – 8				-	0		0.4695	Out line
G – 9	0.8904568	0.0749626	0.996	1.36	0.4695432			
Totales	2.489	0.2094	0.996	3.8	1.311	1.311		

Tabla 92
Generación No Convencional

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.75	-0.0457	0.998		
	Baltra AG-2	0.75	-0.0457	0.998		
	Baltra AG-3	0.75	-0.0457	0.998		

CONTINÚA



Fotovoltaica	PV Baltra	0.0	0.00		Sin Irrad
	PV S. Cruz	0.0	0.00		Sin Irrad
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00	0.5	(1)
	Plomo - Ácido				(2)
Totales		2.25	-0.0137	0.998	0.50

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 93
Resumen Carga - Generación.

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
2.489	2.25	4.74	4.61	0.13	47.5

Tabla 94
Perfil de tensiones.

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.024 / 1.015	1.015	1.018	0.988	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	-	1.003	1.027	1.027	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

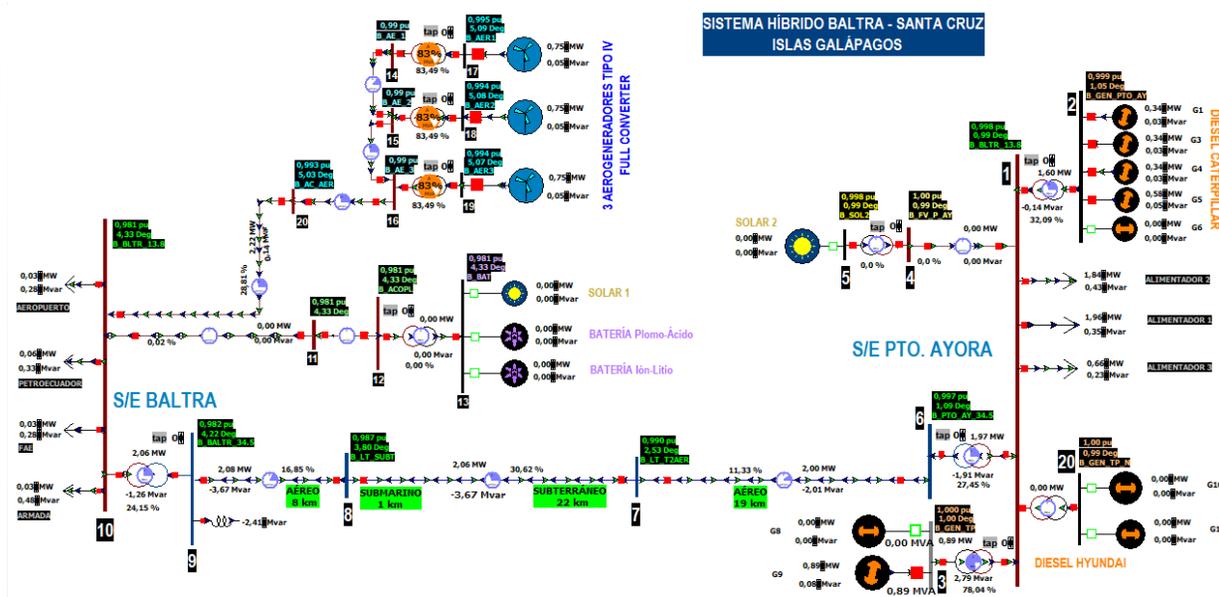


Figura 109. Caso 1: Viento Máximo

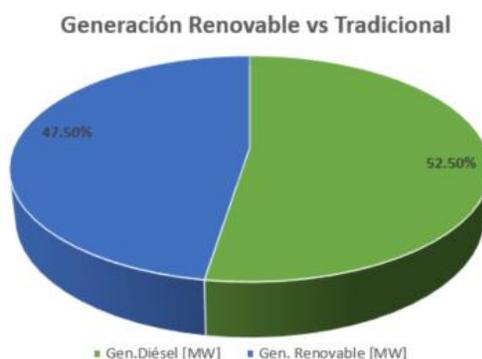


Figura 110. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1

Caso 2: Viento Promedio

Tabla 95

Generación Planta Puerto Ayora.

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3485912	-0.01471638	0.999	0.52	0.1714088	0.800	
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.3485912	-0.01471638	0.999	0.52	0.1714088		
G – 4	0.3485912	-0.01471638	0.999	0.52	0.1714088		
G – 5	0.593612	-0.02501784	0.999	0.52	0.286388		
G – 6					0		Out line
G – 7				-	0		Out
G – 8	0.913391	-0.03855691	0.999	1.36	0.446609		0.8932
G – 9	0.913391	-0.03855691	0.999	1.36	0.446609		
Totales	3.466	-0.1463	0.999	5.16	1.694	1.694	

Tabla 96

Generación No Convencional.

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.406	0.0304	0.997		
	Baltra AG-2	0.406	0.0304	0.997		
	Baltra AG-3	0.406	0.0304	0.997		
Fotovoltaica	PV Baltra	0.0	0.00			Sin Irrad
	PV S. Cruz	0.0	0.00			Sin Irrad
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		1.218	0.0912	0.997	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 97
Resumen Carga - Generación.

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
3.466	1.218	4.68	4.61	0.07	26.0

Tabla 98
Perfil de tensiones.

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.012 / 1.015	1.015	1.015	0.991	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	-	1.002	1.024	1.024	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

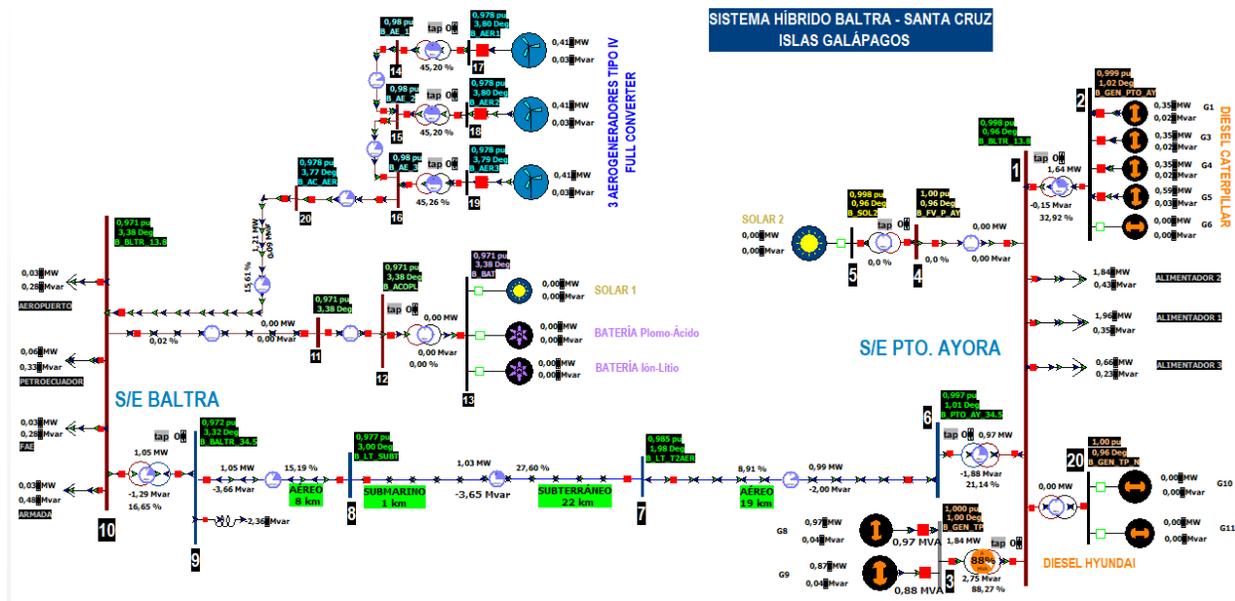


Figura 111. Caso 2: Viento Promedio

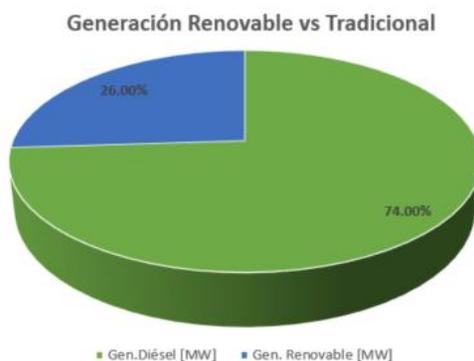


Figura 112. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2

Caso 3: Sin Viento

Tabla 99

Generación Planta Puerto Ayora.

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1	0.3894603	-0.00498712	>0.999	0.52	0.1305397	0.739	
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.3894603	-0.00498712	>0.999	0.52	0.1305397		
G – 4	0.3894603	-0.00498712	>0.999	0.52	0.1305397		
G – 5	0.6628176	-0.0084781	>0.999	0.52	0.2171824		
G – 6	0.3894603	-0.00498712	>0.999	0.88	0.1305397		
G – 7				-	0		Out
G – 8	1.070446	-0.01306625	>0.999	1.36	0.339554		0.679
G – 9	0.990446	-0.01306625	>0.999	1.36	0.339554		
Totales	4.262	-0.0546	>0.999	5.68	1.418	1.418	

Tabla 100

Generación No Convencional.

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVA _r]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.0	0.0			Sin viento
	Baltra AG-2	0.0	0.0			Sin viento
	Baltra AG-3	0.0	0.0			Sin viento
Fotovoltaica	PV Baltra	0.0	0.0			Sin Irrad
	PV S. Cruz	0.0	0.0			Sin Irrad
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.0		0.5	(1)
	Plomo - Ácido	0.4	0.0	1.0		(2)
Totales		0.4	0.0	1.0	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): Energía almacenada

Tabla 101
Resumen Carga - Generación.

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
4.262	0.4	4.66	4.61	0.05	8.6

Tabla 102
Perfil de tensiones.

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	1.005 / 1.007	1.005	1.006	0.990	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	1.009	-	1.025	1.025	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

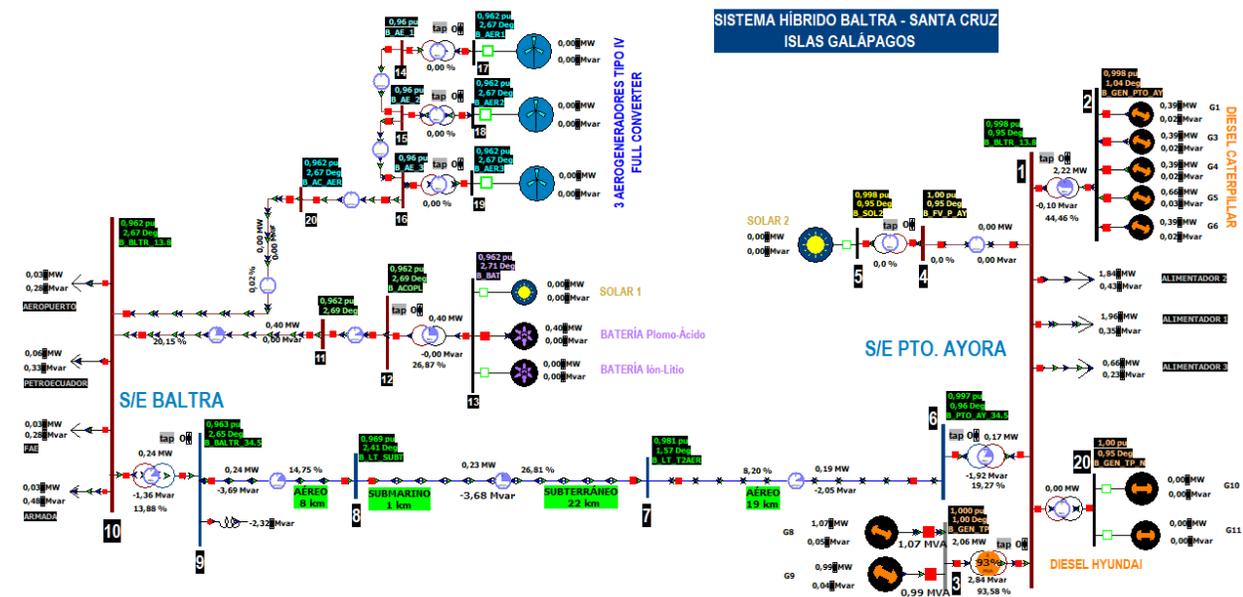


Figura 113. Caso 3: Sin Viento

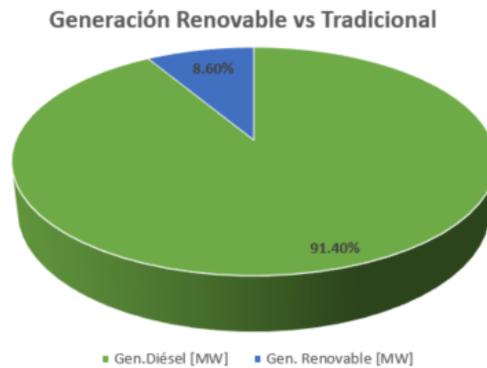


Figura 114. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3

4.9.6. Escenario 5. Mínima Demanda

Las demanda mínima para el año 2017, se dan en la Tabla 95.

Para este escenario de carga, se considera condiciones de generación eólica y fotovoltaica según indicado a continuación:

- Viento máximo, sin Irradiación
- Viento promedio, sin Irradiación
- Sin viento, sin Irradiación

La mínima demanda se considera igual tanto para la época de calor como para la época de frío. Se utilizarán como aportes de energía eólica los correspondientes a la época de calor, condición más desfavorable.

No se consideran escenarios con irradiación, debido la hora del día correspondiente a este escenario de demanda.

El banco de baterías de plomo-ácido se considera disponible para casos de necesidad y cargado lo suficiente como para poder proveer la cantidad requerida de

potencia a lo largo del período. En ningún caso se considerará aporte de potencia en estado estacionario del banco de ion-litio.

Caso 1: Viento Máximo

Tabla 103

Generación Planta Puerto Ayora.

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1					0	0.3807	Out line
G – 2				-	0		Out
G – 3					0		Out line
G – 4	0.1392708	0.03098794	0.976	0.52	0.3807292		
G – 5					0		Out line
G – 6					0		Out line
G – 7				-	0		Out
G – 8				-	0	0.9949	Out line
G – 9	0.3650848	0.08118841	0.976	1.36	0.9949152		
Totales	0.5044	0.1122	0.976	1.88	1.375	1.375	

Tabla 104

Generación No Convencional.

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.325	0.0423	0.992		Lim.de.Ge
	Baltra AG-2	0.325	0.0423	0.992		Lim.de.Ge
	Baltra AG-3	0.325	0.0423	0.992		Lim.de.Ge
Fotovoltaica	PV Baltra	0.0	0.00			Sin Irrad
	PV S. Cruz	0.0	0.00			Sin Irrad
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		0.975	0.127	0.992	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 105

Resumen Carga - Generación.

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
0.5044	0.975	1.48	1.43	0.05	65.9

Tabla 106
Perfil de tensiones.

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	0.995 / 0.990	0.990	0.989	0.981	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	-	1.002	1.026	1.027	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

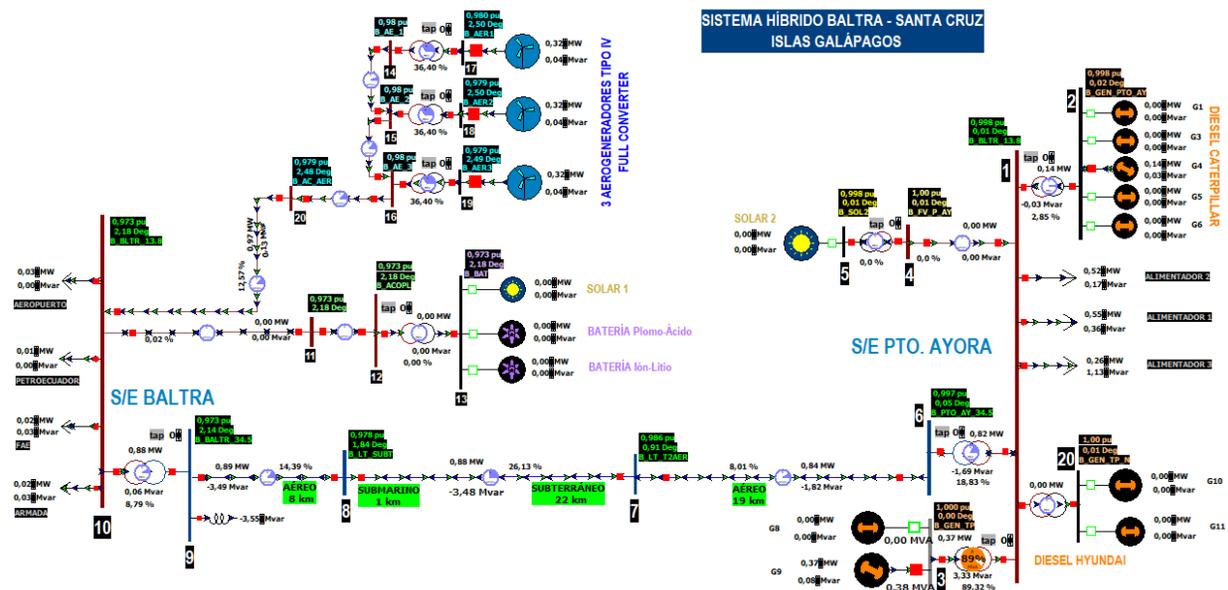


Figura 115. Caso 1: Viento Máximo



Figura 116. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 1

Caso 2: Viento Promedio**Tabla 107**
Generación Planta Puerto Ayora.

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas
G – 1					0	0.745	Out line
G – 2				-	0		Out
G – 3	0.1475122	0.00950397	0.998	0.52	0.3724878		
G – 4	0.1475122	0.00950397	0.998	0.52	0.3724878		
G – 5					0		Out line
G – 6					0		Out line
G – 7				-	0		Out
G – 8					0	0.9733	Out line
G – 9	0.3866727	0.02490041	0.998	1.36	0.9733273		
Totales	0.682	0.0439	0.999	2.40	1.718	1.718	

Tabla 108
Generación No Convencional.

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Balra AG-1	0.264	0.0598	0.975		
	Balra AG-2	0.264	0.0598	0.975		
	Balra AG-3	0.264	0.0598	0.975		
Fotovoltaica	PV Balra	0.0	0.00			Sin Irrad
	PV S. Cruz	0.0	0.00			Sin Irrad
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido					(2)
Totales		0.792	0.1795	0.975	0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 109
Resumen Carga - Generación.

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
0.682	0.792	1.474	1.43	0.05	53.7

Tabla 110
Perfil de tensiones.

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	0.995 / 0.990	0.990	0.989	0.981	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	-	1.002	1.026	1.026	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

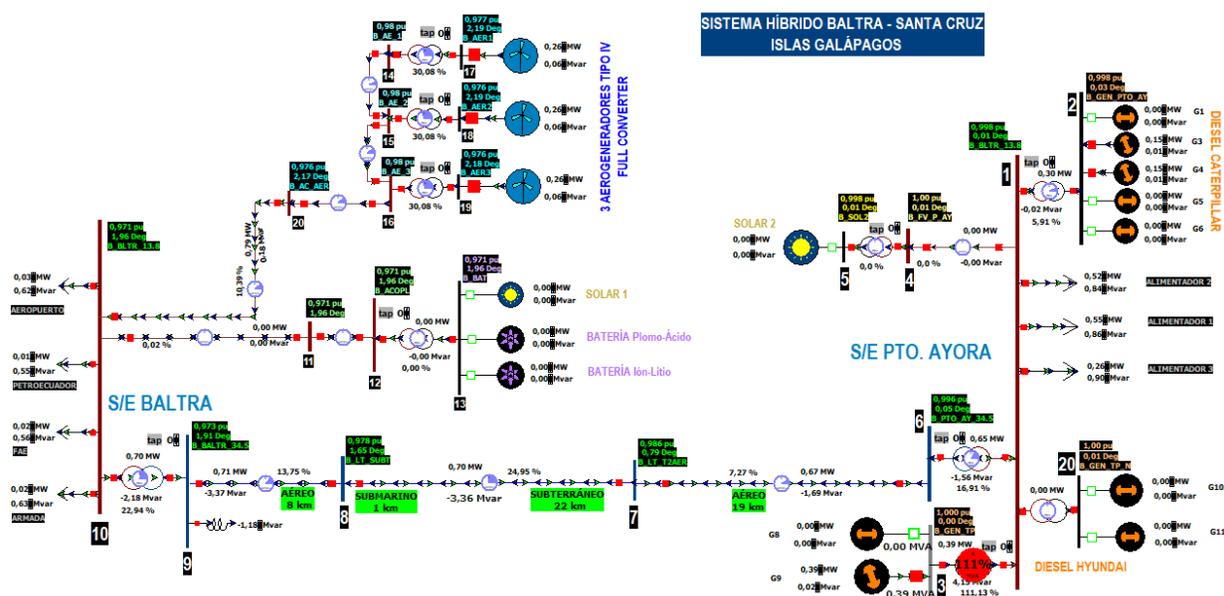


Figura 117. Caso 2: Viento Promedio

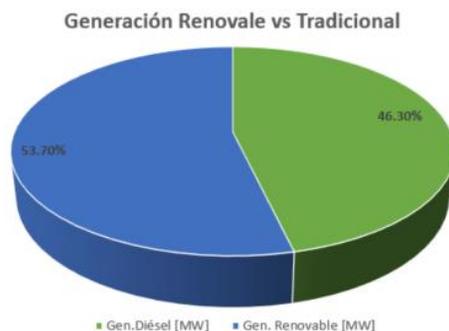


Figura 118. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 2

Caso 3: Sin Viento

Tabla 111
Generación Planta Puerto Ayora.

Unidades	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Generación Disponible [MW]	Reserva [MW]	Reserva Por Grupos [MW]	Notas	
G – 1	0.2603194	0.03604824	0.991	0.52	0.2596806	0.779		
G – 2				-	0		Out	
G – 3	0.2603194	0.03604824	0.991	0.52	0.2596806			
G – 4	0.2603194	0.03604824	0.991	0.52	0.2596806			
G – 5					0		Out line	
G – 6					0		Out line	
G – 7				-	0		Out	
G – 8					0		0.6778	Out line
G – 9	0.6821666	0.09444638	0.991	1.36	0.6778334			
Totales	1.463	0.2026	0.991	2.92	1.457	1.457		

Tabla 112
Generación No Convencional.

Tipo	Unidad	Generación Activa [MW]	Generación Reactiva [MVAr]	F.P	Reserva [MW]	Notas
Eólica	Baltra AG-1	0.0	0.00			Sin Viento
	Baltra AG-2	0.0	0.00			Sin Viento
	Baltra AG-3	0.0	0.00			Sin Viento
Fotovoltaica	PV Baltra	0.0	0.00			Sin Irrad
	PV S. Cruz	0.0	0.00			Sin Irrad
Baterías	Ion - Litio	0.0	0.00		0.5	(1)
	Plomo - Ácido	0.0	0.00			(2)
Totales		0.0	0.00		0.50	

(1): Reserva ante fluctuaciones

(2): No utilizada

Tabla 113
Resumen Carga - Generación.

Gen. Diésel [MW]	Gen. Renovable [MW]	Gen. Total [MW]	Demanda Neta [MW]	Pérdidas [MW]	Gen. Renovable [%]
1.463	0.0	1.463	1.43	0.04	0.0

Tabla 114
Perfil de tensiones.

Transmisión	Cuarto de Acople [WTG/PV]	S/E Baltra 13.8 [kV]	S/E Baltra 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]	S/E S. Cruz 34.5 [kV]
	0.977 / 0.977	0.977	0.978	0.980	1.000
Generación	PV Baltra	AG 1 – 3 Baltra	G1 – 7 P. Ayora	G 8 – 9 P. Ayora	PV S. Cruz
	-	-	1.027	1.027	-

NOTA: Reactor en Baltra 34.5 [kV] out line

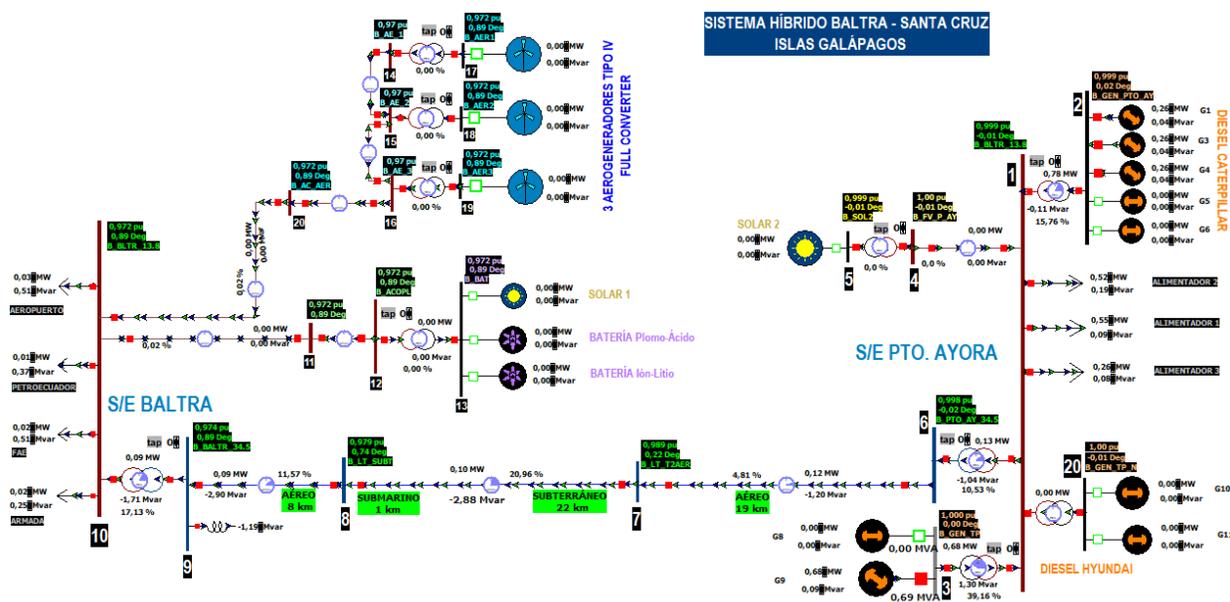


Figura 119. Caso 3: Sin Viento

Generación Renovable vs Tradicional

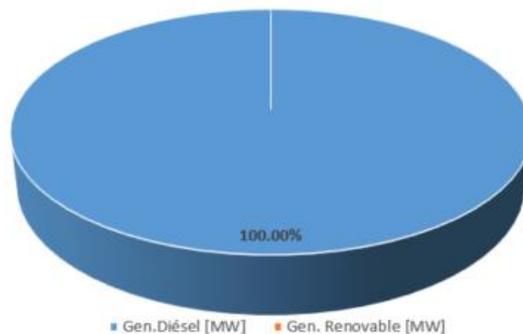


Figura 120. Comparación de Tecnologías de Generación Caso 3

4.10. Flujos de Carga – Análisis de Contingencia

Se evaluarán las condiciones de operación del sistema, obtenidas al simular la salida en estado estacionario de un equipo de transmisión para cada uno de los casos de flujo de carga elaborados bajo los diferentes escenarios de demanda.

Es preciso destacar que debido a la naturaleza de la topología del sistema de las islas Galápagos (Baltra y Santa Cruz), el cual es esencialmente radial, implica que la salida de cualquier equipo de transmisión conlleva la pérdida o bien de un bloque de carga o de un bloque de generación.

Una lista de las posibles contingencias de transmisión del sistema Baltra – Santa Cruz modelado se da en la siguiente tabla, y se indican asimismo las consecuencias inherentes a dichas contingencias. No se consideran fallas internas a la planta eólica Baltra, por ser éstas comprendidas en la salida de la línea entre el parque eólico y el cuarto de acople.

Tabla 115
Contingencias Consideradas de Transmisión

Equipo	Consecuencia
TRF PV/BESS Baltra	Desconexión de la planta PV Baltra y de los bancos de baterías en servicio. Pérdida de la reserva ante fluctuaciones en isla Baltra
C. Acople (WTG) – Baltra 13.8 kV	Desconexión de todos los aerogeneradores en servicio
C. Acople (PV) – Baltra 13.8 kV (**)	Desconexión de la planta PV Baltra y de los bancos de baterías en servicio. Pérdida de la reserva ante fluctuaciones en isla Baltra
Alimentadores cargas locales Baltra	Desconexión de la carga asociada al alimentador. Se puede hacer necesaria la utilización de la generación local
TRF BALTRA 10 MVA, 34.5/13.8 [kV] Baltra – Santa Cruz 34.5 [kV]	Pérdida de la transmisión de energía entre Baltra y Santa Cruz, la cual podría exceder la reserva rodante disponible. Pérdida de la generación renovable en Baltra debido a la pérdida de la frecuencia de referencia de los inversores y consiguiente salida de las cargas locales en Baltra, que deberán ser suplidas mediante la generación local
TRF S.CRUIZ 10 MVA, 34.5/13.8 [kV]	

CONTINÚA



TRF unidades CAT 1-7	Desconexión de las unidades en servicio del grupo G1 a G7 de Planta Ayora
TRF unidades Hyundai 8-9	Desconexión de las unidades en servicio del grupo G8 a G9 de Planta Ayora
TRF PV S. Cruz	Salida de la planta Fotovoltaica Santa Cruz
Alimentadores sistema Santa Cruz	Desconexión d la carga asociada al alimentador

Todas las contingencias representan un desbalance en la relación carga - generación, ellas deben ser analizadas mediante un análisis dinámico (estabilidad de frecuencia), tomando en cuenta aspectos como la eventual respuesta ante sobre frecuencia de las plantas renovables, la cargabilidad temporal de los generadores diésel en servicio, droops de los gobernadores, etc. Tales casos se indicarán a continuación.

4.10.1. Escenario 1. Pico de Demanda del día, Época de Calor

CASO 1:

Salida C. Acople (WTG) – Baltra 13.8 [kV]: Carga de las unidades diésel superior al 110 [%] de la capacidad máxima efectiva. Inversión de flujo en la línea Baltra – Santa Cruz.

Salida Interconexión Baltra – S. Cruz: Carga de las unidades diésel superior al 105% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 110% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora motorizadas por exceso de generación. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 2:

Salida C. Acople (WTG) – Baltra 13.8 [kV]: Carga de las unidades diésel superior al 115% de la capacidad máxima efectiva. Inversión de flujo en la línea Baltra –S. Cruz.

Salida Interconexión Baltra – S. Cruz: Carga de las unidades diésel superior al 108% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 150% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora cargadas a menos del 5% de su capacidad efectiva. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 3:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 150% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF Planta PV Santa Cruz: Carga de unidades en Puerto Ayora algo superior (100.5%) a su capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora cargadas a un 5% de su capacidad máxima efectiva. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 4:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de las unidades 8 y 9 superior al 115% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 cercana al 130% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora cargadas al 18% de su capacidad máxima efectiva. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 5:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de las unidades 8 y 9 superior al 135% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 cercana al 150% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora cargadas al 10% aprox. de su capacidad máxima efectiva. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 6:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de las unidades 8 y 9 superior al 150% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 cercana al 140% de la capacidad máxima efectiva.

4.10.2. Escenario 2. Pico de Demanda de la noche, Época de Calor

CASO 1:

Salida C. Acople (WTG) – Baltra 13.8 [kV]: Carga de las unidades diésel superior al 105% de la capacidad máxima efectiva. Inversión de flujo en la línea Baltra –S. Cruz.

Salida Interconexión Baltra – S. Cruz: Carga de las unidades diésel algo superior (101 %) a la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 en 190% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora cargadas a menos del 15% de su capacidad efectiva. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 2:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de las unidades 8 y 9 superior al 130 % de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 superiores al 200 % de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 150% de la capacidad máxima efectiva.

CASO 3:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de las unidades 8 y 9 superior al 150 % de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 superiores al 140 % de la capacidad máxima efectiva.

4.10.3. Escenario 3. Pico de Demanda del día, Época de Frío

CASO 1:

Salida C. Acople (WTG) – Baltra 13.8 [kV]: Carga de las unidades diésel superior al 120% de la capacidad máxima efectiva. Inversión de flujo en la línea Baltra –S. Cruz.

Salida Interconexión Baltra – S. Cruz: Carga de las unidades diésel cercana al 115% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora motorizadas por exceso de generación. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia las plantas fotovoltaicas y eólicas.

CASO 2:

Salida C. Acople (WTG) – Baltra 13.8 [kV]: Carga de las unidades diésel superior al 125% de la capacidad máxima efectiva. Inversión de flujo en la línea Baltra –S. Cruz.

Salida Interconexión Baltra – S. Cruz: Carga de las unidades diésel superior al 115% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 110% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora motorizadas por exceso de generación. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólicas.

CASO 3:

Salida C. Acople (WTG) – Baltra 13.8 [kV]: Carga de las unidades diésel en 102% de la capacidad máxima efectiva. Inversión de flujo en la línea Baltra –S. Cruz.

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 105% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora motorizadas por exceso de generación. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólicas.

CASO 4:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 150% de la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora cargadas al 10% de su capacidad máxima efectiva. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 5:

Salida TRF Planta PV Santa Cruz: Carga de unidades en Puerto Ayora algo superior (101%) a su capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 200% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 algo superior (101%) de la capacidad máxima efectiva.

CASO 6:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de las unidades 8 y 9 superior al 135% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 superiores al 150% de la capacidad máxima efectiva.

4.10.4. Escenario 4. Pico de Demanda de la noche, Época de Frío

CASO 1:

Salida C. Acople (WTG) – Baltra 13.8 [kV]: Carga de las unidades diésel superior al 120% de la capacidad máxima efectiva. Inversión de flujo en la línea Baltra –S. Cruz.

Salida Interconexión Baltra – S. Cruz: Carga de las unidades diésel superior al 115% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 superior al 180% de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 algo superior (102%) a la capacidad máxima efectiva.

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora cargadas a menos del 15% de su capacidad efectiva. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 2:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de las unidades 8 y 9 superior al 125 % de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 superiores al 140% de la capacidad máxima efectiva.

CASO 3:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de las unidades 8 y 9 superior al 150 % de la capacidad máxima efectiva.

Salida TRF unidades Hyundai 8-9 en P. Ayora: Carga de las unidades 1 a 7 superiores al 140 % de la capacidad máxima efectiva.

4.10.5. Escenario 5. Mínima Demanda**CASO 1:**

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora motorizadas por exceso de generación. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 2:

Salida Alimentador 2 Sistema Santa Cruz: Unidades en P. Ayora cargadas a menos del 5%. El flujo de carga no considera sin embargo la reducción de potencia por sobre-frecuencia de las plantas fotovoltaicas y eólica.

CASO 3:

Salida TRF unidades CAT 1-7 en P. Ayora: Carga de la unidad 9 en 107% % de la capacidad máxima efectiva.

4.10.6. Condiciones Generales para todos los escenarios planteados

El análisis de contingencias en estado estacionario, no indicó problemas de voltaje ante salidas de equipos de transmisión, pero sí evidenció que los desbalances carga/generación inherentes a las salidas de los equipos de transmisión pueden ocasionar problemas en unidades cargadas a valores superiores a su capacidad máxima

efectiva, o inferiores a un mínimo operativo estimado. Las contingencias deberán ser entonces analizadas mediante simulaciones dinámicas para aseverar su real severidad tras considerar la respuesta dinámica de los equipos de control de las diferentes plantas (capacidad estimada de sobrecarga temporal de unidades y reserva a corto plazo, regulación de frecuencia de los inversores, etc.), y las características dinámicas de la carga, para poder determinar los posibles correctivos.

4.11. Verificación de la Operación del Sistema

Los escenarios y casos presentados representan condiciones puntuales de operación del sistema eléctrico de las islas Galápagos (Islas de Baltra y Santa Cruz), condiciones que se consideran representativas del posible rango de operación óptimo de dicho sistema. Las observaciones y conclusiones relativas a la operación y comportamiento del sistema en estado estacionario se dan a continuación.

4.12. Análisis de Estado Estacionario

- Las inyecciones de potencia reactiva en todos los casos están dentro de los límites permitidos por los equipos.
- El criterio de reserva rodante es determinante para definir la cantidad de unidades diésel en servicio en cada escenario: dicho criterio prevé una reserva suficiente para cubrir la mayor inyección individual de generación, sin considerar en ningún caso el posible aporte de los bancos de baterías como parte de esta reserva. Todos los casos presentados respetan los requerimientos de “Reserva Rodante”, con la excepción parcial de los siguientes casos:

Tabla 116***Contingencias Consideradas de Transmisión.***

Escenarios / Casos	Descripción	Notas
Escenario 1 / Caso 3	Max. Demanda día/época de calor Viento promedio/max. irradiación	Reserva Total 1.37 MW/ Inyección máxima 1.4 MW (Planta PV S. Cruz)
Escenario 3 / Caso 5	Max. Demanda día/época de frío sin Viento/max. irradiación	Reserva Total 1.34 MW/ Inyección máxima 1.4 MW (Planta PV S. Cruz) Reserva Grupo G1 a G7 0.94 MW / Generación unidad G9 0.98 MW
Escenario 4 / Caso 1	Max. Demanda noche/época de frío Viento máximo/sin irradiación	Reserva Grupo G1 a G7 0.82 MW / Generación unidad G9 0.84 MW

- La mayoría de los casos definidos presentan por lo menos una unidad diésel fuera de línea pero disponible como reserva de arranque rápido. Excepción a esto son los casos para la época de calor, demanda pico del día sin viento y baja irradiación (escenario 1, caso 6), demanda pico de la noche sin viento (escenario 2, caso 3), y demanda pico de la noche sin viento para época de frío (escenario 4, caso 3). En estos casos, para cubrir los requerimientos de demanda y reserva fue necesario incluir todas las unidades consideradas disponibles. Para estos casos, fue además necesaria la utilización de energía almacenada en el banco de baterías plomo – ácido, representando entonces ellos las condiciones de operación más críticas analizadas.
- En los casos de mínima demanda con viento máximo, fue necesario limitar la generación eólica. Esta condición indica un exceso de generación que puede ser almacenado en las baterías de plomo ácido.

- Se observó la necesidad de la contribución de la energía almacenada en los bancos de baterías de plomo ácido para cubrir la demanda y cumplir los requerimientos de reserva en los escenarios/casos de alta demanda sin generación renovable. Dichos bancos deben entonces mantenerse con carga suficiente en vista de dichas eventualidades. La carga de los bancos se debe realizar entonces desde la red en condiciones de mínima demanda, con preferencia cuando condiciones de alto viento pueden producir un exceso de disponibilidad de energía renovable.
- El análisis de contingencias en estado estacionario, no indicó problemas de voltaje ante salidas de equipos de transmisión, pero sí evidenció que los desbalances carga/generación inherentes a las salidas de los equipos de transmisión pueden ocasionar problemas en unidades cargadas a valores superiores a su capacidad máxima efectiva, o inferiores a un mínimo operativo

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los escenarios de flujo de carga presentados, representan escenarios operativos del Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz, en los cuales se cumple el criterio de reserva mínima en estado estacionario asumido.
- Es aconsejable, para los escenarios de alta demanda en época fría y con alta generación renovable mantener un nivel de reserva superior al mínimo, para evitar etapas transitorias de frecuencia, que se observaron en estas condiciones.
- Para el caso de mínima demanda con alta disponibilidad de generación Eólica, es aconsejable mantener un nivel de reserva superior al mínimo, para este caso particular es altamente aconsejable tener las unidades diésel cargadas a un valor superior al mínimo, para así garantizar la regulación en el caso eventual que el sistema rechace carga. Esto se lograría reduciendo la generación Eólica, y/o por medio de la carga de la batería de plomo ácido.
- Es preciso mantener en todo momento un nivel suficiente en los bancos de baterías de Ion – Litio, para asegurar su operación en la compensación de fluctuaciones de las energías renovables y ante eventuales variaciones de frecuencia ante rechazo de generación.
- Cuando se cumplan las condiciones de alto viento y pueda existir un exceso de disponibilidad de energía renovable, es recomendable realizar la carga de los bancos de baterías, manteniendo una carga suficiente para entrar en operación de manera inmediata.

- El sistema de transmisión Baltra – Santa Cruz, en todos los escenarios contemplados, no se tuvo problemas con los niveles de voltaje, en todas las barras del sistema.
- Las unidades diésel G1, G3, G4, G5, G8 y G9 son las unidades que estaban establecidas en el Sistema de Transmisión Baltra – Santa Cruz, en el momento de la instalación de las fuentes de generación renovable del sistema. Las unidades diésel G10 y G11 “HYUNDAI” son unidades que se instalaron posterior al funcionamiento de las centrales de generación renovable.
- Es sumamente importante tomar en cuenta que las unidades de generación diésel G10 y G11 “HYUNDAI” no fueron consideradas en las simulaciones de los escenarios contemplados, debido a que las mismas contribuían en un superávit de energía tradicional, que no contribuye al presente estudio.
- Para las simulaciones realizadas se consideró que los requerimientos de reserva ante las fluctuaciones de la energía renovable establecidos para la isla de Baltra, serán cubiertos por el banco de baterías de Ion-Litio.
- Las Islas de Baltra y Santa Cruz se tiene un potencial renovable alentador, se puede incrementar la generación renovable en una mayor escala, expandir a no solo la parte eólica y solar. Pero debido al tipo de tecnología que cuentan la mayoría de las fuentes renovables, es preciso, establecer una reserva mínima confiable, en este caso de generadores diésel, para que en caso de requerir una acción inmediata, estos tengan la rapidez y robustez necesarias para sostener al sistema de transmisión actual.

- Actualmente se está considerando, el manejo de diésel orgánico para la generación de energía eléctrica, la materia prima (los cultivos) para este tipo de combustible orgánico podría darse en la zona intervenida de la isla de Santa Cruz, con la menor afectación hacia la flora y fauna.
- El factor de crecimiento más crítico para este sistema es el previsto, el cual refleja un incremento de la demanda de un 5%, para afrontar este incremento en la demanda, se comprobó por medio de las simulaciones que la generación renovable favorece de manera notable al consumo energético de este sistema.
- Muy aparte del sistema híbrido que está operando actualmente, se podría realizar un sinnúmero de alternativas para elevar la contribución del aporte de fuentes renovables, implementando un sistema de eficiencia energética a una mayor escala, incluso en la fomentación de movilidad.

REFERENCIAS

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad . (2016). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Estad%C3%ADstica-anual-y-multianual-sector-el%C3%A9ctrico-2016.pdf>
- Agency, I. E. (s.f.). *Shaping an Secure and Sustainable Energy Future*. Obtenido de <https://www.iea.org/>
- Armada del Ecuador - Instituto Oceanográfico. (2019). *Vientos Superficiales - ASCAT, promedio de viento superficial - Dominio General y Específico*. Obtenido de <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/vientos-superficiales-ascat>
- Brasileña), E. (. (2014). Uma abordagem sobre a Energia Eólica como alternativa de Ensino . *Tópicos de Física Clásica*, V. 36.
- Century, R. R. (2016). Energías Renovables . *Reporte de la Situación Mundial, Hallazgos clave*.
- CONELC, C. N. (s.f.). *Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica*. Obtenido de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos. (2015). *Plan de desarrollo Sustentable y Ordenamiento territorial del Régimen Especial de Galápagos 2015-2020*. Obtenido de https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/Plan-Galapagos-2015-2020_12.pdf
- DIGSILENT, C. . (2013). *Estudios Eléctricos y de Operación del Sistema Híbrido Galápagos*.
- Ecuador, C. R. (2017). Sectores Estratégicos.
- Ecuador, S. T. (2017). *Plan Nacional del Buen Vivir 2017 - 2021*. Obtenido de http://www.planificación.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_OK.compressed1.pdf
- ELECGALÁPAGOS S.A. (s.f.). Obtenido de <http://www.elecgalapagos.com.ec/newsite/>
- ELECGALAPAGOS S.A. (2017). *Informe Final del Proyecto de Energías Renovables*. Obtenido de <http://www.elecgalapagos.com.ec/newsite/>
- ELECGALAPAGOS. S.A. (2014). *Plan de Mejoras de la Distribución - PMD*. Obtenido de <http://www.elecgalapagos.com.ec/sites/default/files/PROYECTOS%20DE%20INVERSI%C3%93N%20PMD%202014.pdf>

- ELECGALAPAGOS. S.A. (2015). *Informe de Estado de Centrales y Proyectos de Generación con Energía Renovable*. Obtenido de <http://www.elecgalapagos.com.ec/pdf2015/centrales.pdf>
- Fuentes, J. F. (2009). *Análisis Simplificado de la Respuesta Estructural de una pala de Aerogenerador*. Madrid.
- Galápagos, E. P. (2008). *Renewable Energy for the Galapagos Islands -Technical Review of the Fesaibility Study for the Wind Energy* . ELECGALAPAGOS S.A, PNUD.
- IEA, I. E. (2016). *World Energy Outlook. Secure Sustainable Together*.
- Investigación, R. A. (2013). *Sistema Híbrido Fotovoltaico - Eólico para la Generación de Energía Eléctrica. TLATEMOAMI*.
- Jaen, U. d. (2019). *Curso Solar Web*. Obtenido de <http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/index.htm>
- Litoral, E. S. (2017). *Análisis de la Estabilidad del Sistema de Generación en la Isla San Cristobal - Galápagos. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación*.
- PNUD, GEF. (2016). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable/ Energía Verde para Galápagos Inagotable, Limpia y Segura*. Obtenido de https://www.undp.org/content/dam/ecuador/docs/documentos%20proyectos%20ambiente/pnud_ec%20REVISTA%20ENERGIA%20VERDE%20PARA%20GALAPAGOS-ilovepdf-compressed.pdf
- Renovable, M. d. (s.f.). *Proyectos de Energía Renovable Descentralizada y Potencial de su Integración a la Red en Ecuador*. Obtenido de <http://historico.energia.gob.ec/biblioteca/>
- Sanderson, D. W., & Dr. C. Tiercelin, J. V. (Enero de 2001). *Accident of the Oil Tanker "Jessica" off the Galapagos Islands (Ecuador) Finaly Report to European Comission* . Obtenido de <https://pureapps2.hw.ac.uk/ws/portalfiles/portal/7995704>.
- STORE, A. (2019). *Electrical Characteristics of Solar Panels (PV Modules)*. Obtenido de <https://www.altestore.com/howto/electrical-characteristics-of-solar-panels-pv-modules-a87/>
- TLATEMOAMI. (Agosto de 2013). *Revista Académica de Investigación - Sistema Híbrido Fotovoltaico - Eólico para la generación de Energía Eléctrica*. Obtenido de <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/13/energia.pdf>