



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DINÁMICA DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN EN LA ISLA SAN CRISTÓBAL – GALÁPAGOS.”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
POTENCIA

GEOVANNY JAVIER JIMÉNEZ VARGAS

ALEX ARTURO CAMPOVERDE REYES

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

La vida entera no me alcanzaría para poder agradecerles a mi familia, quienes siempre estuvieron ahí, y que a pesar de toda adversidad nunca permitieron que bajaran los brazos.

Al Ing. Jimmy Córdova Villagómez profesor evaluador de la materia integradora, por la innegable ayuda, el tiempo prestado y el apoyo constante para la elaboración del proyecto y sobre todo por las enseñanzas compartidas a lo largo del curso.

Al Ing. Luis Ruiz Cuadrado profesor evaluador de la materia integradora, por su profesionalismo, preocupación y sus consejos que nos ayudaron a nos desmayar en el desarrollo del proyecto.

Geovanny Jiménez Vargas.

A Dios todopoderoso y en especial a mis padres.

Al Ing. Jimmy Córdova Villagómez, por su predisposición, dirección y profesionalismo para que se lleve a cabo el desarrollo del tema integrador.

Alex Campoverde Reyes

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios, quien me ha permitido vivir estos momentos especiales y ser su herramienta viva en la cual ha magnificado su gloria, enseñándome a valorar cada triunfo y cada derrota obtenida día a día. A mis padres, que han estado conmigo todos estos años de arduo trabajo. A mi novia, que con su fiel compañía ha estado conmigo en los buenos, malos y en algunas veces muy difíciles momentos de mi vida. A mis tíos, a mi abuelita, quienes incondicionalmente fueron un apoyo para poder culminar mi carrera y formarme como un profesional. Y en especial este trabajo va dedicado a todos los que nunca creyeron que esto podría volverse posible, ya que si no fuera por ustedes no hubiera motivación.

Geovanny Jiménez Vargas.

A Dios todopoderoso, que nos da la fortaleza y la sabiduría para tomar las mejores decisiones en el transcurso de nuestras vidas. A mis padres, pilares fundamentales y fuente de inspiración para lograr esta meta. A mi hermana, a mis tías, quienes han sabido comprenderme, dándome todo su apoyo a lo largo de mi carrera universitaria.

Alex Campoverde Reyes

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Ing. Luis Ruiz Cuadrado

PROFESOR EVALUADOR

.....
Ing. Jimmy Córdova Villagómez

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Geovanny Jiménez Vargas

.....
Alex Campoverde Reyes.

RESUMEN

Este proyecto integrador analiza la estabilidad dinámica del sistema de generación de la isla San Cristóbal-Galápagos, mediante el funcionamiento de centrales térmicas convencionales operativas en conjunto con parques eólicos.

Debido al gran consumo de combustible diésel, a los accidentes ocurridos y a las afectaciones que ha tenido la isla, se han incorporado unidades de generación eólica para disminuir las probabilidades de estos incidentes.

Este nuevo sistema ha traído problemas a la estabilidad, ya que al momento de suscitarse una falla, el sistema no llega a sincronizarse a tal punto de dejar sin servicio a la isla.

Con la finalidad de lograr la sincronización y la mejora del desempeño del sistema en paralelo proponemos varias alternativas que garanticen la continuidad de la demanda y la satisfacción al sector social de San Cristóbal.

Para lograr esto, se utilizó la herramienta Simulink del software MATLAB, procediendo a simular el sistema de generación tanto térmico y eólico, observando su comportamiento tanto en operación normal, como en condiciones de falla.

De esta manera y con los resultados que nos entregó la simulación, observamos que la implantación del sistema con las propuestas planteadas existe un mejor desempeño en cuanto a la estabilidad del sistema de generación.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN.....	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Objetivo General.....	3
1.3. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación y Alcance.....	3
CAPÍTULO 2.....	7
2. METODOLOGIA.....	7
2.1. Búsqueda de modelos de predicción de la demanda a través del análisis de datos estadísticos	7
2.2. Análisis del recurso eólico.....	9
2.1.1 Evaluación de la producción de energía sin limitaciones de operación	14
2.3. Análisis del despacho actual de unidades térmicas.....	17
2.4. Análisis de la estabilidad dinámica del sistema actual.....	20
CAPÍTULO 3.....	23
3. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA.....	23

3.1. Determinación de la estabilidad del sistema bajo condiciones anormales de operación	23
3.2. Diseños de nuevos modelos de operación	34
3.3. Análisis de la estabilidad del sistema considerando la adaptación de los nuevos modelos propuestos.	36
3.4. Determinación del desaprovechamiento del recurso eólico frente a la implementación de los nuevos modelos.	39
CAPÍTULO 4	41
4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.	41
4.1. Comparación del desaprovechamiento del recurso eólico.....	41
4.2. Selección de la mejor alternativa de operación.....	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS	48

INTRODUCCIÓN

Los sistemas híbridos nacen con el fin de reducir el impacto ambiental que ocasionan las generaciones convencionales. La aplicación de estos sistemas operando en conjunto es tratar de desplazar la generación diésel e integrarlas con generación eólica o solar. La operación de estos sistemas híbridos con un adecuado sistema de control, permite tener sistemas de redes aisladas, que nos hará llegar a sitios lejanos con electricidad a un bajo costo.

Las islas Galápagos se encuentran a 1000 Km de las costas ecuatorianas, con sus principales islas: San Cristóbal, Santa Cruz, Isabela y Florean. Fue declarado Parque Nacional en 1959 y reserva marina en 1986.

Actualmente San Cristóbal es la única isla operando desde el 2007 con generación eólica, para las otras el gobierno central tiene diferentes proyectos.

El sistema de generación está conformado por tres unidades térmicas de 650 kW y el parque eólico por tres unidades de 800 MW, donde la mayor parte de la demanda es asumida por el parque eólico y el grupo electrógeno asume como base el 25% de la demanda.

El compromiso del sector eléctrico junto con el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables es: para el año 2020 no contar con ningún tipo de combustibles fósiles para la generación de energía en las islas Galápagos y solo contar con recursos energéticos renovable como eólica, solar y biocombustibles

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes.

Con el pasar de los años la demanda de energía eléctrica del Ecuador se ha visto en constante incremento, el componente industrial y el aumento significativo en la población han obligado a que los sistemas de generación del país (mayoritariamente del tipo térmico) deban ampliar su capacidad de generación, esto ha llevado a que en las últimas décadas se vea un incremento considerable en las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) las cuales son liberadas al medio ambiente.

Basados en los criterios del Plan del Buen Vivir 2009-2013, en recientes años el país ha logrado un avance significativo en la implementación de nuevas fuentes de energías alternativa, el cual ha permitido que se reduzcan considerablemente las emisiones de Dióxido de carbono (CO₂) en el ambiente, actualmente el sistema eléctrico del Ecuador está compuesto por distintos tipos de generación (térmica, hidráulica, eólica, biomasa, solar).

Tabla 1: Estadísticas de producción de energía año 2015 [3]

Producción Total de Energía e Importaciones		GWh	%
Renovable	Eólica	87,98	0,34
	Fotovoltaica	32,91	0,13
	Biomasa (Bagazo de Caña)	409,50	1,58
Total, Energía Renovable		442.41	2.05
No Renovable	Térmica MC.I	6.355,99	24,58
	Hidráulica	12.563,37	48,59
	Térmica Turbogas	2.956,90	11,44
	Térmica Turbovapor	2.587,75	10,01
Total, Energía No Renovable		24464.01	94.61

La Tabla 1 muestra los datos estadísticos de producción energética al año 2015 de energías renovables y no renovables existentes en el país [1].

Pero es sin duda el año 2007, un año que marcaría un hito en la historia de las energías renovables en el Ecuador, ya que es en este año en el que se inauguraba el primer parque eólico del país. Ubicado en Isla San Cristóbal, provincia de Galápagos, el proyecto eólico San Cristóbal tiene como principal objetivo desplazar el sistema de generación de combustión de diésel ya existente hasta ese entonces con el cual se dotaba de servicio eléctrico a la Isla.

Es así como actualmente la Isla San Cristóbal consta con un sistema híbrido de generación eléctrica (eólico-térmico), el cual tiene como meta principal el aprovechamiento del recurso eólico minimizando la utilización del sistema de generación térmico.

1.2. Objetivo General.

- Analizar la estabilidad dinámica actual del sistema de generación de la Isla San Cristóbal.

1.3. Objetivos Específicos.

- Simular el sistema actual de sistema de generación de la Isla San Cristóbal
- Proponer una alternativa en la operación y despacho para mejorar la estabilidad dinámica del sistema de generación de la Isla San Cristóbal.
- Analizar el desaprovechamiento de la energía eólica en función de conservar la estabilidad dinámica de generación en la Isla San Cristóbal.

1.4. Justificación y Alcance.

La empresa eléctrica ELECGALAPAGOS SA tiene como objetivo dotar de energía eléctrica a través de sus líneas de distribución a los habitantes de las Islas Galápagos (SANTA CRUZ, SAN CRISTOBAL, ISABELA Y FLOREANA), actualmente ELECGALAPAGOS SA cuenta con centrales eólicas, térmicas y fotovoltaicas, de las cuales se prioriza el uso de las energías renovables.

Tabla 2: Datos estadísticos de producción energética EEPG [2]

	Central	Tipo de Central	Potencia Instalada (MW)	
ELECGALAPAGOS	Eólico baltra	Eólica	2.250	
	Floreana Perla Solar	Fotovoltaica	0.020	
	Solar San Cristóbal		0.013	
	Solar Isabela (Híbrida)		0.922	
	Solar Baltra		0.067	
	Santa Cruz Solar Puerto Ayora		1.500	
	Floreana Solar Aislados		0.005	
	Isabela Solar Aislados		0.008	
	Santa Cruz Solar Aislados		0.008	
	Floreana		0.150	
	Isabela		2.640	
	San Cristóbal	9.450		
	Santa Cruz	14.950		
	Híbrido Floreana	Híbrido	0.138	
	TOTAL			30.790

Según datos de **Tabla 2** la cual nos muestra los datos estadísticos de producción energética a mayo del 2015, la empresa eléctrica ELECGALAPAGOS SA cuenta con varias fuentes de energías renovables, tratando así de priorizar el uso de las energías alternativas.

Sin embargo presente trabajo pretende analizar el funcionamiento del sistema híbrido de generación eléctrica de la Isla San Cristóbal, mismo sistema el cual ha tenido como objetivo principal en los últimos 9 años reemplazar el sistema de generación térmica (diésel), por las fuentes de energías limpias o renovables.

Actualmente la Isla consta con un grupo de generadores de combustión diésel, 5 en total propiedad de ELECGALAPAGOS, de los cuales 3 se encuentran automatizados (1 en operación y 2 en reserva fría) y 2 de accionamiento manual (reserva), este grupo de generadores térmicos tienen una potencia instalada de 9,45 MW.

En sus inicios del proyecto eólico San Cristóbal fue operado por la empresa privada EOLICSA, pero en la actualidad (mayo del 2016) ha pasado a ser parte de la empresa eléctrica ELECGALAPAGOS SA, el parque eólico San Cristóbal se encuentra ubicado en el cerro EL Tropezón, consta de tres aerogeneradores de 800Kw cada uno, para una potencia nominal de 2400 KW. Estos aerogeneradores suplen el 32% de la demanda en la isla, por lo que la generación térmica ha disminuido en aproximadamente 2 millones de galones de consumo de diésel, cada aerogenerador tiene una altura de 51,5 metros y sus aspas 59 metros de diámetro. Cada unidad consta de un transformador elevador de 1000/1380 V, inversores y equipos auxiliares.

Por medio de una donación complementaria se instalaron 2 sistemas fotovoltaicos, uno ubicado en la Escuela Pedro Pablo Andrade y el otro en la cubierta de la sala de control de la subestación, los cuales se encuentran conectados a la red de distribución de ELECGALAPAGOS en baja tensión. La capacidad instalada de los sistemas fotovoltaicos es de 0.012 MW y cada sistema cuenta con su equipo propio de medición de energía.

La línea de transmisión con la que cuenta la empresa eléctrica ELECGALAPAGOS es de 13,2 KV, las cuales transportan la energía desde el parque eólico hasta la central de generación a diésel de la misma empresa, esta línea de transmisión consta de un tramo subterráneo de 3 KM a manera de precautelar las especies de aves existentes en la Isla, luego de estos 3 KM existe una transición al tendido aéreo (postes de concreto y conductor de aluminio) el cual consta con 9 KM de longitud y finaliza en la subestación de la central diésel de la empresa ELECGALAPAGOS [4].

La central diésel de la empresa ELECGALAPAGOS consta de un cuarto de control en el cual se monitorea el sistema híbrido eólico-diésel el cual consta con un tablero de control y protección del interruptor de la línea de transmisión de 13.2 KV del sistema eólico y un Sistema de Control Supervisorio de Adquisición de Datos (SCADA), para el control automático del sistema de generación híbrido, mediante este sistema computarizado se obtiene un despacho automático de las unidades de generación maximizando en cada momento el uso de la generación eólica y minimizando la generación diésel. Los requerimientos técnicos exigen mantener una unidad diésel de 650 KW al 25% de su capacidad nominal [4].

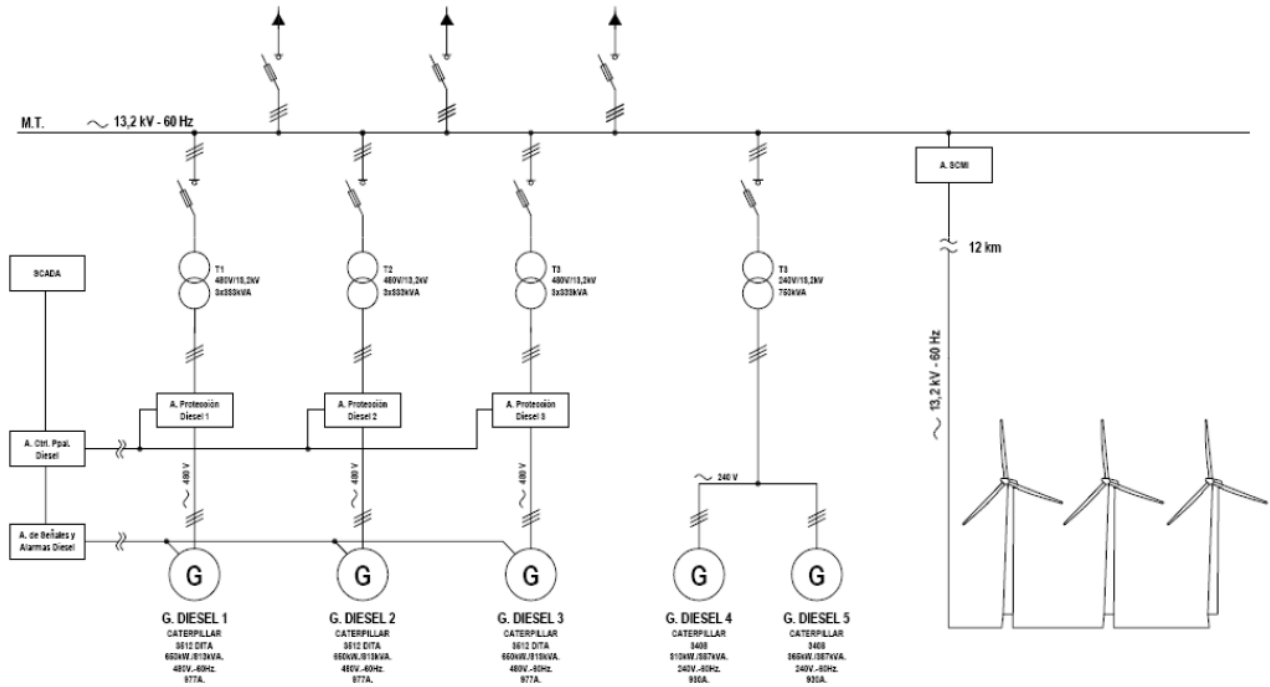


Figura 1.1: Diagrama unifilar del sistema de generación híbrido de EEPG [5].

La **Figura 1.1** presenta el diagrama unifilar del sistema de generación con el que cuenta la Isla San Cristóbal, mismo en el que se detallan las características y la configuración de los elementos presentes en la generación.

Se propone una alternativa a fin de mantener la estabilidad dinámica del sistema ante posibles fallos en la red eléctrica mediante el uso de la herramienta computacional Matlab, y plantear una solución a la estabilidad dinámica del sistema utilizando mejor el recurso térmico sin descuidar la gran prioridad que se le da al recurso eólico.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA.

2.1. Búsqueda de modelos de predicción de la demanda a través del análisis de datos estadísticos

En esta sección del capítulo 2, al existir el problema de generación en la isla San Cristóbal por su sistema de generación híbrido (eólico y térmico) en presencia de alguna anomalía al punto de dejar sin servicio a la isla, nos ayudaremos de un software o estudios previos de modelos de predicción que solucionen esta desventaja que tiene la isla San Cristóbal.

Estos métodos de predicción requieren información de datos históricos de demandas, velocidades del viento, número de apagones que tiene la isla, lo que se nos facilitó la obtención de información, ya que la empresa ELECGALAPAGOS ha facilitado esos tipos de requerimientos a estudios que se han realizado previamente en isla San Cristóbal.

Se encontraron datos históricos de la isla 2001 hasta el 2015 lo cual podemos empezar con la simulación del modelo de la isla San Cristóbal y ver el comportamiento de este sistema de generación dándole prioridad a la inclusión de energías renovables, donde el impacto ambiental en las islas Galápagos es más importante que el económico.

Este estudio se secciona en 4 etapas: análisis y pronóstico de la demanda de la energía eléctrica, luego realizar la simulación del funcionamiento en paralelo de las centrales térmicas convencionales y las centrales de energía renovable y por último la determinación de directrices para hacer un mejor uso de las fuentes de energía renovables y garantizar la estabilidad del sistema.

Para la primera etapa se determina cuáles y como los diferentes tipos de carga ya sean este del tipo residencial o industrial afectan a la demanda total, o si agentes externo ocasionan cambios en el perfil de carga, por lo que diferentes componentes de la demanda se analizan individualmente para observar como cada uno de estos me afectan a la demanda total. A estos componentes según el CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (CONELEC) lo divide en 4 categorías: Residencial, Comercial, Industrial, y otros.

En su estudio sobre Wind Energy Curtailment Analysis in Systems with High Penetration of Renewable Energy Sources, El Msc. Jimmy Córdova Villagómez establece que la demanda eléctrica se ve afectada por varios factores como el desarrollo tecnológico, el comportamiento de su consumo, algunos factores meteorológicos como viento, agua temperatura, humedad ,también factores sociales y por ultimo factores económicos, y realiza una comparación estadística de que tanto incide estos factores a la demanda, en un intervalo de tiempo, días y anualmente.

Los datos históricos también contienen registros de demanda, temperaturas, humedad, número de clientes y número de turistas [5].

Con estos datos referenciales y la incidencia de estos factores con la demanda, mediante alguna aplicación matemática o un software estadístico matemático MINITAB, SPSS, EXCEL, MATLAB se calcula el factor de correlación entre las variables analizadas, ya que este software almacena los conjuntos de datos y él nos ahorraría el factor al intentar hacer los cálculos manuales. [6]

El resultado en que nos ayudara el coeficiente de relación lineal es ver que tan fuerte están relacionadas estas variables con la demanda, lo que por definición de este factor se descarta los factores sociales o los meteorológicos que tengan un coeficiente de correlación bajo o menores a 0.5, y no serán parte de nuestro análisis.

Recordemos que los valores del coeficiente de correlación estarán oscilando entre 0 y 1 esto es:

$$0 \leq r \leq 1$$

Aquellas variables con un factor de correlación >0.70 se consideraran aceptables.

El coeficiente de correlación cuantifica el grado de relación lineal entre variables. Este coeficiente es adimensional lo que ayuda en la comparación de variables con medidas diferentes

La fórmula matemática aplicada por esta función es:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Donde

S_{xy} es la covarianza muestral

$S_x S_y$ son las desviaciones estándares muestrales

Es importante que se mida la correlación entre variables cuya asociación tenga algún sentido, si estas variables no se relacionan, pueden que se asocien por medio de una relación no lineal. [6]

2.2. 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 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 que deseamos obtener.

Las islas se caracterizan a menudo por un potencial eólico significativo, que teóricamente Son suficientes para cubrir completamente sus necesidades de electricidad. Por esta razón, el aprovechamiento de este potencial es promovido por autoridades estatales y reguladoras, mientras que los inversionistas y constructores también suelen expresar su interés, ya que se puede garantizar un alto rendimiento para su inversión [7].

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.

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 [7].

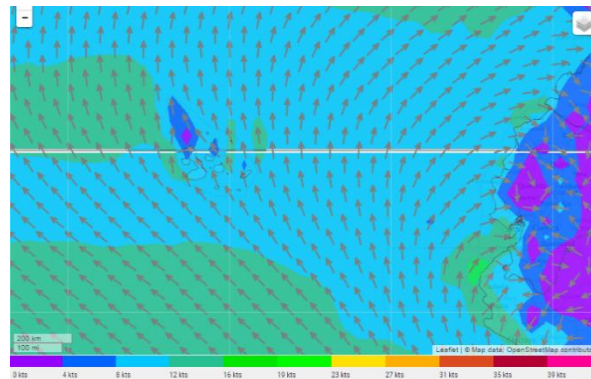


Figura 2.1: Mapa de corrientes de aire [8].

Como se puede apreciar en la **Figura 2.1** 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 [9].

La generación eólica en sistemas como el de la Isla San Cristóbal (islas pequeñas) se concentran a menudo en las restricciones geográficas de la región. 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 [9].

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 (Al menos cuando los niveles de penetración de la energía eólica son todavía relativamente bajos). La mayoría de los sistemas de energía de islas pequeñas como San Cristóbal y medianas son alimentados por unidades térmicas a diésel o grandes unidades generadoras de petróleo. Para evitar mayores requerimientos de desgaste y mantenimiento del Motores, estas unidades no se operan por debajo de un determinado umbral de su potencia nominal, Denominado «mínimo técnico»

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 [4], 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.

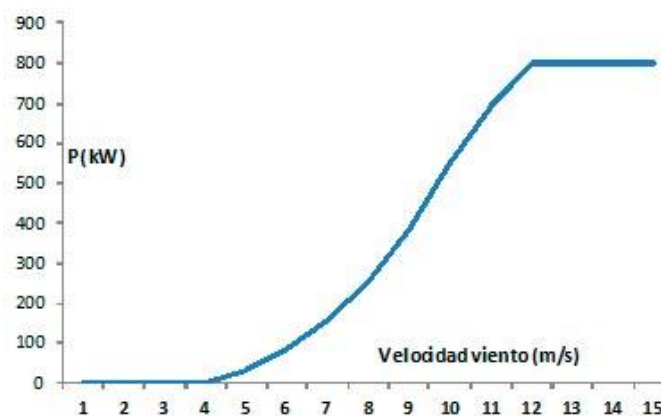


Figura 2.2: Curva de Potencia del Aerogenerador Leroy-Sommer AE-59 [4].

La curva de potencia del aerogenerador que presenta la **Figura 2.2**, denota que las unidades arrancan cuando se tiene una velocidad mínima del viento aproximada de

3,5 m/s, y alcanzan su potencia nominal con una velocidad del viento del orden de los 12 m/s, su velocidad de parada ocurre cuando estos alcanzan una velocidad de 25 m/s. En la operación comercial en muy pocas oportunidades se ha logrado alcanzar la capacidad nominal, esto debido a las restricciones ya mencionadas con anterioridad en sistemas de este tipo como son: la demanda real en línea y los requerimientos técnicos mínimos de generación diésel en línea.

Tabla 3: Datos históricos del viento en la Isla San Cristóbal [10].

VELOCIDADES DE VIENTO PROMEDIO : m / s									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Jan	3,5	4,2	6,1	6,0	4,7	5,1	5,3	5,2	5,3
Feb	3,5	4,2	5,1	4,5	3,8	3,8	5,1	4,8	5,7
Mar	3,5	6,1	4,4	4,7	5,5	4,5	3,5	3,8	3,8
Apr	3,0	4,3	5,0	3,5	4,6	3,5	5,0	4,3	4,7
May	4,3	5,3	8,1	8,3	6,1	6,4	6,3	5,4	5,0
Jun	5,3	5,8	8,2	8,6	7,0	7,1	6,3	5,7	5,5
Jul	5,2	6,6	7,8	8,6	7,3	6,2	6,9	6,3	
Aug	4,7	6,3	7,1	8,7	8,6	6,5	6,0	6,8	
Sep	5,1	6,6	7,3	7,6	7,9	6,2	6,8	6,2	
Oct	4,1	5,7	7,1	8,2	7,4	6,1	6,4	6,6	
Nov	5,5	5,9	8,2	7,7	6,9	6,2	6,6	6,3	
Dec	5,3	5,5	7,2	6,7	7,2	6,8	6,5	5,5	
PROMEDIO*	4,4	5,5	6,8	6,9	6,4	5,7	5,9	5,6	5,0

NOTA: * Promedio de promedios / Average of averages

La **Tabla 3** proporcionada por la empresa eléctrica ELECGALAPAGOS EP muestra los datos de velocidades del viento en condiciones reales de operación durante el periodo 2008-2016(Junio).

Destacando así que, durante varios años, el periodo con menos presencia de viento se encuentra en el periodo de enero – mayo, por otra parte en los últimos 8 años de funcionamiento del proyecto eólico, el año con la menor presencia de viento fue el 2008 y que con el pasar de los años esta condición fue mejorando notoriamente, con lo que se evidencia una característica cíclica, misma que debe ser confirmada con el transcurso de los próximos años, como se lo puede apreciar en la Figura 2.3

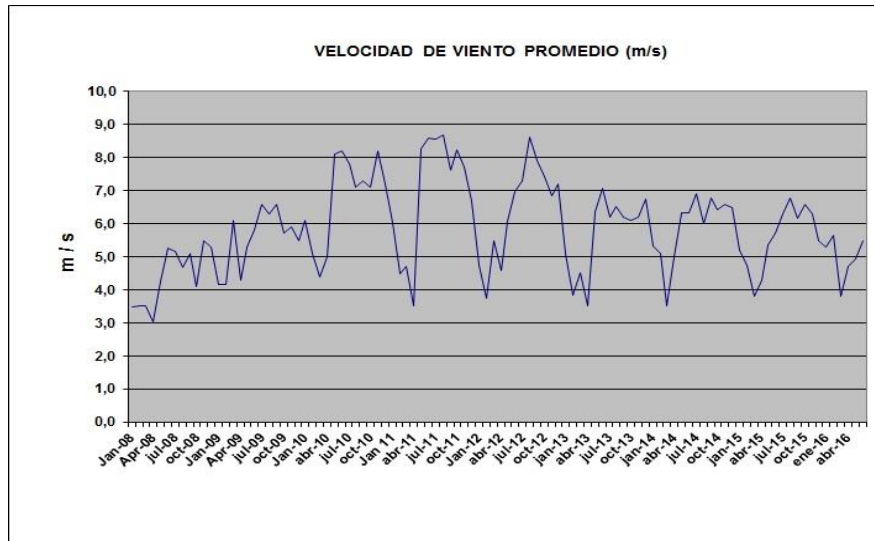


Figura 2.4: Curva de viento en la Isla San Cristóbal [10].

Este comportamiento cíclico del viento (Figura 2.4) 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.

Estudios previos demuestran que la cantidad de energía producida por una granja eólica dependerá principalmente de la disponibilidad del viento y de su distribución a lo largo del día, así como la simultaneidad que la demanda pueda presentar con respecto a dicha disponibilidad del viento [8,9]. A esto se le suman las restricciones que tiene el sistema, como el 75% de la utilización del recurso eólico, debido a los requerimientos técnicos de la generación diésel, los cuales impiden que una unidad diésel opere a menos del 30% de su capacidad nominal, y las metas anuales que se mantienen en las políticas de aprovechamiento del recurso eólico de la Empresa Eléctrica ELECGALAPAGOS SA, en la que se estipula que se debe tener una utilización mínima del 30% anual del recurso eólico [10].

Según los datos de producción de la Empresa Eléctrica ELECGALAPAGOS SA la producción energética del recurso eólico en sus primeros 8 años de operación ha sido 27.427 MWh, y un factor de penetración del 27,6% [11].

Un factor que puede afectar significativamente las limitaciones de la energía eólica y Producción de energía eólica en los sistemas insulares es la disponibilidad de Generadores, particularmente en islas pequeñas con un número limitado de

unidades diésel, un generador que sale de servicio puede afectar el algoritmo de despacho completo de la potencia con la que se cuenta, posiblemente comprometiendo unidades con un mínimo técnico más alto y disminuyendo la capacidad de absorción de energía eólica.

En este trabajo de graduación se describirá una metodología que actualmente se aplica en Grecia, la cual ayuda a la determinación de las restricciones de potencia, aplicada a los parques eólicos existentes y nuevos, para programar nuevas capacidades de viento, desarrollada por Stavro A. Papathanassiou y Nikos G. Boulaxis, este método se basa en sistemas de características similares a las de San Cristóbal (islas), y su aplicación se demuestra a través del estudio de un caso práctico en la red de una pequeña isla con generadores térmicos a diésel.

El método presentado está orientado a la aplicación práctica, sólo requiere datos de entrada fundamentales (carga Estadística, las características de las unidades de potencia convencionales (diésel) y las distribuciones de la velocidad del viento) [7].

2.1.1 Evaluación de la producción de energía sin limitaciones de operación [7].

La evaluación de la producción de energía de un aerogenerador que opera sin restricciones en la potencia de salida, es un procedimiento sencillo, que requiere la distribución estadística de las velocidades de aire.

$$E_W = T \int_0^{\infty} h(v)P_{PC}(v)dv = T\bar{P}_W \quad (2.1)$$

Donde:

$P_{PC}(v)$: Es la expresión analítica para la potencia del Aerogenerador

$h(v)$: Es la función densidad de probabilidad de la componente de velocidad horizontal del viento v en el centro

T : Es la integración del intervalo de tiempo (típicamente un año=8760 horas)

\bar{P}_W : Es la potencia promedio de salida en el intervalo T.

Si discretizamos la distribución para este caso, tenemos:

$$E_W = T \sum_{i=1}^{N_V} H_i P_{PC}(V_i) \quad (2.2)$$

Donde:

H_i : Es la probabilidad discreta de la velocidad del viento en el compartimiento i .

V_i : Es el centro del generador i .

N_V : Es el número del compartimiento usando la velocidad del viento.

La relación entre la distribución continua y discreta es la siguiente:

$$H_i = \int_{V_i-0.5\Delta V}^{V_i+0.5\Delta V} h(v)dv \approx h(V_i)\Delta V \quad (2.3)$$

Donde el valor típico de ΔV es 1 m/s

Las estadísticas de viento usualmente se describen por una función de distribución de probabilidades acumulada, donde k es un parámetro característico de las cantidades de viento de esta distribución.

$$h(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad \text{para } 0 \leq v < \infty \quad (2.4)$$

Y la velocidad promedio del aire estaría dada por

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} v h(v)dv = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2.5)$$

Donde Γ es la función Gamma y la máxima probabilidad de velocidad.

A partir del rendimiento energético teórico, calculado a partir de la Ec. (2.1) o (2.2), las diversas pérdidas son deducidas, para obtener una estimación más realista de la producción esperada.

$$E_{Wnet} = \eta E_W \quad (2.6)$$

Donde el factor agregado η "eficiencia", no puede tener valores por debajo de 85%, ya que Incluye el efecto acumulativo de una variedad de factores (valores indicativos entre paréntesis):

- Pérdidas eléctricas a lo largo del parque eólico interno y posiblemente la interconexión externa de red (2-5%)
- Disponibilidad de las turbinas eólicas (95-98% para aerogeneradores modernos)
- Disponibilidad de la red (90-98%, dependiendo del nivel de tensión, ubicación, etc.)
- Variación de la curva de potencia debido al hielo, contaminación superficial, envejecimiento, etc. (reducción del 1-5%)

En el caso de los parques eólicos, la producción total de energía suele aproximarse multiplicando el rendimiento de una turbina por el número de máquinas y aplicando un factor de pérdida para tener en cuenta los efectos de las irregularidades del terreno en los parques (del orden del 3-10%). En muchos casos, sin embargo, múltiples mediciones dentro del área del parque eólico en conjunto con modelos sofisticados de viento se utilizan para obtener una mejor estimación de las velocidades del viento por aerogenerador individual.

En el resto de este trabajo, se ignoran las diversas pérdidas, ya que su evaluación es siempre en un caso específico. Sin embargo, una vez que se dispone de un valor específico para la eficiencia global (factor η), su inclusión es simple y directa, multiplicando el resultado de toda la producción de energía. Si se utilizara un valor genérico, $\eta = 90\%$ podría ser apropiado.

Una vez que la estimación de la producción de energía está disponible, el factor de capacidad (CF) se puede encontrar como:

$$CF = \frac{E_W}{TP_{Wn}} = \frac{\bar{P}_W}{P_{Wn}} \quad (2.7)$$

Donde P_{Wn} es la potencia nominal del parque eólico. El factor de capacidad es el más importante, ya que este está evaluando la viabilidad de las inversiones en energía eólica y puede variar desde 20 hasta 45%, para sitios con velocidades de viento muy altas. Valores entre 30 y 35% son común encontrarlos en la práctica. Las inversiones económicamente viables requieren un factor de Superior al 20%. No obstante, para atraer el interés de

los inversionistas, el valor preciso dependerá siempre de las condiciones del mercado, planes de subsidios, etc.

2.3. Análisis del despacho actual de unidades térmicas.

Como parte del proyecto eólico, la Empresa Eléctrica ELECGALÁPAGOS SA., automatizo 3 de las 5 unidades de generación convencional que abastecían hasta ese entonces la demanda energética de la Isla San Cristóbal,



Figura 2.5: Foto del generador térmico a diésel Caterpillar-3512 [4]

La Figura 2.5 ilustra 1 de las 3 unidades térmicas que fueron automatizadas, esto apuntaba a obtener como resultado, un mejor despacho de las unidades térmicas frente a la implementación del hasta ese entonces nuevo recurso eólico que se implementó dentro de la Isla San Cristóbal [4].

La automatización de estos grupos a través del sistema SCADA (Sistema de Control Supervisorio de Adquisición de Datos), permite ver en tiempo real el despacho de las unidades frente a la disponibilidad de las unidades eólicas, y de la demanda.

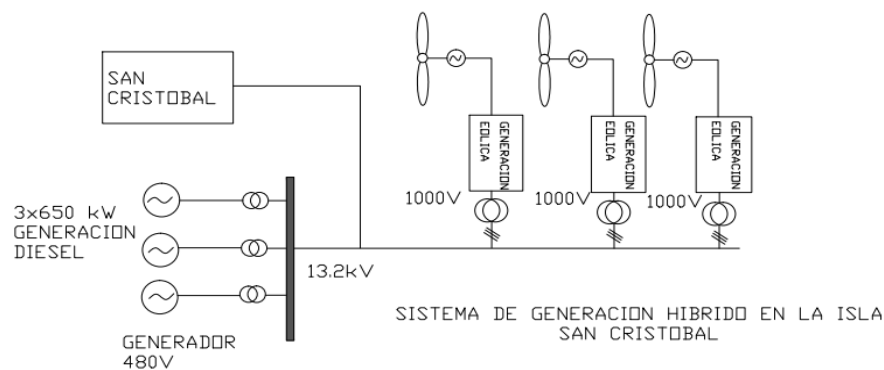


Figura 2.6: Funcionamiento del sistema híbrido eólico-diésel [4]

La Figura 2.6 muestra la conexión en paralelo actual de los generadores (eólicos y diésel) a la red, formando un sistema híbrido, el objetivo primordial en el control del sistema SCADA, es que los grupos de generación térmica a diésel se mantengan a su mínimo técnico operativo, esto con el afán de priorizar el recurso eólico.

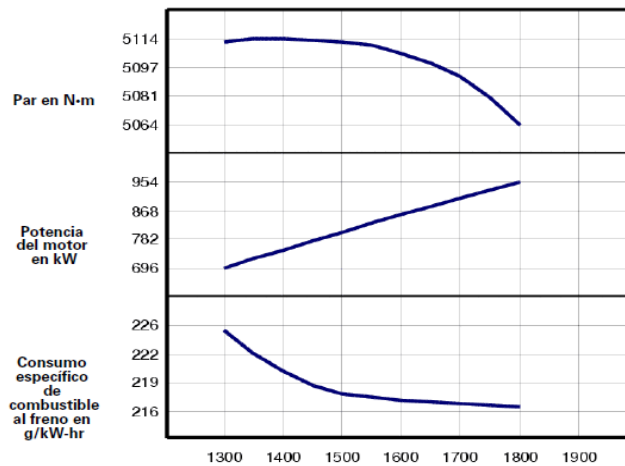


Figura 2.7: Curvas de rendimiento de las unidades térmicas a diésel Caterpillar-3512 [12]

Las curvas de rendimiento del generador diésel Caterpillar 3512 (par de arranque, potencia del motor, consumo de combustible al freno) se muestran en La Figura 2.7. Actualmente 2 de sus 3 unidades térmicas automatizadas operan en reserva fría, siendo la unidad restante la que se encuentre operativa, en condiciones normales de operación del sistema [11].

Tabla 4: Datos de producción energética de las unidades térmicas [10].

YEAR / AÑO	DIESEL (%)	DIESEL TOTAL (kWh)
2007	55,3%	975.858
2008	68,5%	5.834.693
2009	64,7%	5.882.731
2010	63,3%	5.919.000
2011	66,9%	6.745.046
2012	78,5%	8.752.958
2013	69,8%	7.984.046
2014	72,0%	9.956.002
2015	78,5%	12.425.816
2016	89,6%	7.410.335
TOTAL	72,4%	71.886.484

En los últimos 6 años de operación en conjunto con el proyecto eólico, las unidades de generación térmicas de diésel han tenido una mayor participación en el despacho de energía eléctrica en la Isla de San Cristóbal, siendo el año 2012 el año de mayor aporte de generación térmica, teniendo un 78.5 % de participación en el abastecimiento de energía eléctrica a la Isla, como se muestra en la Tabla 4.

Esto va de la mano con la variabilidad que se presenta en la disponibilidad el viento en la Isla de San Cristóbal, ya que al existir meses con poca presencia de viento en el área, la producción de energía eléctrica mediante generación térmica tiende a crecer notoriamente [11].

Tabla 5: Datos de producción energética mensual (2015-junio 2016) de las unidades térmicas [10].

MES / MONTH	kWh		
	DIESEL	EÓLICO / WIND	TOTAL
Jan,15	1.026.861	246.347	1.273.208
Feb,15	1.140.602	143.360	1.283.962
Mar,15	1.372.704	73.705	1.446.408
Apr,15	1.328.528	75.127	1.403.655
May,15	1.395.343	91.130	1.486.473
Jun,15	1.137.428	294.439	1.431.867
Jul,15	923.425	441.249	1.364.673
Aug,15	644.142	522.849	1.166.991
Sep,15	742.240	389.469	1.131.709
Oct,15	737.070	484.197	1.221.267
Nov,15	854.170	381.672	1.235.842
Dec,15	1.123.305	252.821	1.376.126
Jan,16	1.261.007	143.915	1.404.922
Feb,16	1.155.359	284.440	1.439.799
Mar,16	1.476.498	29.534	1.506.032
Apr,16	1.310.302	104.720	1.415.022
May,16	1.238.025	101.251	1.339.276
Jun,16	969.143	196.028	1.165.171
TOTAL	71.886.484	27.427.243	99.313.727

En el estudio realizado por el MSc Jimmy Córdova Villagómez titulado “*Wind Energy Curtailment Analysis in Systems with High Penetration of Renewable Energy Sources*”, se analiza la correlación que existe entre el incremento de la demanda energética y el número de turistas presentes en las islas, teniendo como uno de sus resultados que la correlación existente entre el número de turistas anualmente y la demanda energética tienen un factor de correlación cercano a uno, esto significa que la demanda si guarda una estrecha dependencia en su crecimiento con el número de turistas arriben a las islas anualmente [13].

Basados en aquel análisis, podemos visualizar en la Tabla 5, que la producción energética aumenta en los meses de Diciembre-Julio, mismo intervalo de tiempo en el que la afluencia de turistas aumenta en las Islas Galápagos [14].

2.4. Análisis de la estabilidad dinámica del sistema actual.

Una vez detallado cada una de las unidades que conforman el sistema de generación en la Isla San Cristóbal, valores nominales, potencias instaladas que entrega el térmico como el eólico siendo el segundo el que entrega la mayor parte de potencia activa para inyectar a la red, con todo esto se emitirá una opinión acerca de la estabilidad dinámica del sistema actual, como funcionamiento en paralelo de las unidades, número de interrupciones por año, de que tipos son estas interrupciones, si ha existido algún *blackout*, y si los índices de calidad del servicio se encuentran dentro de los límites permitidos

La calidad del servicio técnico se evaluara sobre la base de la frecuencia y la duración total de interrupción. Estas interrupciones se clasifican por su duración, por su origen, por su causa y por su voltaje nominal, y los índices de calidad que me indican si están dentro de los límites son el FMIK Y EL TTIK. [14]

Donde:

FMIK= Frecuencia media de interrupción por kVA nominal instalado, representa el número de veces que el kVA promedio sufre interrupciones en el servicio

$$FMIK = \frac{KVA F}{KVA nom} \quad (2.10)$$

TTIK= Tiempo total de interrupción por kVA nominal instalado, en un intervalo representa el tiempo medio en que el kVA promedio no tuvo servicio

$$TTIK = \frac{KVA F * TF}{KVA nom} \quad (2.11)$$

Donde:

KVAF= KVA fuera de servicio en cada interrupción "i"

KVA= KVA nominales

TF= tiempo que se queda sin servicio, para una interrupción “i” [17]

La información de interrupciones en la isla san Cristóbal fue proporcionada por la empresa encargada de la distribución ELEGALAPAGOS quien ya ha realizado trabajos de investigación en este sector. Esta información detalla los tipos de interrupciones a lo largo del año 2015, de forma general y en forma detallada de cada una de los alimentadores como presentamos a continuación:

Tabla 6: Horas de interrupción por mes en la isla San Cristóbal en el año 2015

MESES	HORAS DE INTERRUPCION EN EL MES	NUMERO EQUIVALENTE A DIAS	DISPONIBILIDAD %	DIAS EN EL MES	LIMITE
ENERO	74:27:00	3,10	89,99%	31	98,00%
FEBRERO	75:27:00	0,77	97,26%	28	98,00%
MARZO	76:27:00	1,08	96,51%	31	98,00%
ABRIL	77:27:00	1,05	96,51%	30	98,00%
MAYO	78:27:00	0,25	99,18%	31	98,00%
JUNIO	79:27:00	0,36	98,81%	30	98,00%
JULIO	80:27:00	0,48	98,45%	31	98,00%
AGOSTO	81:27:00	0,45	98,54%	31	98,00%
SEPTIEMBRE	82:27:00	0,32	98,93%	30	98,00%
OCTUBRE	83:27:00	0,38	98,77%	31	98,00%
NOVIEMBRE	84:27:00	0,20	99,34%	30	98,00%

La tabla 6 nos muestra el número total de horas de interrupciones por mes a lo largo del año teniendo un promedio de 79.27 horas y una desviación estándar de 3.31 con respecto a su media.

Tabla 7: Agentes causantes de interrupciones de cada mes en el año 2015

MESES	AGENTES CAUSANTES DE INTERRUPCIONES
ENERO	Elementos de redes, grupos electrogenos,eolico,naturaleza
FEBRERO	Grupos electrogenos,elementos de redes,agentes externos
MARZO	Elementos de redes,naturaleza,agentes externos
ABRIL	Naturaleza,subestacion
MAYO	Elementos de redes,subestacion, naturaleza
JUNIO	Elementos de redes,naturaleza,agentes externos
JULIO	Elementos de redes,naturaleza,agentes externos
AGOSTO	Elementos de redes, grupos electrogenos,eolico,naturaleza
SEPTIEMBRE	Naturaleza,subestacion
OCTUBRE	Grupos electrogenos,elementos de redes,agentes externos
NOVIEMBRE	Naturaleza,subestacion

La tabla 7 muestra los típicos agentes causantes de interrupciones durante el año 2015, donde se puede notar que la mayor causa de la isla son los elementos de redes que es por parte de las interrupciones programadas, y por parte de las no programadas tenemos las causada por la naturaleza como caídas de árboles, desbroce de la maleza etc.

Tabla 8: número de veces por mes que actúan los agentes causantes en el 2015.

MESES	Causantes					
	Eólico	Subestación	Grupos Electrógenos	Elementos Redes	Naturaleza (árboles, aves, etc.)	Agentes externos(carros, trabajos particulares)
ENERO	1	0	3	17	1	0
FEBRERO	0	0	3	13	0	1
MARZO	0	0	1	9	4	2
ABRIL	0	0	0	4	10	1
MAYO	0	0	1	8	3	0
JUNIO	0	0	0	4	3	0
JULIO	0	0	0	12	5	0
AGOSTO	0	0	0	7	0	0
SEPTIEMBRE	0	0	4	5	0	0
OCTUBRE	0	0	0	7	0	0
NOVIEMBRE	0	0	0	5	0	0
DICIEMBRE	0	0	3	18	0	0
TOTAL	1	0	15	109	26	4

La tabla 8 nos indica el número de veces por mes que actúan estos agentes causantes de interrupciones en el año 2015, el sistema eólico aportó con una interrupción, subestación ninguna, y los elementos de redes aportando con la mayor cantidad de interrupciones

CAPÍTULO 3

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA.

En el mundo eléctrico, se define a un sistema eléctrico de potencia, como el conjunto de elementos físicos en el que pueden actuar todos juntos para realizar un objetivo en común. En el presente proyecto una herramienta importante que nos ayudara en el desempeño del mismo, es el análisis de estabilidad del sistema a través del modelamiento del mismo en una herramienta computacional (Matlab).

Estos modelos serán creados usando bloques predeterminados y elementos existentes en las librerías del software computacional, los cuales trataran de emular con la mayor exactitud el sistema de generación real existente en la Isla.

3.1. Determinación de la estabilidad del sistema bajo condiciones anormales de operación

3.1.1. Estabilidad Dinámica del sistema de potencia

Un sistema de potencia como se lo menciona anteriormente consta de muchos elementos individuales con diversas características y de diferentes fabricantes, los cuales tienen que estar conectados entre sí para conformar un gran sistema potencia complejo y dinámico, capaz de poder generar, transmitir y distribuir la energía en un área geográfica determinada.

Debido a todas estas interconexiones de elementos se pueden producir variaciones dinámicas, afectando directamente a los mismos, mientras que, otras variaciones pueden afectar al sistema en conjunto dividiendo la estabilidad del sistema de potencia en grupos, siendo estos: por su causa u origen, consecuencia, tiempo de duración de las variaciones.

Una de las preocupaciones para el personal de operaciones puede llegar a ser, ¿Cómo el sistema de potencia responderá a estas variaciones ante los cambios en la demanda, como también para los diversos tipos de

perturbaciones?, siendo estas dos causas las principales de la dinámica del sistema de potencia.

La dinámica más rápida se debe a cambios en la demanda, y estos se asocian a las transferencias de energía entre las masas giratorias en los generadores y las cargas, un poco más lentas a las acciones de control de voltaje y frecuencia; y las dinámicas más lenta corresponde a la forma en que se ajusta la generación para para satisfacer las variaciones de demandas. [15]

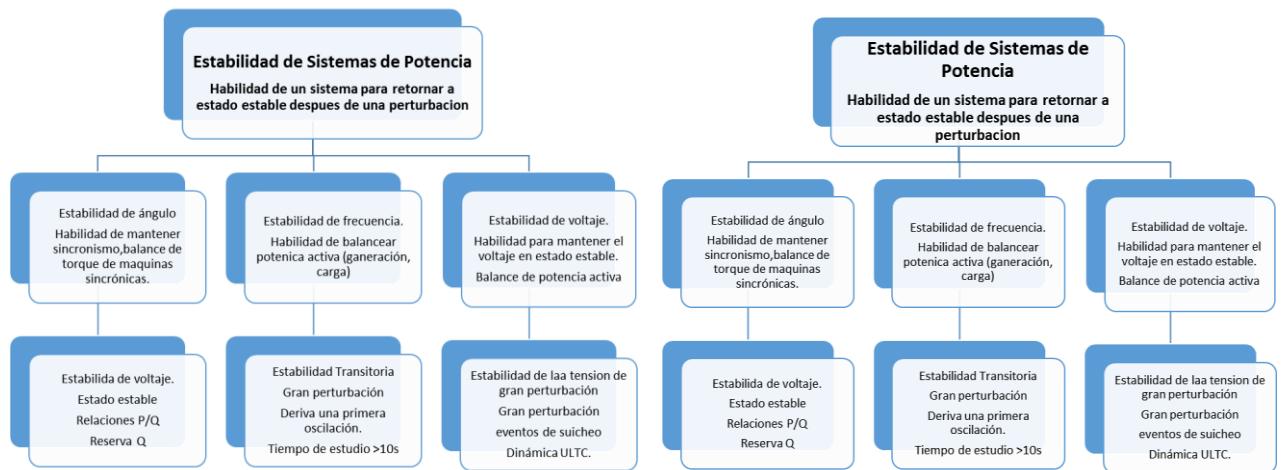


Figura 3.1: Tipos de estabilidad frente a las diferentes perturbaciones
[16]

La figura 3.1 nos muestra los tipos de estabilidad de los sistemas de potencia, características y las afectaciones que provocan a este, en el caso de la isla San Cristóbal según los operarios tienen problemas en la estabilidad del sistema debido a bajo voltaje.

3.1.2. Estabilidad del sistema de generación, operando en paralelo, de la Isla San Cristóbal

ELECGALAPAGOS en conjunto con el Ministerio de Electricidad y Energía Renovables han propuesto para el año 2020 no depender de los combustibles fósiles para la generación de energía en toda la isla Galápagos y solo tener recursos renovables para la generación como energía eólica, energía solar y biocombustibles. Para lograr ese objetivo

es importante la integración de la gestión de la demanda de energía y el uso de la energía de una manera adecuada.

Uno de los problemas de estabilidad del sistema de generación del Parque Eólico San Cristóbal es que, se trata de un sistema sobredimensionado que funciona en paralelo con una planta de energía térmica que incurrirá en la reducción de energía.

El sistema de generación térmica actual instalado en San Cristóbal está previsto que se mantenga en funcionamiento, es más ELEGALAPAGOS no tiene planes a corto o mediano plazo para reemplazar todo el parque de generación. Para cubrir el aumento de la demanda de energía, se han instalado tres nuevas unidades térmicas de 1500kW, dos en Santa Cruz y una en San Cristóbal. [2]

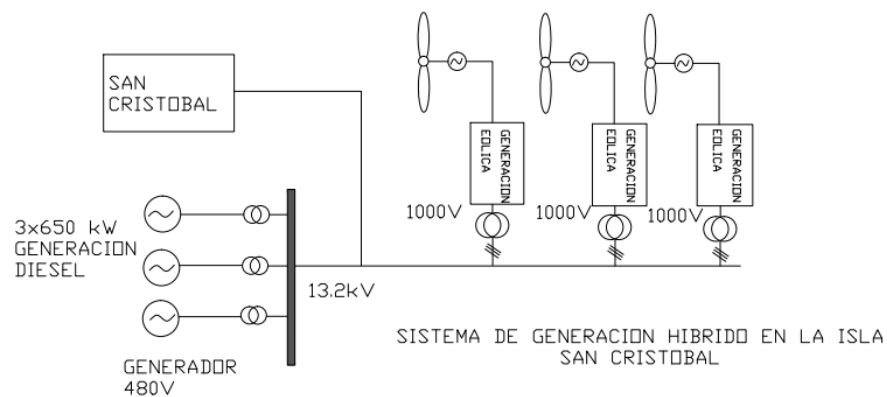


Figura 3.2 Sistema de generación operando en paralelo de la Isla San Cristóbal

El sistema de control híbrido instalado en la isla San Cristóbal opera en modo automático. El sistema toma toda la energía producida por el parque eólico, disminuyendo la potencia térmica al 25% de la demanda existente, esto siempre y cuando el 25% de la demanda no se encuentre por debajo del 25% de la capacidad nominal del generador, en cuyo caso si se llegase a presentar esta situación el generador pasaría a operar al 25% de su capacidad nominal ya que por cuestiones operativas estos no pueden operar por debajo del 25% de su capacidad nominal,. Siguiendo estas pautas, se simula la operación en paralelo del parque eólico y de la central

térmica. Actualmente el proyecto San Cristóbal se encuentra operando con una sola unidad térmica en la Isla, teniendo las 2 restantes en reserva fría.

En la actualidad este modelo de operación ha dado lugar a varios problemas de funcionamiento y en especial en la estabilidad dinámica del sistema en varias ocasiones a lo largo del año, esto es: cuando el parque eólico reduce su potencia de salida debido al mal tiempo y a las bajas velocidades del viento (velocidades $\leq 2.5\text{m/s}$), o cuando se producen fallas en el sistema. Para este último el parque eólico es el primero en salir de funcionamiento, y el generador que alimenta el 25% de la carga no cuenta con la suficiente capacidad para poder suplir la demanda existente.

3.1.3. Modelamiento del sistema en Simulink

3.1.3.1. Modelo del generador a diésel

Un generador diésel tiene el siguiente esquema de control:



Figura 3.3: Sistema de Control Dominio del Generador [18]

La figura 3.3 muestra el esquema que tiene un generador sincrónico, para el generador se tendrá 2 tipos de control: control de voltaje y control de frecuencia. El control de voltaje o también llamados AVR (Automatic Voltage Control) deberá excitar el generador a partir de las pequeñas tensiones generadas por el magnetismo remanente, existente en el generador. Además debe garantizar la protección de los devanados rotativos, al producirse sobre excitaciones debidas a las variaciones de frecuencia en el momento del arranque o la parada el motor primario, esto debe realizarlo manteniendo baja la tensión de salida mientras la frecuencia esté por fuera del valor nominal

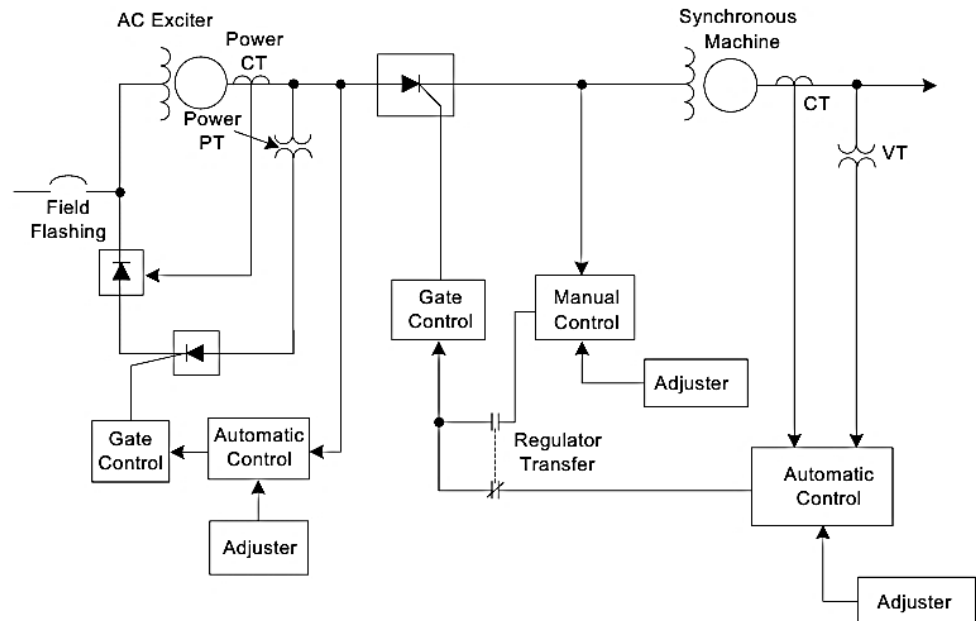


Figura 3.4 : Modelo AC4A equivalente a modelo A8 normalizado por IEEE [18]

La Figura 3.4 muestra la implementación del modelo AC4A que se implementara en Simulink mediante modelos ya normalizados IEEE [19],

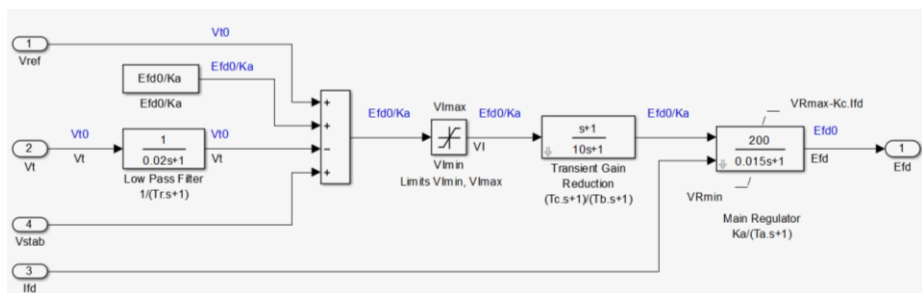


Figura 3.5: Control de campo (AVR) en Simulink del tipo AC4A [18]

El modelo ya implementado en Simulink del control de voltaje AVR se lo muestra en la Figura 3.5.

Para el diseño del control de la frecuencia usamos el modelo ya descrito anteriormente, y elaboramos nuestro modelo usando la transformada de Laplace (dominio de s)

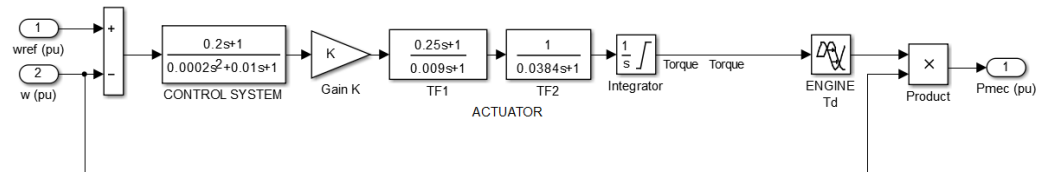


Figura 3.6: Sistema de Control Dominio de Laplace

La Figura 3.6 muestra el modelo de control del AGC (Automatic Gain Control) el cual controlara la frecuencia del generador sincrónico.

Ambos controles (AVR-AGC) nos ayudaran a que nuestro modelo del generador diésel logre encontrar la estabilidad ente las posibles perturbaciones existentes en el sistema.

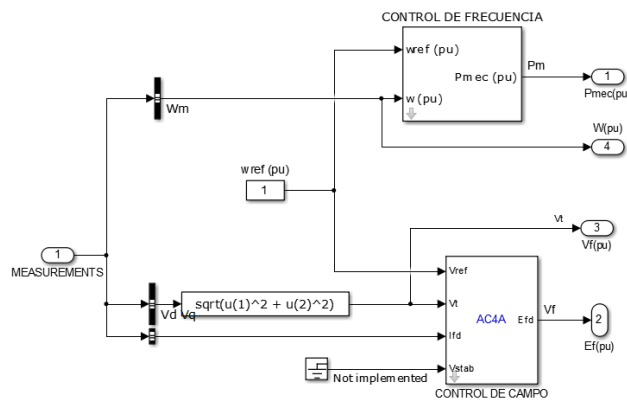


Figura 3.7: Bloques de control del generador diésel.

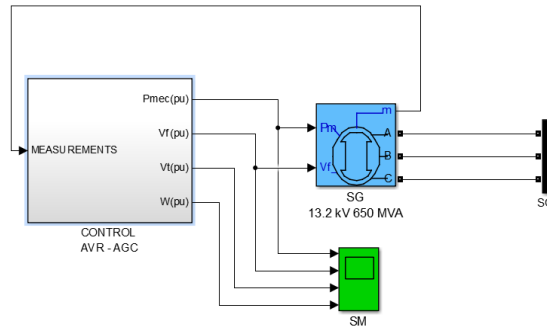


Figura 3.8: Modelo del generador diésel a lazo cerrado.

Las Figuras 3.7 y 3.8 muestran la implementación de los 2 bloques de control conectados al modelo predeterminado del generador síncrono en Simulink

3.1.3.2. Modelo del aerogenerador

Con el fin de que nuestra simulación tenga la mayor semejanza al sistema real usamos utilizamos el bloque predeterminado “WindTurbine” existente en las librerías de Simulink. Este bloque tiene bastante aproximación con las turbinas de viento existentes en la isla, las cuales son del tipo II.

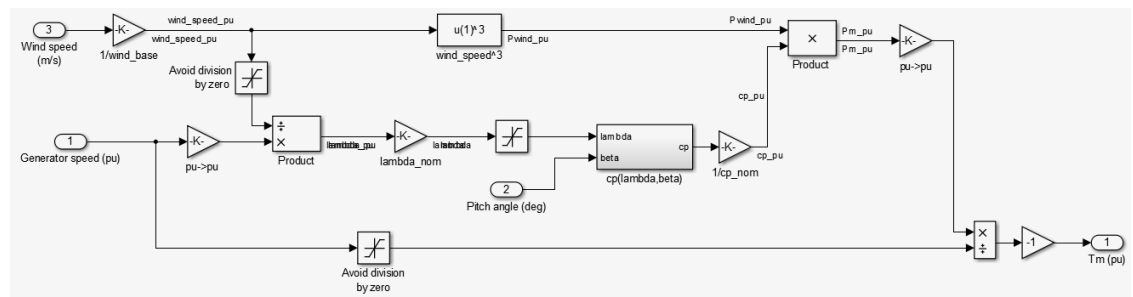


Figura 3.9: Modelo de la turbina de viento.

La Figura 3.9 muestra el interior del bloque de la turbina de viento. Para poder completar la simulación el aerogenerador, se necesita acoplar un generador a la salida del bloque turbina de viento, para esta simulación se utilizó un bloque predeterminado de una maquina asíncrona. Utilizamos este bloque ya que los aerogeneradores que son del tipo II poseen este tipo de generadores.

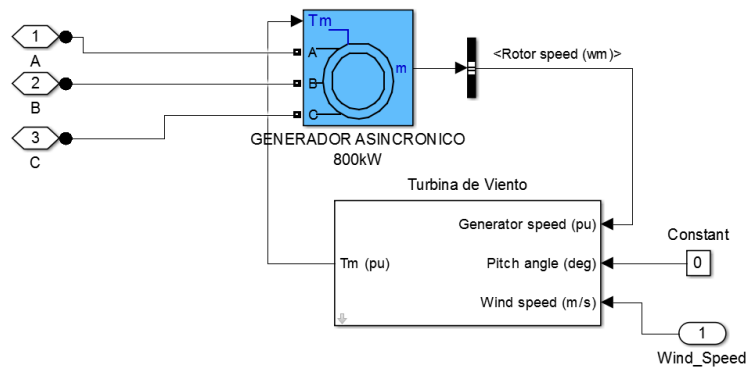


Figura 3.10: Modelo del Aerogenerador de 800KW.

La Figura 3.10 muestra el acople de ambos bloques los cuales en conjunto simulan un aerogenerador.

3.1.3.3. Modelo de los datos de viento

Debido a la constante variabilidad del viento en las islas, no podemos usar un dato de viento constante como dato de entrada en el bloque del aerogenerador, por lo que es necesaria la utilización de los datos de viento proporcionados previamente hallados por los modelos matemáticos de predicciones de viento de los cuales ya se habló con anterioridad.

Para esto se necesita diseñar un modelo el cual permita ingresar estos datos de viento de manera continua a la simulación, ya que la herramienta de Simulink consta con un tiempo de simulación.

Ya que los datos deben ser ingresados de forma dinámica, y con cierto retardo de tiempo entre dato y dato,

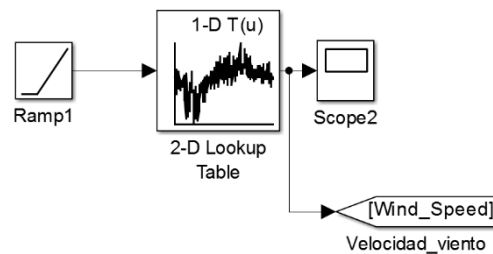


Figura 3.11: Modelo de los datos de viento.

La Figura 3.11 muestra la implementación del bloque que modela el perfil de los datos de viento en la isla para un año (2016), la cual fue posible ingresar como un arreglo de datos gracias a la herramienta LookUp Table, mismos que entraban con un retraso de tiempo mediante el bloque rampa.

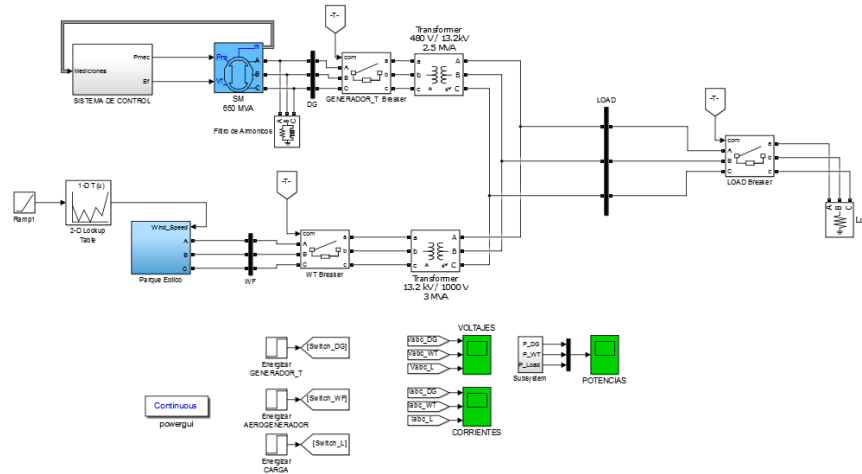


Figura 3.12: Sistema modelado en Simulink.

Una vez definidos los bloques, y elaborados los lazos cerrados correspondientes, procedemos a simular el sistema de generación de la isla. En la Figura 3.12 podemos apreciar el sistema completo de generación de la Isla San Cristóbal, teniendo de lado la generación térmica (Un generador diésel de 650 KVA) y la generación eólica (3 Aerogeneradores de 800 KW) funcionando en paralelo alimentando una carga que simula valores de demanda (mínima, media o máxima).

El funcionamiento de la simulación se lo realiza en el siguiente orden:

- 1.- Se energiza el sistema, encendiendo ambas generaciones con sus respectivos *circuit breaker* en estado abierto.
- 2.- Una vez que han ocurrido 5 segundos en los que la generación diésel ha logrado estabilizarse, se energiza el transformador.
- 3.- Se cierra el *circuit breaker* de la generación eólica y que estos puedan operar en paralelo.
- 4.- Se energiza la carga mediante su *circuit breaker* correspondiente.

Una vez que se logra estabilizar el sistema después de haber energizado la carga, se procede a verificar la estabilidad dinámica del sistema, abriendo el *circuit breaker* de la generación eólica (esto emula lo que sucede cuando se presenta una falla en el sistema de generación), verificando así la respuesta que tiene el sistema ante esta condición anormal de operación.

Debido a la complejidad que implica poder crear un modelo de carga dinámica en Simulink, y al poco tiempo con el que se cuenta para desarrollar el tópico de la materia integradora, se decidió realizar las simulaciones para datos de demanda promedio por semana, durante los meses de Febrero, Marzo y Abril del 2016.

Tabla 9: Datos de demanda promedio de los meses febrero, marzo, abril, septiembre, octubre y noviembre del año 2016 [21].

FEBRERO	PROMEDIO[kW]
1 -7 DE FEBRERO	2421.69
8-14 DE FEBRERO	2534.37
15-21 DE FEBRERO	2556.82
22-29 DE FEBRERO	2425.60

SEPTIEMBRE	PROMEDIO[kW]
1 -7 DE SEPTIEMBRE	2699.81
8-14 DE SEPTIEMBRE	2689.83
15-21 DE SEPTIEMBRE	2655.84
22-28 DE SEPTIEMBRE	2692.33
29-30 DE SEPTIEMBRE	2662.24

MARZO	PROMEDIO[kW]
1 -7 DE MARZO	2396.36
8-14 DE MARZO	2423.55
15 -21 DE MARZO	2310.59
22-28 DE MARZO	2443.84
29-30 DE MARZO	2526.55

OCTUBRE	PROMEDIO[kW]
1 -7 DE OCTUBRE	2735.61
8-14 DE OCTUBRE	2708.80
15 -21 DE OCTUBRE	2747.26
22-28 DE OCTUBRE	2748.33
29-31 DE OCTUBRE	2727.80

ABRIL	PROMEDIO[kW]
1 -7 DE ABRIL	2503.63
8 -14 DE ABRIL	2419.88
15-21 DE ABRIL	2362.63
22 -30 DE ABRIL	2206.52

NOVIEMBRE	PROMEDIO[kW]
1 -7 DE NOVIEMBRE	2776.23
8 -14 DE NOVIEMBRE	2804.77
15-21 DE NOVIEMBRE	2774.33
22-28 DE NOVIEMBRE	2692.33
28-30 DE NOVIEMBRE	2662.24

La tabla 9 muestra los datos de demanda máxima, mínima y promedio en KW semanalmente de los meses febrero, marzo, abril, septiembre, octubre y noviembre para los cuales se simularan los modelos de operación del sistema posteriormente.

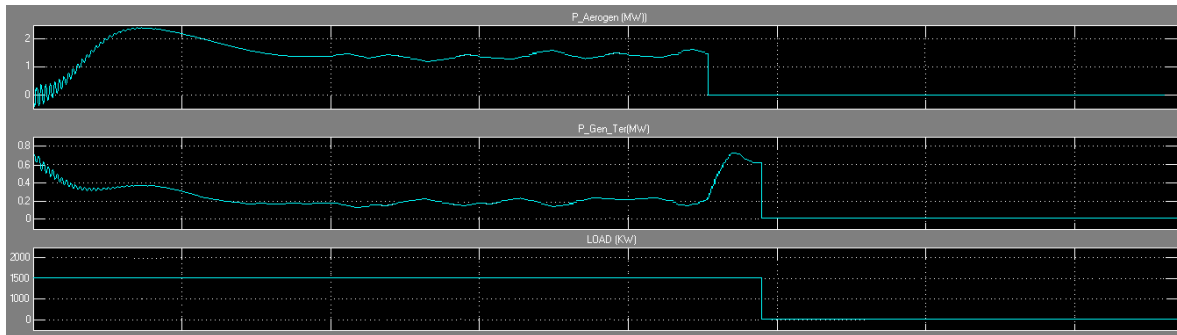


Figura 3.13: Salida de operación del Parque eólico.

La figura 3.13, muestra la pérdida de estabilidad del sistema ante una posible salida de operación del parque eólico, mismo que alimenta alrededor del 70% de la demanda de la isla. La potencia producida por la generación térmica actúa ante el cambio drástico en el flujo de potencia del sistema, tratando de suplir por si sola a la demanda de 1500 MW, esto no se vuelve posible debido a los límites de generación que posee el generador térmico (diésel) el cual solo puede proveer 650 KVA al sistema, ocurriendo así también la salida de operación de éste, dando como resultado un *blackout* en el sistema de generación de la isla.

Debido a la complejidad que implica poder crear un modelo de carga dinámica en Simulink, y al poco tiempo con el que se cuenta para desarrollar el tópico de la materia integradora, se decidió realizar las simulaciones para datos de demanda puntuales (mínima, máxima y promedio) por semana, durante los meses de Febrero, Marzo y Abril del 2016.

GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)
	AE59	AE59	AE59	
EOLICA				
100%	800	800	800	2400
TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	
	650	0	0	650
25%	163	0	0	163
Reserva				487

Tabla 9: Datos de generación del sistema actual.

La tabla 9 muestra los datos de la generación existente en la Isla San Cristóbal operando con las características actuales, esto es, aprovechando al máximo el

recurso eólico y manteniendo al mínimo la generación tradicional o térmica. Lo cual nos deja corroborar el resultado obtenido en la simulación, el cual es, siendo este un sistema muy dependiente del recurso eólico implica un alto riesgo de inestabilidad del sistema, ya que al no contar con el recurso eólico.

3.2. Diseños de nuevos modelos de operación

Basados en los resultados obtenidos en el subcapítulo anterior nos podemos dar cuenta que en las condiciones en las que se presenta una falla en el sistema, la protección del sistema eólico saca de operación al mismo, dejando que el sistema sea alimentado únicamente por la generación térmica, lo cual luego de cierto tiempo no logra ser suficiente debido a la poca reserva de la que se dispone (650 KVA). Los modelos o posibilidades de operación que se proponen son los siguientes:

- **Modelo de operación I:** Operación del sistema actual, adicionando 1 unidad térmica, operando ambas como mínimo al 25% de su capacidad nominal.
- **Modelo de operación II:** Operación del sistema actual, adicionando 2 unidades térmicas, operando las 3 como mínimo al 25% de su capacidad nominal.

3.2.1. Modelo de operación I

En este modelo se plantea la posibilidad de realizar una variante al modelo actual de operación del sistema de generación en la Isla San Cristóbal, para aquello se requiere adicionar una unidad térmica a la operación actual del sistema, esto significa que, ya no sería un generador térmico del tipo diésel el cual se encuentre operativo, sino dos. En esta modificación que se realiza al sistema de generación, ambos generadores estarán operando como mínimo al 25% de su capacidad nominal, esto significa que dicho cambio conllevará a un aumento de 650 KVA a 1300 KVA en la reserva que se dispone.

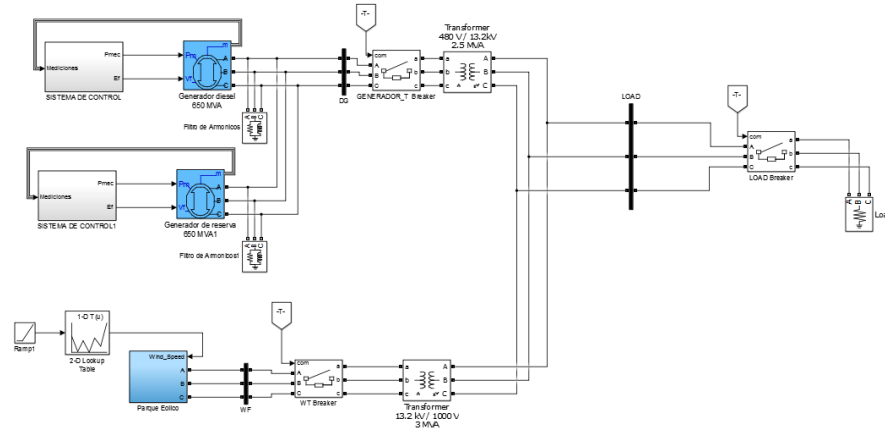


Figura 3.14: Variante de operación al modelo de generación, aplicando el modelo de operación

La Figura 3.14 muestra la variante en el sistema de generación una vez ya conectado el segundo generador térmico.

3.2.2. Modelo de Operación II

En este modelo se analiza la posibilidad de aumentar en este caso no solo uno sino dos generadores térmicos al sistema actual de generación de la Isla San Cristóbal, es decir que, los tres generadores térmicos existentes en la isla se encontrarían operativos al 25% de su capacidad nominal como mínimo. Esto significa que la reserva con la que contaba el sistema inicialmente se triplicaría (1950 KVA disponible).

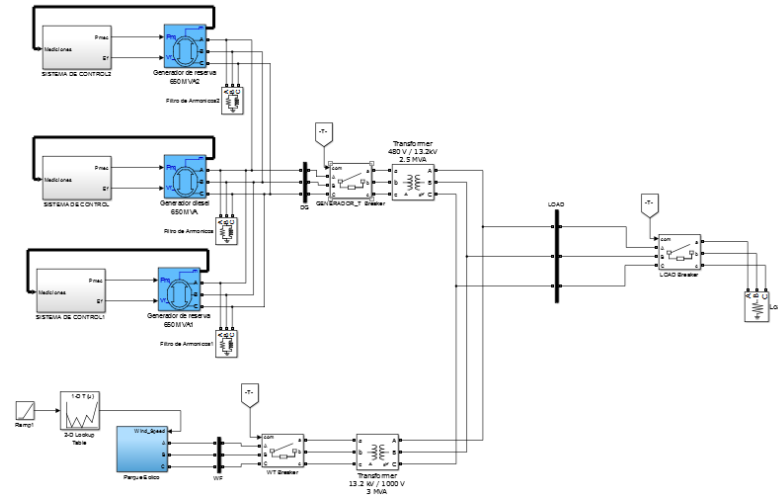


Figura 3.15: Variante de operación al modelo de generación, aplicando el modelo de operación

La figura 3.15 muestra la variante del modelo de operación II aplicado al sistema de generación actual de la Isla San Cristóbal.

3.3. Análisis de la estabilidad del sistema considerando la adaptación de los nuevos modelos propuestos.

3.3.1. Análisis de la estabilidad basados en la implementación del modelo I.

Como se mencionó con anterioridad el modelo consiste básicamente en que el sistema se encuentre operando con una unidad térmica adicional como mínimo al 25% de su capacidad nominal.

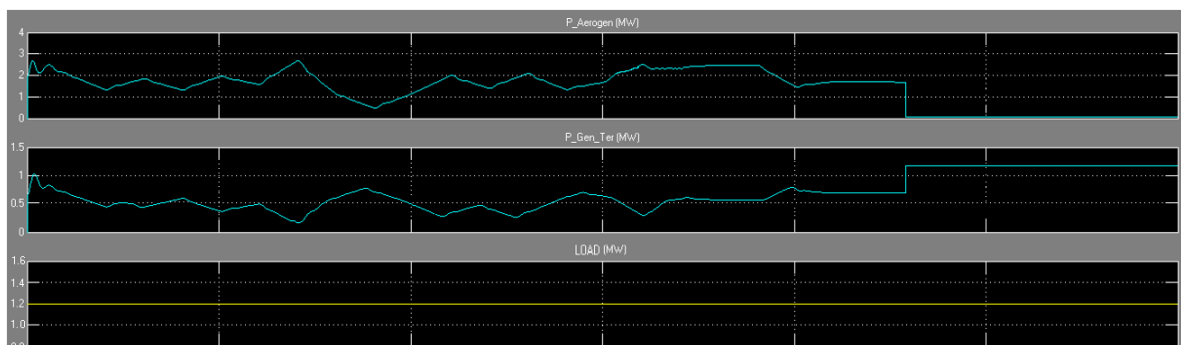


Figura 3.16: Curvas del despacho de potencia implementando el modelo de operación I.

La figura 3.16 muestra las potencias que entregan ambas generaciones ante diferentes velocidades del viento, y la respuesta de los generadores térmicos ante la salida de operación del parque eólico, notándose que logran alimentar la carga de 1200 KW, esto gracias a que se aumentó la reserva de la generación térmica de uno a dos generadores diésel.

Cabe destacar que la ilustración muestra la estabilidad del sistema para el panorama en que se tiene una demanda mínima de 1200 KW, y se presenta una falla, sacado de operación a la generación eólica en su totalidad (3 aerogeneradores).

Tabla 10: Datos de generación implementando el modelo de operación I al sistema actual.

GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)
	AE59	AE59	AE59	
EOLICA				
100%	800	800	800	2400
TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	
	650	650	0	1300
25%	163	163	0	326
Reserva				974
Condicion de falla	POTENCIA (kW)			
	EOLICA	TERMICA	DEMANDA	
	0	1300	1200	

La tabla 10 nos ilustra como la estabilidad del sistema mejora al implementarse el modelo de operación I, esto debido a que existe una mayor reserva para responder ante una salida de operación del parque eólico en su totalidad, o de alguno de sus aerogeneradores. Es válido señalar que el análisis se lo hace para una demanda mínima ya que al ser esta máxima el modelo no podría abastecer en su totalidad a la demanda y para aquello el operador deberá de re-despachar mejor la carga del sistema.

3.3.2. Análisis de la estabilidad basados en la implementación del modelo II.

Este modelo contemplara a que las 3 unidades de generación térmica existentes en el sistema de la isla San Cristóbal se encuentren operativos al 25% de su capacidad nominal como mínimo, este modelo es el más

robusto en cuanto a confiabilidad se refiere, ya que al estar las 3 unidades operativas pueden tener una mayor respuesta ante salidas inesperadas del parque eólico San Cristóbal.

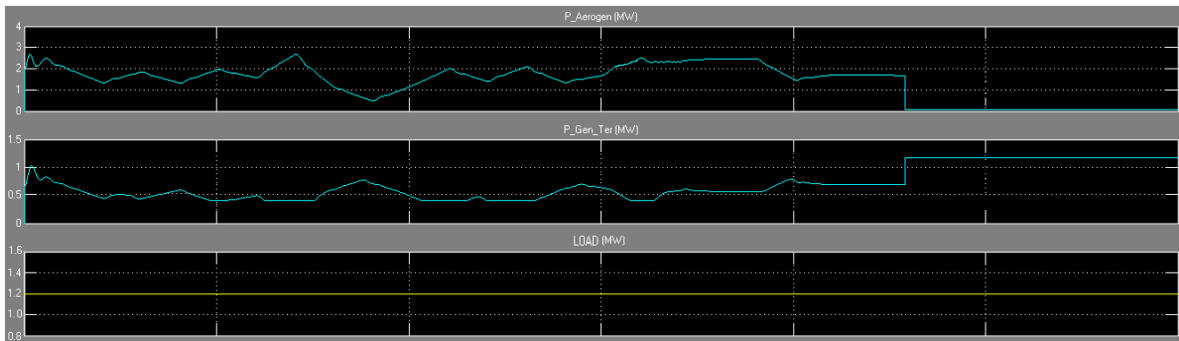


Figura 3.17: Curvas del despacho de potencia implementando el modelo de operación II.

Al tener los 3 generadores térmicos operativos como mínimo al 25% de su capacidad nominal implica que, en ocasiones esta generación no podrá disminuir su producción de potencia (489 KVA), esto impide que se aproveche al máximo el recurso eólico cuando las condiciones de viento son favorables.

La imagen 3.17 muestra como se realiza la producción de potencia para alimentar a la carga, y como también la generación térmica responde ante la salida inesperada del parque eólico. La imagen también muestra como en ciertos tramos la generación térmica no puede disminuir de su valor mínimo técnico de operación, esto implica que la producción eólica sea desaprovechada en cierto porcentaje.

Tabla 11: Datos de generación implementando el modelo de operación II al sistema actual.

GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)
	AE59	AE59	AE59	
EOLICA				
100%	800	800	800	2400
TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	
	650	650	650	1950
25%	163	163	163	489
Reserva				1461
	POTENCIA (kW)			
Condicion de falla	EOLICA	TERMICA	DEMANDA	
	0	1950	1200	

La tabla 11 muestra las potencias en condiciones normales y en condición de falla implementando el modelo de operación II.

3.4. Determinación del desaprovechamiento del recurso eólico frente a la implementación de los nuevos modelos.

Dado que las energías renovables dependen de la naturaleza, y es una generación con la que no siempre podemos contar o manejar a nuestra conveniencia, existen estaciones del año en las que no se pueda aprovechar al máximo este tipo de energía, y otras en las que sí.

Como lo habíamos mencionado con anterioridad, debido a la complejidad existente al momento de modelar una carga dinámica (demanda) en la herramienta computacional Simulink, basaremos para nuestro análisis del desaprovechamiento del recurso eólico frente a la implementación del modelo de operación I, datos de carga promedio semanales, en meses que constan de cierta particularidad. Basados en el estudio *Wind Energy Curtailment Analysis in Systems with High Penetration of Renewable Energy Sources*, realizado por el MSc. Jimmy Córdova Villagómez en el que basados en modelos de la predicción de la demanda, entre sus resultados se aprecia que la curva de la demanda anual guarda cierta particularidad, durante los meses de: febrero, marzo y abril alcanza valores altos de demanda, mientras que para los meses de septiembre, octubre y noviembre la demanda en la Isla llega a tener valores bajos, en comparación a los meses restantes del año.

Como dato adicional, dada la variabilidad de velocidad del viento, estas velocidades al igual que la curva anual de la demanda de la Isla San Cristóbal, verificando los estudios realizados y datos históricos de las velocidades del viento proporcionados en la isla por el MSc Jimmy Córdova Villagómez, pudimos notar que aquellos datos guardan cierta tendencia durante el transcurso del año, esto es: durante los meses febrero, marzo y abril la fuerza con la que fluye el viento en las islas baja notoriamente, es decir se observa que las velocidades del viento en estos meses es un poco baja, militando así el uso del parque eólico de la Isla San Cristóbal, mientras que en los meses de: septiembre, octubre y noviembre, las velocidades del viento tienden alcanzar valores significativos, permitiendo así que el recurso eólico pueda suplir la demanda en la isla mayoritariamente.

Basados en estas características particulares que guardan la demanda y las velocidades del viento en la Isla San Cristóbal, se realizaron varias simulaciones a fin de obtener los diferentes valores de producción de potencia de ambas fuentes de energía eléctrica (eólico y térmico), esto a fin de recopilar los valores de desaprovechamiento del recurso eólico, resultados que se encuentran en la parte de anexos.

CAPÍTULO 4

4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

4.1. Comparación del desaprovechamiento del recurso eólico.

En esta sección compararemos el desaprovechamiento del recurso eólico con respecto a cada uno de los 2 modelos de operación, basados en los resultados obtenidos en el capítulo anterior, en el que simulamos diferentes cargas que representan los datos de demanda promedio para los meses de febrero, marzo, abril, septiembre, octubre y noviembre del año 2016, a diferentes velocidades del viento.

Tabla 12: Desaprovechamiento eólico ante la implementación del modelo de operación I.

FECHA	DEMANDA (KW)	% DIESEL	% EOLICO	% DESAPROVECHAMIENTO EOLICO
1 -7 DE FEBRERO	2421.69	18.56	81.44	0.00%
8-14 DE FEBRERO	2534.37	42.32	57.68	0.00%
15-21 DE FEBRERO	2103.78	57.22	42.78	0.00%
22-29 DE FEBRERO	2425.60	42.74	57.26	0.00%
1 -7 DE MARZO	2396.36	62.38	37.62	0.00%
8-14 DE MARZO	2423.55	72.17	27.83	0.00%
15 -21 DE MARZO	2310.59	69.71	30.29	0.00%
22-28 DE MARZO	2443.84	72.88	27.12	0.00%
29-30 DE MARZO	2526.55	75.21	24.79	0.00%
1 -7 DE ABRIL	2503.63	70.43	29.57	0.00%
8 -14 DE ABRIL	2419.88	69.14	30.86	0.00%
15-21 DE ABRIL	2362.63	62.06	37.94	0.00%
22 -30 DE ABRIL	2206.52	53.38	46.62	0.00%

*Porcentaje requerido, pero no suministrado

FECHA	DEMANDA (KW)	% DIESEL	% EOLICO	% DESAPROVECHAMIENTO EOLICO
1 -7 DE SEPTIEMBRE	2699.81	35.54	64.46	0.00%
8-14 DE SEPTIEMBRE	2689.83	44.74	55.26	0.00%
15-21 DE SEPTIEMBRE	2655.84	29.95	70.05	0.00%
22-28 DE SEPTIEMBRE	2692.33	30.89	69.11	0.00%
29-30 DE SEPTIEMBRE	2662.24	26.66	73.34	0.00%
1 -7 DE OCTUBRE	2735.61	33.17	66.83	0.00%
8-14 DE OCTUBRE	2708.80	29.58	70.42	0.00%
15 -21 DE OCTUBRE	2747.26	26.19	73.81	0.00%
22-28 DE OCTUBRE	2748.33	27.87	72.13	0.00%
29-31 DE OCTUBRE	2727.80	42.15	57.85	0.00%
1 -7 DE NOVIEMBRE	2776.23	28.60	71.40	0.00%
8 -14 DE NOVIEMBRE	2804.77	43.74	56.26	0.00%
15-21 DE NOVIEMBRE	2774.33	45.69	54.31	0.00%
22-28 DE NOVIEMBRE	2692.33	49.80	50.20	0.00%
28-30 DE NOVIEMBRE	2662.24	55.47	44.53	0.00%

*Porcentaje requerido, pero no suministrado

La tabla 12 muestra los resultados del despacho en porcentaje de las diferentes demandas en los meses de febrero, marzo, abril, septiembre, octubre y noviembre.

La dinámica con la que se da el despacho se debe a que las diferentes velocidades del viento que hay en la isla no permiten tener total disponibilidad del recurso eólico llegando a tener valores críticos de producción de potencia, como fue el caso de la semana del 1 al 7 de abril, llegando a solo poder cubrir el 29% del valor de la demanda promedio. Ante esta eventualidad, la generación térmica actúa dotando de potencia al sistema según sea su disponibilidad.

En algunos casos el cuadro muestra que la capacidad de producción del parque eólico decae demasiado producto de las bajas velocidades que existen en esos meses en la Isla de San Cristóbal, ante esta situación los generadores térmicos tratan de suplir la carga pero en ciertos casos no puede lograrlo, para estos casos se muestran en color rojo los porcentajes a los que teóricamente debería estar la generación diésel para suplir la carga sobresaliendo en los meses febrero, marzo y abril, meses en los cuales las velocidades del viento en las islas no alcanzan valores lo suficientemente significativos, por lo contrario en los meses de septiembre, octubre y noviembre, las velocidades del viento son las suficientemente aptas para poder producir mayor potencia eléctrica para ser suministrada a la red.

Notamos que para el modelo de operación I, el desaprovechamiento que tiene el recurso eólico es cero, esto debido a que la gran mayoría de tiempo de análisis, toda la potencia que es producida por el parque eólico es aprovechada por la carga.

Tabla 13: Desaprovechamiento eólico ante la implementación del modelo de operación II.

FECHA	DEMANDA (KW)	% DIESEL	% EOLICO	% DESAPROVECHAMIENTO EOLICO
1-7 DE FEBRERO	2421.69	20.13	79.87	1.92%
8-14 DE FEBRERO	2534.37	42.32	57.68	0.00%
15-21 DE FEBRERO	2103.78	70.24	29.76	0.00%
22-29 DE FEBRERO	2425.60	42.74	57.26	0.00%
1-7 DE MARZO	2396.36	62.38	37.62	0.00%
8-14 DE MARZO	2423.55	72.17	28.14	0.00%
15-21 DE MARZO	2310.59	69.71	28.88	0.00%
22-28 DE MARZO	2443.84	72.88	28.68	0.00%
29-30 DE MARZO	2526.55	75.21	25.63	0.00%
1-7 DE ABRIL	2503.63	70.43	29.57	0.00%
8-14 DE ABRIL	2419.88	69.14	30.86	0.00%
15-21 DE ABRIL	2362.63	62.06	37.94	0.00%
22-30 DE ABRIL	2206.52	53.38	46.62	0.00%
FECHA	DEMANDA (KW)	% DIESEL	% EOLICO	% DESAPROVECHAMIENTO EOLICO
1-7 DE SEPTIEMBRE	2699.81	36.11	63.89	0.89%
8-14 DE SEPTIEMBRE	2689.83	44.74	55.06	0.00%
15-21 DE SEPTIEMBRE	2655.84	36.71	62.49	9.66%
22-28 DE SEPTIEMBRE	2692.33	36.21	64.66	7.70%
29-30 DE SEPTIEMBRE	2662.24	36.62	62.67	13.59%
1-7 DE OCTUBRE	2735.61	35.64	64.36	3.69%
8-14 DE OCTUBRE	2708.80	35.99	63.38	9.11%
15-21 DE OCTUBRE	2747.26	35.49	65.43	12.60%
22-28 DE OCTUBRE	2748.33	35.48	64.55	10.54%
29-31 DE OCTUBRE	2727.80	42.15	57.41	0.00%
1-7 DE NOVIEMBRE	2776.23	35.12	64.88	9.14%
8-14 DE NOVIEMBRE	2804.77	43.74	56.84	0.00%
15-21 DE NOVIEMBRE	2774.33	45.69	53.72	0.00%
22-28 DE NOVIEMBRE	2692.33	53.14	45.47	0.00%
28-30 DE NOVIEMBRE	2662.24	55.47	44.03	0.00%

Ante el modelo de operación II el cual consta de 3 generadores térmicos operando al 25% de su capacidad nominal como mínimo, podemos observar que, la generación diésel sirve de gran soporte al momento del suministro de potencia eléctrica a la red como lo ilustra la Tabla 13. En las épocas de bajas velocidades del viento la generación diésel puede llegar a suplir hasta un 75% de la demanda, tal y como fue el caso de la semana del 29-30 de marzo, en la que debido a las extremas velocidades del viento en la isla, la producción de la potencia del parque eólico cayo a solo el 25% de la demanda promedio.

Una de las grandes ventajas de este modelo de operación, es la gran confiabilidad que adquiere el sistema durante la operación normal del mismo, pero esto solo ocurre cuando las velocidades el viento no son las suficientes como para poder aprovechar toda la capacidad de producción del parque eólico. Es notorio que cuando las velocidades del viento aumentan, la capacidad de producción del parque eólico también aumenta, dando a lugar a que se produzcan desaprovechamiento del este recurso como lo muestra la Tabla 13, ya que al tener los 3 generadores

térmicos estos no pueden estar operativos por debajo del 25% de su capacidad nominal.

4.2. Selección de la mejor alternativa de operación.

Una vez analizados los 2 modelos de operación en el presente trabajo, analizando todos los escenarios en los cuales interactúan ambas generaciones (eólico y térmico). Podemos concluir que ambos modelos brindan mayor confiabilidad y estabilidad al sistema de generación de la Isla San Cristóbal.

Pero es sin duda el modelo de operación I el que mejor cumple con uno de los aspectos más importantes el cual mantiene como una de sus políticas de operación la empresa eléctrica ELECGALAPAGOS, y es priorizar el uso de las energías renovables, si bien es cierto el modelo de operación II es muy robusto en cuanto a confiabilidad se refiere, pero descuida notablemente el uso de las energías renovables, quizás el modelo de operación I en ciertas situaciones las épocas del año en donde existan velocidades del viento muy bajas, no podrá abastecer por si solo toda la potencia restante, pero aquello puede solucionarse al existir una efectiva coordinación con el operador de la central de generación térmica, ya que si tendrá el tiempo suficiente para poder adicionar otro generador térmico y operar con los tres, ya que esta situación se presenta por pequeños intervalos de tiempo en el día.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se analizó la estabilidad del sistema actual de generación de la Isla San Cristóbal, concluyendo que el sistema actual carece de una correcta estabilidad el momento en que la isla atraviese bajas velocidades de viento, o se suscite una falla en el sistema de generación.

Se simuló el sistema de generación de la Isla San Cristóbal, basándonos en ocasiones, en bloques predeterminados y diferentes elementos que ofrece la librería de la herramienta de Matlab, Simulink. Verificando mediante esta simulación la estabilidad del sistema ante una situación de falla.

Se propuso dos modelos de operación para el sistema de generación, eligiendo el modelo de operación I, ya que este modelo brinda la posibilidad de poder seguir dándole prioridad a las energías renovables existente en la isla San Cristóbal.

Se analizó el desaprovechamiento del recurso eólico ante la implementación del modelo de operación I, siendo este modelo el más óptimo, ya que implementando aquel modelo a más de garantizar la estabilidad del sistema, aseguramos la utilización prioritaria del recurso eólico como fuente de generación en la Isla San Cristóbal.

Al momento de simular un sistema como el de la Isla San Cristóbal en Simulink, se recomienda tener mucho cuidado en la implementación del lazo de control, ya que es este el que permite que ambas generaciones puedan sincronizarse antes de empezar a alimentar la carga.

Es necesario el uso de *circuit breaker* en la simulación, ya que así podemos ir energizando los diferentes elementos una vez transcurridos sus transitorios.

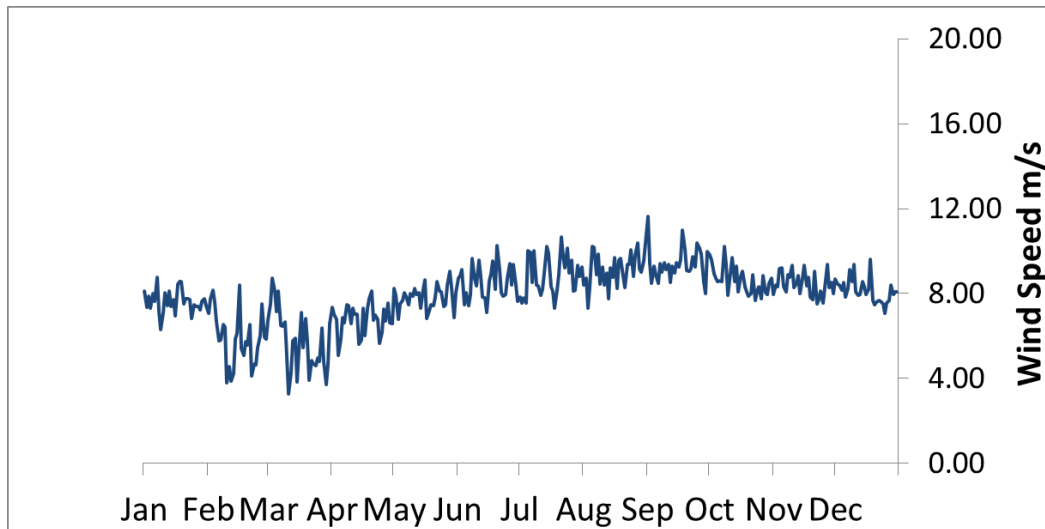
BIBLIOGRAFÍA

- [1]: Agencia de Regulación y Control de Electricidad, (2015). Estadística Anual y Multianual [online]. Disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/11/Estad%C3%ADsticaAnualyMultianual2015.pdf>.
- [2]: Agencia de Regulación y Control de Electricidad, (2016). RESOLUCIÓN No. ARCONEL- 033/16 [online]. Disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/033-16-Actualizacion-capacidad-generacion-Galapagos-actualizaci%C3%B3n-capacidad.pdf>.
- [3]: CONELEC (2015), Producción Anual de Energía Eléctrica, Disponible en: http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4448.
- [4]: Eólica San Cristóbal S.A., (2016). Descripción de las instalaciones [online]. Disponible en: <http://www.eolicsa.com.ec/caracteristicas/descripcion-de-las-instalaciones/>.
- [5]: Empresa Eléctrica ELECGALAPAGOS SA, (2014). Diagrama_Unifilar_Sistema_Hibrido.
- [6]: Jimmy Córdova Villagómez, “Wind Energy Curtailment Analysis in Systems with High Penetration of Renewable Energy Sources,” en LACCEI, Cancun, México, 2013, pp.
- [7]: Papathanassiou, S. a., & Boulaxis, N. G. (2006). Power limitations and energy yield evaluation for wind farms operating in island systems. *Renewable Energy*, 31(4), 457–479. doi:10.1016/j.renene.2005.04.002
- [8]: WINDFINDER, (2016). Mapa de predicción del viento Ecuador [online]. Disponible en: <https://es.windfinder.com/weather-maps/forecast/ecuador#6/-0.242/-87.111>
- [9]: Papadopoulos M, Malatestas P, Papathanassiou S, Bilios N. Impact of high wind penetration on the power system of large islands. *Proceedings of EWEC'93*, Lubeck-Travemunde, Alemania. p. 782–5.
- [10]: Eólica San Cristóbal S.A., (2016). Recurso Eólico [online]. Disponible en: <http://www.eolicsa.com.ec/operacion/recurso-eolico/>

- [11]: Eólica San Cristóbal S.A., (2016). Producción Energética [online]. Disponible en: <http://www.eolicsa.com.ec/operacion/produccion-energia/>.
- [12]: IIASA-CAT SA (2016), manual-de-generador-electromecanico-diesel-3512 [online]. Disponible en: <http://www.iiasacat.com.ec/files/descargables/petroleo/3512.pdf>.
- [13]: Jimmy Córdova Villagómez (2012). Wind Energy Curtailment Analysis in Systems with High Penetration of Renewable Energy Sources, 6 - 7.
- [14]: Ministerio de Ambiente (2015), Comunicado via web-crecimiento de turistas en las islas Galapagos [online]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/5-de-crecimiento-en-sector-turistico-de-galapagos/>
- [15]: Pablo Ledesm, Regulacion de frecuencia y potencia, 21 de septiembre de 2008 [online]. Disponible en: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-electrica/operacion-y-control-de-sistemas-electricos/II_OCSE_RFP.pdf
- [16]: OLADE. (2015). Estabilidad de los Sistemas Eléctricos de Potencia con Generación Renovable [online]. Disponible en: <http://www.olade.org/>
- [17]: Consejo Nacional de Electricidad (2015). REGULACION No. CONELEC – 004/01 [online]. Disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-CalidadDeServicio.pdf>
- [18]: E. D. Generator and D. E. Controls, “Emergency Diesel Generator Diesel Engine Controls and Governing 8.0,” pp. 1–38.
- [19]: E. Development, P. Generation, E. Society, and Pes, *IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines*, vol. 2014, no. April. 2014.
- [20]: Empresa Eléctrica ELECGALAPAGOS SA, (2016). Datos_de_demanda_por_amilentadores.xlsx.

ANEXOS

ANEXO A: Datos de prediccion del viento y perfil de viento



8.13	7.36	7.89	7.33	8.01	7.61	8.75	7.16	6.30	7.12	8.04	7.42	8.14	7.37
7.71	6.95	8.44	8.56	8.55	7.52	7.75	7.76	7.70	6.81	7.46	7.40	7.38	7.22
7.62	7.75	7.41	7.08	7.74	8.18	7.58	6.66	5.79	5.83	6.55	6.41	3.80	4.54
3.88	4.22	5.85	6.14	8.41	5.42	5.09	5.72	5.58	6.55	4.14	4.67	4.65	5.45
6.01	7.53	5.93	5.84	6.76	7.51	8.74	8.11	7.14	8.11	6.50	6.45	6.66	5.06
3.27	4.29	5.79	5.88	3.83	5.26	7.11	5.44	6.84	5.73	3.93	4.86	4.68	4.60
4.98	4.80	6.39	4.79	3.70	4.69	6.57	7.33	7.04	6.79	5.08	5.87	6.86	6.61
7.48	7.43	6.59	7.31	7.04	7.03	5.60	5.83	7.32	6.01	7.30	7.75	8.13	6.74
7.00	6.78	5.65	6.16	7.26	7.72	7.54	6.62	6.60	8.22	7.93	6.79	7.50	7.66
8.04	7.88	7.48	7.98	7.88	8.22	7.97	8.04	7.32	8.20	8.65	6.84	7.18	7.47
7.45	7.82	8.56	8.13	8.07	7.41	7.47	8.40	9.06	8.26	6.88	8.03	8.74	8.86
9.12	7.46	8.04	7.45	7.97	9.65	8.69	8.35	9.57	8.81	7.84	7.80	7.11	8.62
8.92	9.52	8.19	10.27	9.12	8.03	7.86	7.97	8.71	9.40	8.39	9.37	8.39	7.64
7.83	7.55	7.81	7.55	10.01	9.94	8.52	10.03	8.41	8.37	7.93	8.18	8.96	8.96
10.21	9.90	8.34	8.13	7.33	8.14	8.88	10.65	9.78	9.20	10.14	8.96	9.58	9.58
8.14	8.17	9.31	8.79	9.23	8.42	8.72	7.30	8.26	10.23	10.20	8.90	9.85	9.85
8.43	9.25	8.41	8.97	7.75	9.19	8.76	9.71	8.23	9.58	9.64	8.82	8.30	9.39
9.36	10.04	8.81	9.81	10.39	9.16	9.00	9.55	10.40	11.62	9.44	8.47	9.31	9.31
8.90	8.49	9.42	9.02	9.46	9.13	9.37	8.53	9.29	8.95	9.46	9.27	9.63	10.99
10.09	9.09	9.04	9.16	9.73	9.24	10.40	10.16	9.86	8.53	8.01	9.99	9.82	9.82
9.56	8.93	8.71	8.58	8.61	8.58	10.23	9.36	7.91	8.95	9.69	8.56	9.31	8.09
8.80	9.07	8.31	8.10	7.88	8.02	8.87	7.66	8.10	8.32	7.74	8.83	8.05	7.97
8.48	8.71	7.98	8.41	8.34	9.18	9.21	8.32	8.07	8.90	8.76	9.31	8.28	8.48
8.83	8.00	8.71	9.32	8.36	8.75	7.85	7.73	9.06	7.52	7.70	8.10	7.54	8.29
9.39	8.27	8.52	7.99	8.69	8.46	8.42	8.16	8.51	7.84	8.25	9.11	8.58	9.39
8.07	7.91	7.95	8.55	8.34	7.97	8.19	9.62	8.66	7.49	7.57	7.66	7.65	7.50
7.07	7.57	7.68	8.41	7.94	8.07	8.07							

ANEXO B: Código de la simulación

```

%MATERIA INTEGRADORA ING LUIS RUIZ
%CODICO DE COMANDOS PARA EL SIMULADO DEL PROYECTO INTEGRADOR
%creacion del perfil de viento
x=1:1:366;
ws=[8.13 7.36 7.89 7.33 8.01 7.61 8.75 7.16 6.30 7.12 8.04 7.42 8.14 7.37
7.71 8.95 8.44 8.56 8.55 7.52 7.75 7.76 7.70 7.81 7.46 7.40 7.38 7.22
7.62 7.75 7.41 7.08 7.74 8.18 7.58 6.66 8.79 5.83 6.55 6.41 7.80 6.54
6.88 4.22 5.85 6.14 8.41 5.42 5.09 5.72 5.58 6.55 4.14 4.67 4.65 5.45
6.01 7.53 5.93 5.84 6.76 7.51 8.74 8.11 7.14 8.11 6.50 6.45 6.66 5.06
3.27 4.29 5.79 5.88 3.83 5.26 7.11 5.44 6.84 5.73 3.93 4.86 4.68 4.60
4.98 4.80 6.39 4.79 3.70 4.69 6.57 7.33 7.04 6.79 5.08 5.87 6.86 6.61
7.48 7.43 6.59 7.31 7.04 7.03 5.60 5.83 7.32 6.01 7.30 7.75 8.13 6.74
7.00 6.78 5.65 6.16 7.26 7.72 7.54 6.62 6.60 8.22 7.93 6.79 7.50 7.66
8.04 7.88 7.48 7.98 7.88 8.22 7.97 8.04 7.32 8.20 8.65 6.84 7.18 7.47
7.45 7.82 8.56 8.13 8.07 7.41 7.47 8.40 9.06 8.26 6.88 8.03 8.74 8.86
9.12 7.46 8.04 7.45 7.97 9.65 8.69 8.35 9.57 8.81 7.84 7.80 7.11 8.62
8.92 9.52 8.19 10.27 9.12 8.03 7.86 7.97 8.71 9.40 8.39 9.37 8.39 7.64
7.83 7.55 7.81 7.55 10.01 9.94 8.52 10.03 8.41 8.37 7.93 8.18 8.96 10.21
9.90 8.34 8.13 7.33 8.14 8.88 10.65 9.78 9.20 10.14 8.96 9.58 8.14 8.17
9.31 8.79 9.23 8.42 8.72 7.30 8.26 10.23 10.20 8.90 9.85 8.43 9.25 8.41
8.97 7.75 9.19 8.76 9.71 8.23 9.58 9.64 8.82 8.30 9.39 9.36 10.04 8.81
9.81 10.39 9.16 9.00 9.55 10.40 11.62 9.44 8.47 9.31 8.90 8.49 9.42 9.02
9.46 9.13 9.37 8.53 9.29 8.95 9.46 9.27 9.63 10.99 10.09 9.09 9.04 9.16
9.73 9.24 10.40 10.16 9.86 8.53 8.01 9.99 9.82 9.56 8.93 8.71 8.58 8.61
8.58 10.23 9.36 7.91 8.95 9.69 8.56 9.31 8.09 8.80 9.07 8.31 8.10 7.88
8.02 8.87 7.66 8.10 8.32 7.74 8.83 8.05 7.97 8.48 8.71 7.98 8.41 8.34
9.18 9.21 8.32 8.07 8.90 8.76 9.31 8.28 8.48 8.83 8.00 8.71 9.32 8.36
8.75 7.85 7.73 9.06 7.52 7.70 8.10 7.54 8.29 9.39 8.27 8.52 7.99 8.69
8.46 8.42 8.16 8.51 7.84 8.25 9.11 8.58 9.39 8.07 7.91 7.95 8.55 8.34
7.97 8.19 9.62 8.66 7.49 7.57 7.66 7.65 7.50 7.07 7.57 7.68 8.41 7.94
8.07 8.07];

plot(x,ws')
simulado;
%creacion de la validacion lara el lazo cerrado
k=0;
Pe=0;
load=0;

%entrada de las variables
Pdg=load*0.25;
x=0.8;

%construccion del lazo while
while Pe<Pdg
x=x+0.05;
end

%seleccion del valor de pm
Pm=x;

%parametros de la turbina
R=29.5;
dens=1.22;

```

```

rel_trans=1;

%Calculo de LB
w_t= w_g/rel_trans;
lb=w_t*R/viento;

%coeficientes para evaluar CP LB B
c44=4.9686e-10;
c43=-7.1535e-8;
c42=1.6167e-6;
c41=-9.4839e-6;
c40=1.4787e-5;
c34=-8.9194e-8;
c33=5.9924e-6;
c32=-1.0479e-4;
c31=5.7051e-4;
c30=-8.6018e-4;
c24=2.7937e-6;
c23=-1.4855e-4;
c22=2.1495e-3;
c21=-1.0996e-2;
c20=1.5727e-2;
c14=-2.3895e-5;
c13=1.068e-3;
c12=-1.3934e-2;
c11=6.0405e-2;
c10=-6.7606e-2;
c04=1.1524e-5;
c03=-1.3365e-4;
c02=-1.2406e-2;
c01=2.1808e-1;
c00=-4.1904e-1;

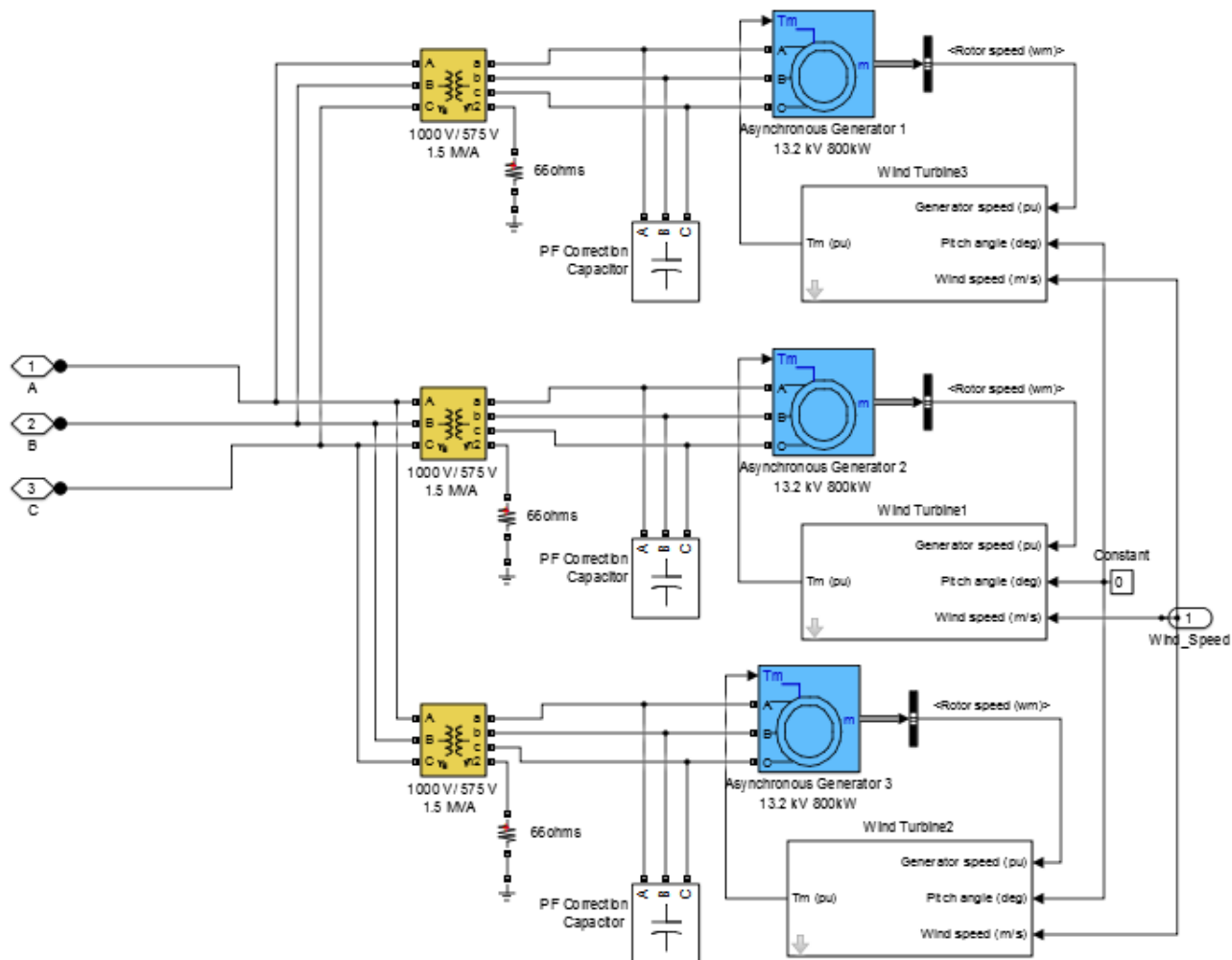
alfa=[c00 c01 c02 c03 c04;
      c10 c11 c12 c13 c14;
      c20 c21 c22 c23 c24;
      c30 c31 c32 c33 c34;
      c40 c41 c42 c43 c44];

CPJ=0;
CPI=0;
for i=1:5,
    CPJ=0;
    for j=1:5,
        CP=alfa(i,j)*beta^(i-1)*lb^(j-1);
        CPJ=CPJ+CP;
    end
    CPI=CPI+CPJ;
end
coefpot=CPI;
if CPI<=0
    coefpot=0;
end

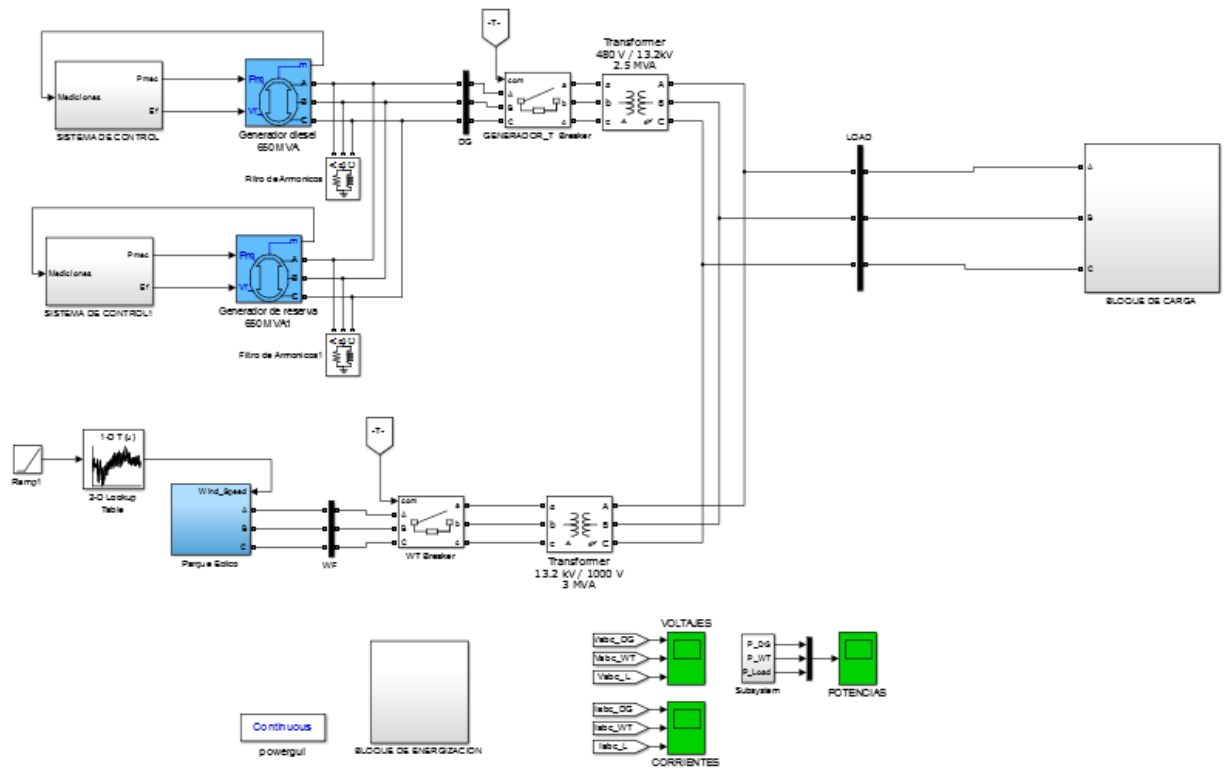
potencia=0.5*pi*(R*R)*dens*(viento*viento*viento)*coefpot;

```

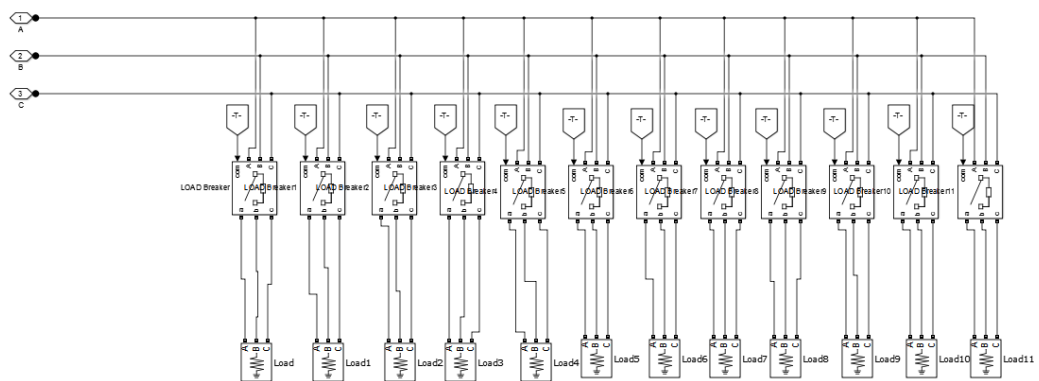
ANEXO C: Interior del bloque Parque Eólico

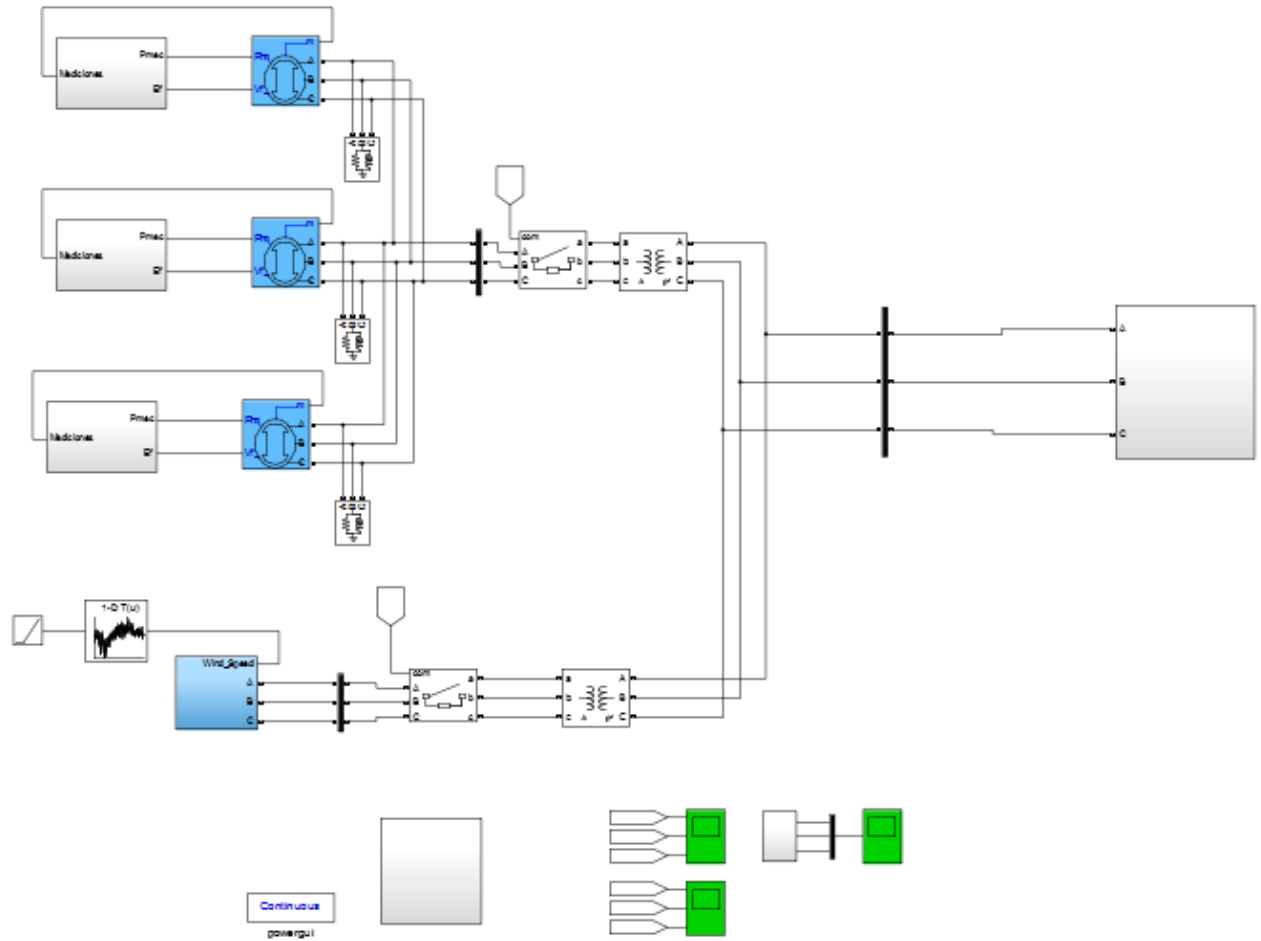


ANEXO D: Simulación del modelo I para determinar desaprovechamiento



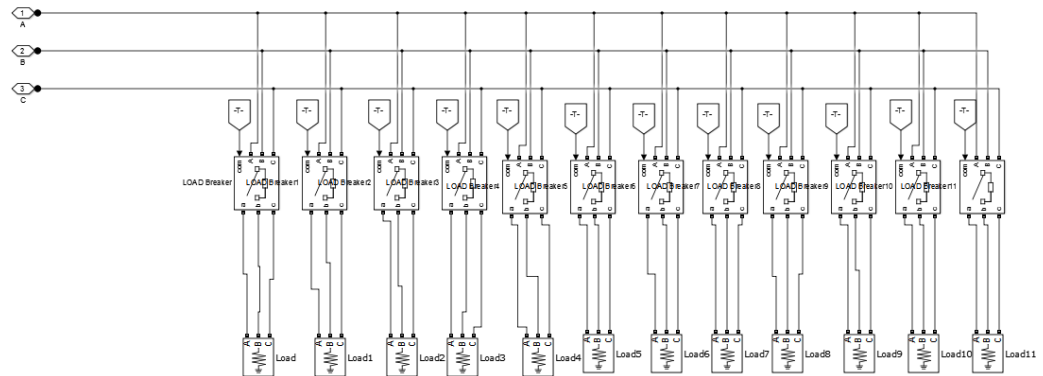
BLOQUE DE CARGA





ANEXO F: Simulación del modelo II para determinar desaprovechamiento

BLOQUE DE CARGA



ANEXO G: Resultados de la simulación del modelo de operación I

Mes de febrero

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59		%	%
2421.69	9.20		657.38	657.38	657.38	1972.14	1972.14	81.44
2534.37	8.70		487.25	487.25	487.25	1461.75	1461.75	57.68
2103.78	7.50	EOLICA	300.00	300.00	300.00	900.00	900.00	42.78
2425.60	8.50		462.98	462.98	462.98	1388.94	1388.94	57.26
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL	%	
			CAT3512	CAT3512	CAT3512			
2421.69			224.78	224.78	0.00	449.55	18.56	
2534.37			536.31	536.31	0.00	1072.62	42.32	
2103.78		TERMICA	601.89	601.89	0.00	1203.78	57.22	
2425.60			518.33	518.33	0.00	1036.66	42.74	

Mes de marzo

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59		%	%
2396.36	7.46		300.48	300.48	300.48	901.44	901.44	37.62
2423.55	6.68		262.12	262.12	150.12	674.36	674.36	27.83
2310.59	6.78	EOLICA	269.56	269.56	160.84	699.96	699.96	30.29
2443.84	6.12		220.89	220.89	220.89	662.67	662.67	27.12
2526.55	6.02		208.78	208.78	208.78	626.34	626.34	24.79
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL	%	
			CAT3512	CAT3512	CAT3512			
2396.36			747.46	747.46	0.00	1494.92	62.38	
2423.55			874.59	874.59	0.00	1749.19	72.17	
2310.59		TERMICA	805.32	805.32	0.00	1610.63	69.71	
2443.84			890.59	890.59	0.00	1781.17	72.88	
2526.55			950.10	950.10	0.00	1900.21	75.21	

Mes de abril

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59		%	%
2503.63	6.56		246.78	246.78	246.78	740.34	740.34	29.57
2419.88	6.59		248.89	248.89	248.89	746.67	746.67	30.86
2362.63	7.05	EOLICA	298.77	298.77	298.77	896.31	896.31	37.94
2206.52	7.02		342.89	342.89	342.89	1028.67	1028.67	46.62
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL	%	
			CAT3512	CAT3512	CAT3512			
2503.63			881.64	881.64	0.00	1763.29	70.43	
2419.88			836.60	836.60	0.00	1673.21	69.14	
2362.63		TERMICA	733.16	733.16	0.00	1466.32	62.06	
2206.52			588.92	588.92	0.00	1177.85	53.38	

Mes de septiembre

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59		GENERACION (Kw)	%
2699.81	8.91	EOLICA	580.12	580.12	580.12	1740.36	1740.36	64.46
2689.83	8.79		495.50	495.50	495.50	1486.5	1486.50	55.26
2655.84	9.13		620.18	620.18	620.18	1860.54	1860.54	70.05
2692.33	9.44		650.85	650.85	650.85	1860.54	1860.54	69.11
2662.24	9.66		670.48	670.48	670.48	1952.55	1952.55	73.34
DEMANDA PROMEDIO (Kw)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	%		
2699.81	TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	959.45	35.54		
2689.83		601.66	601.66	0.00	1203.33	44.74		
2655.84		397.65	397.65	0.00	795.30	29.95		
2692.33		415.90	415.90	0.00	831.79	30.89		
2662.24		354.85	354.85	0.00	709.69	26.66		

Mes de octubre

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59		GENERACION (Kw)	%
2735.61	9.11	EOLICA	609.38	609.38	609.38	1828.14	1828.14	66.83
2708.80	9.21		635.89	635.89	635.89	1907.67	1907.67	70.42
2747.26	9.62		675.89	675.89	675.89	2027.67	2027.67	73.81
2748.33	9.54		660.78	660.78	660.78	1982.34	1982.34	72.13
2727.80	9.03		525.98	525.98	525.98	1577.94	1577.94	57.85
DEMANDA PROMEDIO (Kw)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	%		
2735.61	TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	907.47	33.17		
2708.80		400.57	400.57	0.00	801.13	29.58		
2747.26		359.79	359.79	0.00	719.59	26.19		
2748.33		383.00	383.00	0.00	765.99	27.87		
2727.80		574.93	574.93	0.00	1149.86	42.15		

Mes de noviembre

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59		GENERACION (Kw)	%
2776.23	9.54	EOLICA	660.78	660.78	660.78	1982.34	1982.34	71.40
2804.77	9.03		525.98	525.98	525.98	1577.94	1577.94	56.26
2774.33	8.84		502.24	502.24	502.24	1506.72	1506.72	54.31
2692.33	8.43		450.51	450.51	450.51	1351.53	1351.53	50.20
2662.24	8.10		395.18	395.18	395.18	1185.54	1185.54	44.53
DEMANDA PROMEDIO (Kw)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	%		
2776.23	TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	793.89	28.60		
2804.77		613.42	613.42	0.00	1226.83	43.74		
2774.33		633.80	633.80	0.00	1267.61	45.69		
2692.33		670.40	670.40	0.00	1340.80	49.80		
2662.24		738.35	738.35	0.00	1476.70	55.47		

ANEXO F: Resultados de la simulación del modelo de operación II

Mes de febrero

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59			%
2421.69	9.20	EOLICA	657.38	657.38	657.38	1972.14	1934.19	79.87
2534.37	8.70		487.25	487.25	487.25	1461.75	1461.75	57.68
2556.82	7.00		253.67	253.67	253.67	761.01	761.01	29.76
2425.60	8.50		462.98	462.98	462.98	1388.94	1388.94	57.26
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL	%	
2421.69		TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	487.50	20.13	
2534.37			357.54	357.54	357.54	1072.62	42.32	
2556.82			598.60	598.60	598.60	1795.81	70.24	
2425.60			345.55	345.55	345.55	1036.66	42.74	

Mes de marzo

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59			%
2396.36	7.46	EOLICA	300.48	300.48	300.48	901.44	901.44	37.62
2423.55	6.68		262.12	262.12	150.12	674.36	674.36	28.14
2310.59	6.78		269.56	269.56	160.84	699.96	699.96	28.88
2443.84	6.12		220.89	220.89	220.89	662.67	662.67	28.68
2526.55	6.02		208.78	208.78	208.78	626.34	626.34	25.63
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL	%	
2396.36		TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	1494.92	62.38	
2423.55			583.06	583.06	583.06	1749.19	72.17	
2310.59			536.88	536.88	536.88	1610.63	69.71	
2443.84			593.72	593.72	593.72	1781.17	72.88	
2526.55			633.40	633.40	633.40	1900.21	75.21	

Mes de abril

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	
			AE59	AE59	AE59			%
2503.63	6.56	EOLICA	246.78	246.78	246.78	740.34	740.34	29.57
2419.88	6.59		248.89	248.89	248.89	746.67	746.67	30.86
2362.63	7.05		298.77	298.77	298.77	896.31	896.31	37.94
2206.52	7.02		342.89	342.89	342.89	1028.67	1028.67	46.62
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kw)			TOTAL	%	
2503.63		TERMICA	CAT3512	CAT3512	CAT3512	1763.29	70.43	
2419.88			557.74	557.74	557.74	1673.21	69.14	
2362.63			488.77	488.77	488.77	1466.32	62.06	
2206.52			392.62	392.62	392.62	1177.85	53.38	

Mes de septiembre

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	%
			AE59	AE59	AE59			
2699.81	8.91		580.12	580.12	580.12	1740.36	1724.81	63.89
2689.83	8.79		495.50	495.50	495.50	1486.5	1486.50	55.06
2655.84	9.13	EOLICA	620.18	620.18	620.18	1860.54	1680.84	62.49
2692.33	9.44		650.85	650.85	650.85	1860.54	1717.33	64.66
2662.24	9.66		670.48	670.48	670.48	1952.55	1687.24	62.67
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL		%
2699.81			CAT3512	CAT3512	CAT3512	975.00		36.11
2689.83			325.00	325.00	325.00	975.00		36.11
2655.84		TERMICA	401.11	401.11	401.11	1203.33		44.74
2692.33			325.00	325.00	325.00	975.00		36.71
2662.24			325.00	325.00	325.00	975.00		36.21
			325.00	325.00	325.00	975.00		36.62

Mes de octubre

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	%
			AE59	AE59	AE59			
2735.61	9.11		609.38	609.38	609.38	1828.14	1760.61	64.36
2708.80	9.21		635.89	635.89	635.89	1907.67	1733.80	63.38
2747.26	9.62	EOLICA	675.89	675.89	675.89	2027.67	1772.26	65.43
2748.33	9.54		660.78	660.78	660.78	1982.34	1773.33	64.55
2727.80	9.03		525.98	525.98	525.98	1577.94	1577.94	57.41
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL		%
2735.61			CAT3512	CAT3512	CAT3512	975.00		35.64
2708.80			325.00	325.00	325.00	975.00		35.99
2747.26		TERMICA	325.00	325.00	325.00	975.00		35.49
2748.33			325.00	325.00	325.00	975.00		35.48
2727.80			383.29	383.29	383.29	1149.86		42.15

Mes de noviembre

DEMANDA PROMEDIO (Kw)	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)	GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL (Kw)	APORTE A LA GENERACION (Kw)	%
			AE59	AE59	AE59			
2776.23	9.54		660.78	660.78	660.78	1982.34	1801.23	64.88
2804.77	9.03		525.98	525.98	525.98	1577.94	1577.94	56.84
2774.33	8.84	EOLICA	502.24	502.24	502.24	1506.72	1506.72	53.72
2692.33	8.43		420.51	420.51	420.51	1261.53	1261.53	45.47
2662.24	8.10		395.18	395.18	395.18	1185.54	1185.54	44.03
DEMANDA PROMEDIO (Kw)		GENERACION	POTENCIA (kW)			TOTAL		%
2776.23			CAT3512	CAT3512	CAT3512	975.00		35.12
2804.77			408.94	408.94	408.94	1226.83		43.74
2774.33		TERMICA	422.54	422.54	422.54	1267.61		45.69
2692.33			476.93	476.93	476.93	1430.80		53.14
2662.24			492.23	492.23	492.23	1476.70		55.47