



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LOS
EFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES
AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA**

Josué Miguel Ramírez Lemus

Asesorado por el MBA. Ing. Jorge Ricardo Marcello Estrada Vides

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LOS
EFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES
AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSUE MIGUEL RAMÍREZ LEMUS

ASESORADO POR EL MBA. ING. JORGE RICARDO MARCELLO ESTRADA
VIDES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Carlos Fernando Rodas
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LOS EFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 8 de febrero de 2016.

Josué Miguel Ramírez Lemus



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



ADSE-MEAPP-009-2015

Guatemala, 08 de febrero de 2016.

Director:
José Francisco González López
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Josué Miguel Ramírez Lemus** carné número **2011-13926**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

MBA. Ing. Jorge Ricardo Marcello Estrada V.
Asesor (a)

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Jorge Ricardo Marcello Estrada Vides
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO NO 7357

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



REF. EIME 14.2016.
Guatemala, 3 de MARZO 2016.

FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LOS EFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Josué Miguel Ramírez Lemus, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

YO, EN FE, FIRMÉ Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

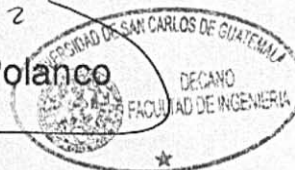




El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE LOS EFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Josué Miguel Ramírez Lemus**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

907/12
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, marzo de 2016

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser todo en mi vida.
Mis padres	Miguel Ramírez y Silvia Lemus, porque después de Dios, son el amor, sabiduría y fortaleza en mi vida.
Mis hermanos	Javier y Silvia María Ramírez Lemus, por ser una apoyo incondicional en cada momento.
Mi abuelo	Miguel Bonifacio Ramírez, por su amor y ser el mejor ejemplo de vida que he conocido.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Por ser ejemplo de vida e inculcarme los valores que me permiten seguir creciendo cada día.
Mis amigos	Por su amistad, compañía, apoyo y consejos compartidos durante este tiempo.
Mis tíos y abuela	Por apoyarme y brindarme consejos en diferentes momentos de mi vida.
Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos y desarrollo necesarios para ser un profesional.
Mi asesor	Por el apoyo brindado.
Comisión Nacional de Energía Eléctrica	Por ser la puerta al campo profesional para así desarrollarme y crecer.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.1. Pregunta principal.....	4
2.2. Preguntas auxiliares	4
3. ALCANCE	5
4. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1. Energías renovables no convencionales	7
4.1.1. Energía solar fotovoltaica	7
4.1.2. Energía eólica.....	9
4.1.3. Variabilidad del Sol y el viento	11
4.1.4. Beneficios de las energías renovables no convencionales	12
4.2. Política energética	13
4.2.1. Matriz de generación eléctrica	13

4.2.2.	Leyes, reglamentos y normativa del subsector eléctrico.....	14
4.2.3.	Despacho hidrotérmico	15
4.2.4.	Reserva Rodante Operativa o Reserva Secundaria	16
4.3.	Estudio de impacto de energías renovables y no renovables.....	16
4.3.1.	Impacto en la operación del sistema	16
4.3.1.1.	Estabilidad del sistema.....	16
4.3.1.2.	Frecuencia del sistema	17
4.3.1.3.	Control de frecuencia	17
4.3.1.4.	Reserva rodante.....	17
4.3.2.	Impacto económico	17
4.3.2.1.	Costo total de la operación.....	17
4.3.2.2.	Costo marginal de la energía de corto plazo.....	18
4.3.2.3.	Costo variable de generación.....	18
5.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	19
6.	MARCO METODOLÓGICO	21
6.1.	Tipo de estudio.....	21
6.2.	Diseño del estudio.....	21
6.2.1.	Fase I: Investigación	22
6.2.2.	Fase II: Análisis de datos	22
6.2.3.	Fase III: Análisis y resultados.....	23
6.2.4.	Fase IV: Propuesta.....	24
7.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	25

8.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	27
9.	CRONOGRAMA.....	29
	BIBLIOGRAFÍA.....	31

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planta solar fotovoltaica-Horus Guatemala	8
2.	Parque eólico-San Antonio Guatemala	10
3.	Matriz energética de generación de Guatemala del 2012	14
4.	Fecha inicio 18 de enero–fecha finalización 16 de julio	29

TABLAS

I.	Parámetros eléctricos.....	22
II.	Parámetros económicos.....	23
III.	Recursos necesarios.....	27

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
USD	Dólar estadounidense
Hz	Hertz
kW	Kilovatio
MW	Megavatio
MWh	Megavatio-hora

GLOSARIO

Costo marginal	Costo para producir una unidad de energía adicional.
Despacho hidrotérmico	Plan óptimo de generación de energía hidráulica y térmica con el que se obtiene el mínimo costo de operación.
Energía renovable	Energía que se obtiene de una fuente natural inagotable.
Estabilidad	Propiedad de un sistema de mantenerse en equilibrio.
Matriz energética	Representación gráfica de la energía clasificada por el tipo de fuente de la que se obtiene.
Reserva	Capacidad de generación que permite mantener equilibrio eléctrico en el sistema.

RESUMEN

En la actualidad, la matriz de energía eléctrica a nivel mundial está evolucionando. El uso de la energía renovable se está fomentado en casi todas las actividades realizadas por el ser humano. Esto responde a la necesidad de gestionar de una forma sostenible los recursos naturales del planeta, para lograr una buena calidad de vida para los seres humanos y no comprometer el desarrollo de las generaciones futuras.

En la generación de energía eléctrica, como parte de esta evolución, cada vez es mayor la participación de las energías renovables no convencionales. Si bien la generación hidráulica ha sido el recurso renovable con mayor participación para producir energía eléctrica, la energía solar y eólica está tomando relevancia dentro de la matriz energética de Guatemala.

En 2015, se han instalado las 2 primeras centrales de generación con energías renovables no convencionales. Estas centrales son Horus (solar) y San Antonio (eólico). La operación de estas centrales ha tenido diversos impactos técnicos y económicos que no han sido estudiados. Si bien se sabe que la producción de energía eléctrica a partir de este tipo de recursos es económica, se tiene el problema de la variabilidad en la disponibilidad del recurso y la complejidad para almacenar dicha energía.

A partir de este estudio, se determinarán los impactos técnicos y económicos que se han producido por la operación de las energías renovables no convencionales en el Sistema Nacional Interconectado y el Mercado Mayorista de Electricidad.

A partir de la detección y cuantificación de los impactos, se podrá proponer lineamientos normativos que permitan obtener el mayor beneficio de la operación de estas centrales de generación y mitigar los efectos negativos que puedan llegar a producirse.

OBJETIVOS

General

Evaluar los efectos técnicos y económicos provocados por la introducción de energías renovables no convencionales al Sistema Nacional Interconectado de Guatemala.

Específicos

1. Describir los efectos económicos al Mercado Eléctrico Nacional por la introducción de las energías renovables no convencionales.
2. Establecer causas que producen riesgos operativos en el Sistema Nacional Interconectado por la introducción de las energías renovables no convencionales.
3. Proponer lineamientos operativos y económicos para mitigar el impacto de la operación técnica y económica de las energías renovables no convencionales en el Sistema Nacional Interconectado, de acuerdo a la planificación energética vigente.

JUSTIFICACIÓN

Dentro del programa de Energía y Ambiente de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se realiza la siguiente investigación en la línea sobre economía, política y planificación energética; asimismo, se encaja la línea de energías renovables.

Entrando en contexto, derivado de las licitaciones de energía eléctrica que ha realizado el Ministerio de Energía y Minas con fines de cumplir la política energética, se han iniciado proyectos de generación a base de recursos renovables. De estos se destaca los proyectos con tecnología solar fotovoltaica y eólica (Minas, 2012).

Si bien se tienen estudios en los que se han visto que es factible la operación de las energías renovables no convencionales, en el sentido que se dispone del recursos naturales en algunas regiones del país, en Guatemala no se tiene un estudio previo a la introducción de estas tecnologías que indique las consecuencias operativas y económicas de las mismas; esto a pesar que ya ha iniciado la operación de dos proyectos con este tipo de tecnologías.

Con la presente investigación, se pretende esclarecer el panorama que se espera en el sistema de generación eléctrica en Guatemala. Determinar los beneficios y potenciales riesgos a los que se debe enfrentar por la condiciones de operación de este tipo de recurso, así como de otros aspectos operativos y administrativos que puedan traer efectos negativos al Sistema; esto con el fin de comparar los beneficios versus los riesgos. Por último, entendiendo los

posibles efectos de la introducción de las energías renovables no convencionales, se pretende proponer lineamientos normativos para los tratar la operación de las mismas en el Sistema Nacional Interconectado, con miras a maximizar los beneficios y mitigar los riesgos.

Este estudio será de gran utilidad para el Administrador del Mercado Mayorista, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y por lo tanto para el Ministerio de Energía y Minas, ya que el mismo podrá servir de referencia para tomar decisiones o tener alternativas de cara a los cambios que se viene en la generación eléctrica del país, con el desarrollo de las nuevas tecnologías.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala la matriz energética de generación eléctrica ha evolucionado. A partir de la vigencia de la Ley General de Electricidad en noviembre de 1996, se abrieron las puertas para un nuevo camino en el que las dos características que busca el subsector eléctrico son la competitividad y la eficiencia. Es por esta razón que en los últimos años ha iniciado a volverse realidad lo que en algún momento se vislumbró, el ingreso de energías renovables con una participación importante dentro de la producción de electricidad.

En el 2015, iniciaron operaciones las primeras centrales solares fotovoltaicas y eólicas, denominados energías renovables no convencionales (ERNC), que si bien son energías limpias y renovables, no significa que estas sean del todo beneficiosas a la operación del sistema o que sea totalmente positivo su impacto económico. Es por ello que, antes de que los proyectos que iniciarán operaciones con este tipo de fuente de energía derivado de las diferentes licitaciones realizadas y con la operación de algunos que ya están operando, se debe realizar un estudio que determine beneficios, los riesgos o posibles efectos que se provocarán; ello con el fin se determinen lineamientos normativos técnicos y económicos y la capacidad del Sistema Nacional Interconectado de operar con este tipo de tecnología.

Al determinar las ventajas y desventajas a nivel económico y técnico se podrán determinar lineamientos normativos, los cuales se podrán tener como referencia para proponer cambios en las normas con el fin de optimizar y

viabilizar la operación de las ERNC, que son una alternativa para aportar sostenibilidad y eficiencia en el sector energético del país.

Dentro del primer capítulo del presente trabajo, se definen conceptos básicos pero fundamentales respecto a las energías renovables no convencionales, asimismo, se repasan algunos estudios realizados, sobre este tema, en otros países. En el segundo capítulo, se analiza el estado actual del sistema recolectando los principales parámetros eléctricos e indicadores económicos. En el tercer capítulo, se tiene el análisis de datos que permite determinar beneficios y riesgos de la introducción de las energías renovables no convencionales. Para el último capítulo, se tiene las propuestas normativas para optimizar los beneficios de la operación de las energías renovables no convencionales.

1. ANTECEDENTES

Con la Ley General de Electricidad se buscó la eficiencia y competitividad del subsector eléctrico. Este fue el inicio del cambio total del subsector en el cual 2 empresas eran las que tenían el control del servicio y realizaban todas las actividades en las que se podía participar. Con esta ley se abrió la puerta a inversiones por medio de certeza legal y económica, que se ve ahora reflejada en la cantidad de agentes que participan en el Mercado Mayorista.

La matriz de generación eléctrica ha sido una matriz con participación térmica e hidráulica en su mayoría, pero en estos últimos años otras fuentes de energía han formado parte en un pequeño porcentaje de la misma. Prueba de ello es que en Guatemala recientemente se han instalado y puesto en operación 2 proyectos, los cuales son la granja solar Horus con capacidad de 58,31 MW e inició su operación en enero de 2015. El otro proyecto es un parque eólico llamado San Antonio con capacidad de generación de 50 MW, mismo que inició operaciones en abril de 2015.

La evolución de la matriz energética responde a la política energética que se viene trabajando y los esfuerzos por incluir energías verdes y económicas relativamente. Pero esto, como se ha visto en otros países principalmente de Sudamérica, viene amarrado de cambios normativos que permitan obtener los mayores beneficios de estas tecnologías y mitigar los efectos negativos que puedan llegar a presentar.

Un ejemplo del tipo de estudio que se presenta en esta investigación son los estudios realizados por el Centro de Despacho Económico de Carga de

Chile, los cuales en cada año realizan como ha afectado la incorporación de energía solar fotovoltaica y eólica a sus Sistema Interconectado Nacional de Generación. Resultados de estos estudios han mostrado que si bien hay riesgo en la operación de estas tecnologías, sobretodo efectos negativos en la operación, bajo ciertos procesos técnicos y económicos se pueden compensar haciendo factible su incorporación.

También se puede mencionar el estudio realizado en 2012, por National Renewable Energy Laboratory, para el sistema eléctrico del oeste de Estados Unidos. En este estudio se determinaron los impactos de la penetración de plantas solares al sistema de potencia, llegando a concluir que la generación solar es bastante factible en el sistema ya que presenta una campana típica de generación durante el día, que las personas aceptan este tipo de tecnología y dependiendo de su ubicación puede llegar a disminuir pérdidas de energía en el sistema.

Otro estudio relevante fue el realizado en la red de Suecia, por ISO New England y GE Energy en junio de 2012. Este estudio sobre la integración de energía eólica a la red indica que si bien la integración de esta tecnología es un reto, debido a la variabilidad del recurso y las necesidades que esto crea de reservas, también establece que en una red disminuye el costo de la energía, se diversifica la matriz lo cual genera seguridad al sistema y desplaza generación térmica en la misma matriz.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La matriz de generación de energía eléctrica a nivel mundial ha ido cambiando, evolucionando a un estatus en el que los combustibles fósiles han dejado de tener una participación predominante. Desde hace bastantes años, la energía hidráulica ha sido el recurso renovable más explotado, debido a su desarrollo tecnológico y principalmente a la relativa facilidad de controlar el recurso por medio de su almacenamiento. A diferencia de este recurso, la energía solar y eólica no presentan las mismas características.

Con observar el estado del arte de la generación solar fotovoltaica se puede caer en cuenta que la principal dificultad para su uso, es la variabilidad que presenta en cuanto a su perfil de generación. En otras palabras, si se tiene un valor de 50 MW de potencia y pasa una nube sobre la central, la central podría llegar a bajar su generación hasta valores de 5 MW en menos de 5 minutos. Para ello debiere existir un mecanismo el cual permita reponer y respaldar estos cambios de generación para no provocar contingencias en el sistema.

De igual forma las centrales eólicas tienen características que provocan problemas a la operación del sistema. En este sentido, se puede decir que un mal pronóstico de viento genera distorsión a la programación y operación en tiempo real del sistema, ya que si se espera que la central genere una cantidad de energía en cierto período y en la realidad se genera de más o de menos, se tienen consecuencias negativas como podría ser desviaciones de energía y en el peor de los casos pueden llegar a haber contingencias. Estos efectos tienen

un costo económico el cual se debe tomar en cuenta en la operación de estas centrales.

Lo anterior, no desmerita que estas energías renovables son baratas, y si bien la inversión inicial de estas plantas es elevada, son bajas en emisiones de gases de efecto invernadero y contaminan poco en general.

De lo anterior surgen las siguientes preguntas que se buscan resolver en este estudio:

2.1. Pregunta principal

¿Cuáles son los efectos técnicos y económicos de la introducción de las energías renovables no convencionales al Sistema Nacional Interconectado de Guatemala?

2.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son los beneficios de estas energías?
- ¿Cuáles son los riesgos más importantes?
- ¿Los beneficios compensan los efectos en la operación del sistema eléctrico?

3. ALCANCE

El alcance del presente documento se delimita al estudio del sistema en el 2014, en el cual no se tenían centrales de generación con energías renovables no convencionales en el Sistema Nacional Interconectado y en 2015, en el cual ya operan los primeros 2 grandes proyectos con esta tecnología, Horus (solar-fotovoltaico) y San Antonio (eólico).

Esta investigación tiene dos caracteres principales. El primero es exploratorio e innovador ya que se busca determinar los beneficios y riesgos que puede traer la operación de las ERNC en Guatemala. Si bien este tipo de estudios se han realizado en otros países, se ha de saber que en ningún lugar van a ser iguales a otros. Esto va depender entre otras cosas de la composición de la matriz energética, la normativa y las características del sistema. Asimismo, tendrá un enfoque descriptivo ya que será necesario detallar el estado del Sistema Nacional Interconectado y el cambio en la operación por la entrada de las ERNC.

Esta investigación, dada la naturaleza del estudio servirá como referencia al Administrador del Mercado Mayorista en el sentido de proponer cambios normativos, debido a que según la Ley General de Electricidad y la normativa vigente, es función de esta entidad realizar esto y de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica aprobarlos o improbarlos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Energías renovables no convencionales

Dependiendo del país al que se refiera, se entenderán por tecnologías diferentes pero similares. Específicamente en Guatemala, cuando se refiere a este tipo de fuentes de energía, se entiende por energía solar fotovoltaica y eólica. Puede ser que en algún momento se pueda llamar a estas como convencionales y tener otras tecnologías en este grupo. En este sentido las energías renovables son aquellas que no se agotan a pesar de su aprovechamiento y transformación. (Chile)

4.1.1. Energía solar fotovoltaica

El sol es una fuente de energía que se presenta en el planeta en forma de radiaciones ultravioletas. Básicamente la energía viene en los fotones que se emiten desde esta estrella y llegan a la superficie de la tierra.

A través del fenómeno físico, denominado efecto fotovoltaico, la radiación de los fotones entra en interacción con los átomos de valencia de las celdas solares y esto provoca el movimiento de los mismos, generando carga en movimiento que a medida que se incrementa el número de interacciones se forman una corriente eléctrica (NAP, 2002).

Por la constitución del proceso de transformación de la fuente primaria, energía solar, a electricidad, esta se genera en corriente directa por los

semiconductores que son iluminados con el haz de luz. Este tipo de energía puede utilizarse de esta manera para abastecer servicios en el mismo lugar.

En los casos en que se desea trabajar con valores a escala industrial para poder participar en el Mercado de Electricidad, es necesario transformar la electricidad de corriente continua a corriente directa para poder transmitirla por la red eléctrica.

Figura 1. **Planta solar fotovoltaica-Horus Guatemala**



Fuente: Telesur. <http://www.telesurtv.net/news/Guatemala-inaugura-mayor-planta-solar-de-Centroamerica-20150204-0011.html>. Consulta: 30 de septiembre de 2015.

Esta transformación se realiza por medio de dispositivos electrónicos denominados inversores y sus accesorios, además de un transformador que permite tener niveles de voltaje de transmisión.

Entre las ventajas que se tienen para este tipo de tecnología se conocen las siguientes:

- Energía limpia
- Energía renovable
- Energía infinita
- Energía silenciosa

Adicionalmente, dependiendo de la regulación, que será un tema a tratar más adelante, se puede considerar energía barata.

Entre las desventajas de este tipo de tecnologías se pueden encontrar:

- Inversión inicial elevada
- Dificil almacenamiento
- Fabricación de tecnología compleja
- Gran extensión territorial para la instalación de los paneles
- Variabilidad

En ciertas regiones puede ser poco competitiva frente a otras tecnologías.

4.1.2. Energía eólica

El viento es una fuente de energía que en nuestros días está de moda. La energía eólica es la energía que se extrae por la energía cinética del aire. Es una de las fuentes primarias de energía más antiguas utilizadas por el ser humano y hoy en día una de las energías más maduras y eficientes de todas las energías renovables.

La forma de transformación de este tipo de energía es por medio de turbinas eólicas. Al momento que se tiene una corriente de aire, estas chocan con aspas de una turbina, lo cual gira y por medio de una acople de ejes, se gira el rotor de un generador de energía eléctrica.

Figura 2. **Parque eólico-San Antonio Guatemala**



Fuente: Prensa Libre. <http://www.prensalibre.com/economia/parque-eolico-genera-528-mw>.
Consulta: 15 de septiembre de 2015.

Entre las ventajas que se pueden mencionar de este tipo de energía se tienen:

- Baja contaminación
- Sustitución de combustibles fósiles
- Impacto poco agresivo al suelo
- No utiliza agua ni extensas áreas como las energía solar
- Costos de operación y mantenimiento mínimos

Se tienen las siguientes desventajas:

- Tiempo de construcción largo
- Variabilidad
- No se puede almacenar
- Instalación lejos de los centros de consumo
- Vulnerables a “huecos de tensión”
- Características específicas de operación (Velocidad mínima y máxima)

4.1.3. Variabilidad del Sol y el viento

Según Núñez, La variabilidad es la razón y el reto principal de este tipo de tecnologías. En varios sistemas de potencia, dependiendo de la concentración geográfica de las centrales, se tiene cambios drásticos de potencia de hasta 15 % de la potencia generada por subidas o bajadas de centrales de este tipo.

Esto representa un gran problema técnico y económico. Lo primero se explica ya que al momento de tener estas gradas de generación, dependiendo de la inercia y la estabilidad del sistema se pueden llegar a forzar máquinas o salir de sincronismo las mismas. Esto provoca sobrecarga en los demás generadores y a su vez desacelera los rotores provocando caída en la frecuencia. De igual manera sucede si hay una subida repentina y no se tiene el suficiente tiempo para restablecer el equilibrio generación-carga.

Desde el aspecto económico se puede decir que esas desviaciones en los despachos de generación se reflejan en la liquidación total de las transacciones. Si en el caso se tuviera interconexiones con otras regiones o sistemas, la normativa podría entender esto como falta y sancionar al país responsable de estos eventos.

4.1.4. Beneficios de las energías renovables no convencionales

Con base en la experiencia de otros países, los cuales tienen características en sus sistemas energéticos similares a Guatemala, se han visto distintos beneficios los cuales se listan a continuación:

- **Reduce el consumo de combustibles fósiles**
Este beneficio se vislumbra fácilmente ya que claramente al generar energía eléctrica a base de radiación solar o de la energía cinética del aire, es energía que no se genera con energía a base de petróleo, carbón o alguna otra fuente primaria de energía fósil.
- **Aporte económico**
Desde la parte económica, se ha visto en otros países que al igual que exportan energía al igual que Guatemala, al momento de generar con este tipo de tecnología se sustituye generación que puede ser ofertada al Mercado Eléctrico Regional, siendo entrada de dinero para el país. Adicionalmente en otros países, esto viene acompañado de cambios en el sector productivo del país que se ven reflejados en el PIB.
- **Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero**
Dependiendo de la matriz energética del país y de la magnitud de energía renovable no convencional que se puede incorporar, se puede estimar porcentajes por encima del 10 % de reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.

- Generación de empleo

Según Chile M. d. –G., un efecto posiblemente indirecto es la generación de nuevos empleos, sobre todo en las etapas de construcción de los proyectos así como oportunidades de capacitación.

4.2. Política energética

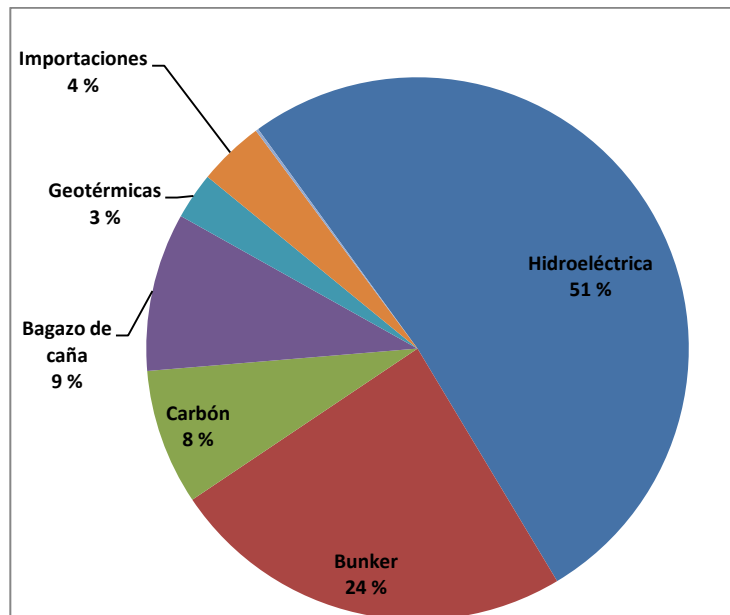
El uso de energías renovables no convencionales responde a la planificación energética del país contenida dentro de la Política Energética. Actualmente la política vigente es la política energética 2013 – 2027, la cual está orientada a un desarrollo sostenible y una de sus metas es la instalación de 500 MW de energía renovable. Para ello se espera la participación del Ministerio de Energía y Minas (MEM), la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y el sector privado organizado. (Minas, 2012)

4.2.1. Matriz de generación eléctrica

Para tener un panorama de la realidad nacional se presenta la matriz energética de generación eléctrica, la cual muestra cerca de un 60 % de energía renovable y un 40 % de energía con combustibles fósiles aproximadamente.

A continuación se muestra lo que se dice en el párrafo anterior, se puede observar que la matriz para 2012, no contempla energías renovables no convencionales y predomina la energía hidráulica por parte de las energías renovables y el bunker por parte de las térmicas.

Figura 3. **Matriz energética de generación de Guatemala del 2012**



Fuente: elaboración propia, con datos de la Política Energética 2013-2027.

4.2.2. Leyes, reglamentos y normativa del subsector eléctrico

Para entender un poco de cómo funciona el subsector eléctrico se debe referir a los cuerpos legales correspondientes, siendo estos los siguientes:

- Ley General de Electricidad
Esta ley se firmó en diciembre de 1996, la cual reformó la estructura del subsector eléctrico creando el Mercado Mayorista de Electricidad, proyectando eficiencia y competitividad, fomentando inversión, separando actividades dentro del sector por una sola entidad y abriendo la puerta a la sostenibilidad energética.
- Reglamento de la Ley General de Electricidad

Contempla y amplía lo establecido en la ley para poder cumplir con lo que en la misma se busca.

- **Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista**
Establece el funcionamiento del Mercado Mayorista, procesos a seguir, funciones de cada participante y delega en normas los procesos a detalle.
- **Normas técnicas y de coordinación**
Establecen las especificaciones y procesos a detalle que se llevan a cabo dentro del subsector eléctrico. En estas se desarrollan procesos de liquidación, de despacho económico, de conexiones, de sanciones, entre otras funciones.

4.2.3. Despacho hidrotérmico

Según Chan, el despacho hidrotérmico, no es más que un plan óptimo de generación térmico e hidráulico con el fin principal de minimizar el costo total de la operación, manteniendo los criterios de calidad y seguridad en el sistema. La necesidad de establecer un plan se debe principalmente al valor del agua en el tiempo el cual nace de la suposición que si gasto la energía hidráulica en la época lluviosa, al momento de llegar la época seca no se tendrá agua disponible y se generará a través de plantas que utilizan combustibles fósiles volviendo la operación del sistema más costoso desde el punto de vista económico. Para realizar un buen despacho se debe conocer la oferta y la demanda, los pronósticos de generación y las condiciones atmosféricas que permitan realizar proyecciones acertadas.

4.2.4. Reserva Rodante Operativa o Reserva Secundaria

Según Ledesma, es el margen de potencia el cual un sistema puede subir o bajar de forma automática al presentarse cambios en generación o demanda. El valor de esta reserva depende de la normativa de cada sistema, siendo para Guatemala el 2 % de la generación en banda de demanda máxima, 3 % en banda de demanda media y 4 % en banda de demanda mínima.

4.3. Estudio de impacto de energías renovables y no renovables

Dentro de los estudios de impacto de la operación de energías renovables no convencionales, basado en otros estudios realizados, se debe determinar no solo el impacto económico sino el impacto técnico.

4.3.1. Impacto en la operación del sistema

La seguridad del sistema es algo que no se discute al momento de cualquier cambio en el mismo. Derivado de ello, y como se ha visto en otros estudios realizados como los ya mencionados, se deben estudiar parámetros que se ven afectados con las instalación de las tecnologías renovables no convencionales.

4.3.1.1. Estabilidad del sistema

Es la capacidad del sistema de regresar a su condición de operación nominal o alcanzar un nuevo punto de operación, en el cual sus componentes trabajen dentro de su operación normal luego de algún evento en el sistema. Uno de los parámetros fundamentales que indica la estabilidad de un sistema es la frecuencia.

4.3.1.2. Frecuencia del sistema

Físicamente, es la cantidad de ciclos por segundo de una onda eléctrica en el presente caso, en otras palabras, es la cantidad de veces que pasa por su valor máximo en señal eléctrica.

4.3.1.3. Control de frecuencia

Es la capacidad de mantener el balance generación-demanda de un sistema. Este se realiza por medio de las reservas rotantes o rodantes del sistema de potencia.

4.3.1.4. Reserva rodante

Es la generación de la que dispone un sistema eléctrico de potencia para poder compensar cualquier cambio en la demanda o en la generación. Esta puede estar sincronizada al sistema y responde desde el orden de los segundos hasta algunos minutos.

4.3.2. Impacto económico

Para determinar si económicamente es conveniente un cambio en el despacho de generación es necesario evaluar varios indicadores económicos, siendo el más importante de ellos el costo de la operación del sistema.

4.3.2.1. Costo total de la operación

Es el costo en el que incurre el sistema para satisfacer la demanda de energía. Esto incluye el costo de la energía generada, las reservas necesarias

para la operación segura y cualquier otro costo según la normativa de cada sistema.

4.3.2.2. Costo marginal de la energía de corto plazo

Es el costo en el que incurre el sistema en un periodo de mercado para generar un megavatio-hora adicional.

4.3.2.3. Costo variable de generación

En un mercado de costos, es el costo declarado de una central generadora de producir un megavatio-hora de energía eléctrica.

5. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Energías renovables no convencionales

1.1.1. Energía solar fotovoltaica

1.1.2. Energía eólica

1.1.3. Condiciones operativas de las energías renovables no convencionales

1.1.4. Aspectos económicos de las energías renovables no convencionales

1.2. Efectos de las energías renovables no convencionales en otras regiones

1.3. Despacho de carga

1.4. Sistema eléctrico de potencia

2. DATOS DEL ESTUDIO

2.1. Sistema Nacional Interconectado

2.2. Matriz de generación eléctrica 2014

- 2.3. Matriz de generación eléctrica 2015
- 2.4. Parámetros eléctricos de 2014 y 2015
- 2.5. Indicadores económicos de 2014 y 2015

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 3.1. Evaluación técnica de la operación del sistema
- 3.2. Índices económicos
- 3.4. Evaluación económica
- 3.5. Propuesta normativa

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1. Tipo de estudio

El presente estudio tiene un enfoque analítico ya que se busca determinar beneficios y efectos técnicos y económicos de la operación de las energías renovables no convencionales, a partir del inicio de la operación de los proyectos Horus (solar-fotovoltaico) y San Antonio (eólico) durante el 2015 y con base en ello, proponer lineamientos normativos que permitan que la operación de estos proyectos sean factibles para generadores y consumidores.

6.2. Diseño del estudio

En esencia, este estudio es comparativo dado que se analizará el comportamiento del Sistema Nacional Interconectado y el Despacho Económico, entre el 2014 y 2015. Las variables a utilizar son cuantitativas, específicamente parámetros técnicos e índices económicos. Se estudiarán los cambios en parámetros de frecuencia, uso de reservas, desviaciones de energía, precio de la energía, costo de las reservas, error de control de área (ACE) y costo total de la operación. El objetivo es determinar si el costo en que incurren los consumidores, usuarios regulados, grandes usuarios y exportadores de energía es mayor o menor con la operación de este tipo de tecnologías tomando en cuenta que el uso de reservas y las desviaciones de energía son pagados por la demanda según la normativa actual.

Para la realización del estudio se deberá completar las siguientes fases:

6.2.1. Fase I: Investigación

Se iniciará con revisión de literatura sobre las energías renovables no convencionales, estudios previos realizados por entes reguladores, operadores del sistema y entidades consultoras acerca de la operación de plantas con energía solar y eólica en países como México, Estados Unidos, Alemania, España; y en países con características en su sector eléctrico similares a Guatemala como puede ser Costa Rica, Chile y Argentina.

6.2.2. Fase II: Análisis de datos

Es necesario tener las bases de datos del Sistema Nacional Interconectado de Guatemala y la base de datos del despacho económico de generación del país. Esto se obtendrá del AMM, la cual es información pública. Estas bases de datos deberán validarse y revisar que las mismas están actualizadas. Asimismo, se solicitará información acerca de los proyectos que se esperan que puedan entrar en operación en los próximos años con el objeto de poder proyectar los impactos de estas plantas de generación durante el periodo de operación de las mismas.

Dentro de la información necesaria para el estudio se tienen las siguientes variables:

Tabla I. **Parámetros eléctricos**

Variable	Definición	Unidad
Variación de la frecuencia del sistema	Desvío entre la frecuencia nominal del sistema (60 Hz) y la frecuencia real.	Hz, %
Potencia instalada	Capacidad de generación de plantas instaladas en el Sistema Nacional Interconectado.	MW
Reserva rodante	Es la potencia disponible en el sistema	MW

	eléctrico que es utilizada para responder a cambios en la demanda o la generación.	
Demanda del sistema	Potencia consumida por el sistema	MW
Generación renovable no convencional	Cantidad de energía del sistema generada a partir de fuentes primarias solar o eólica.	MWh

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Parámetros económicos**

Variable	Definición	Unidad
Costo total de la operación	Costo en que incurre el sistema en generar la energía para cubrir la demanda y las reservas necesarias.	USD
Precio SPOT	Costo de la energía para generar un megavatio-hora más en cada hora.	USD/MWh
Costo variable de generación	Costo de generar un megavatio-hora de cada planta de generación.	USD/MWh

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores, se determinará el beneficio económico que han traído los proyectos instalados con energía renovable no convencional, asimismo, se establecerán los efectos a la operación del sistema.

6.2.3. Fase III: Análisis y resultados

Al tener los resultados para 2014 y 2015, se compararán determinando ventajas y desventajas. Se evaluará el impacto que han traído los proyectos solar y eólico para el sistema eléctrico tanto en la operación física como económica.

Entre los estudios a realizar para la evaluación están:

Estudios eléctricos, para determinar el comportamiento del sistema ante la introducción de las energías renovables no convencionales, se realizarán estudios eléctricos con ayuda del software de análisis de sistema de potencia, siendo estudios a realizar los flujos de carga, análisis de contingencias y estabilidad transitoria para verificar criterios de calidad y seguridad de la red eléctrica.

Estudios económicos, por medio de diversas simulaciones del despacho económico con el software estocástico con el que actualmente se realiza la operación y que permitirá determinar indicadores económicos.

6.2.4. Fase IV: Propuesta

Se propondrá una metodología normativa que permita obtener los beneficios máximos que puedan brindar este tipo de tecnologías, siempre cuidando la seguridad operativa del sistema y que beneficie económicamente a todos los usuarios del servicio de energía eléctrica.

7. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para determinar el impacto de la operación de las ERNC se utilizan diversas técnicas de análisis de datos estadísticos, para el manejo de los parámetros técnicos e indicadores económicos se hace uso de estadística descriptiva con herramientas como:

- Promedio
- Promedio ponderado
- Varianza
- Medidas de posición

Para la representación de los datos se utilizarán gráficos de los siguientes tipos:

- Barras
- Pie
- Líneas de tiempo

Por otro lado para la evaluación económica, dado que es un análisis comparativo, se utilizará la estadística inferencial, a través de métodos de econométricos, de proyecciones y otros que correspondan, se determinarán riesgos y oportunidades de estas tecnologías en el sistema.

8. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la investigación se necesitarán los siguientes recursos:

Tabla III. Recursos necesarios

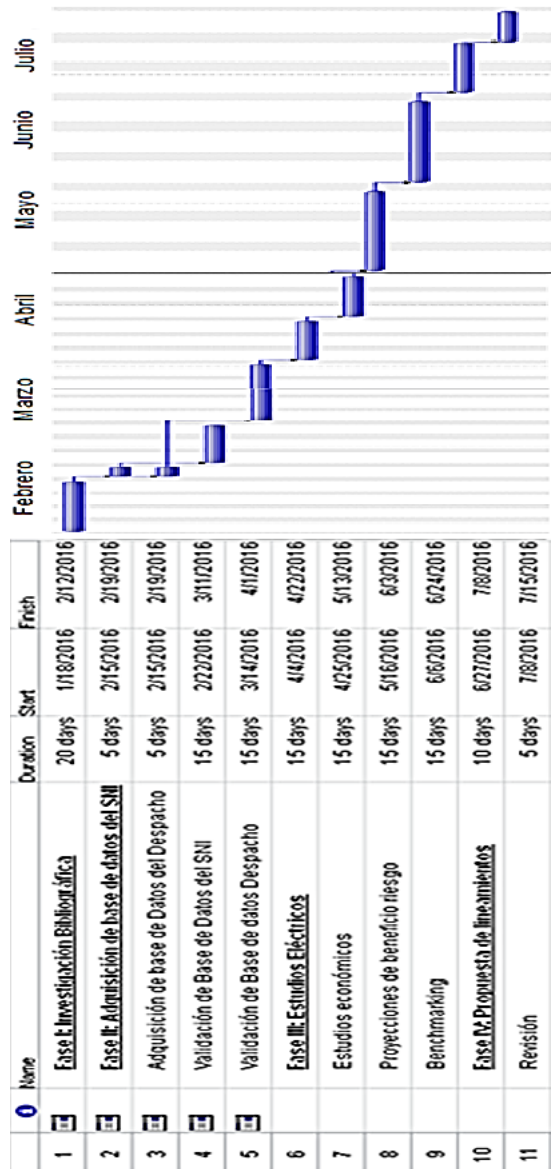
Tipo de Recurso	Descripción	Valor
Recurso humano	Se realizará únicamente por el investigador (estudiante) con apoyo de los asesores. Aún se tiene pendiente de confirmar el costo oficial de la asesoría.	Q2 500,00 en los 6 meses.
Recurso informático	Se utilizará un software de análisis de sistemas de potencia para realizar los estudios eléctricos y software de optimización de despacho de generación. Ambos serán proporcionados para su uso por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. El uso de los mismos será de 3 horas por día durante 30 días. El uso de dichos programas serán brindados por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.	Por uso del Software se tiene Q60,00 para ambos por hora estimado. Esto deriva en un total aproximado de Q5 400,00
Insumos de oficina	Básicamente será papelería y servicios.	Q1 000,00
Información y bases de datos.	Las bases de datos que serán necesarias para el estudio serán brindadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y el Administrador del Mercado Mayorista.	Sin costo
Costos de operación	En estos se incluye transporte, parqueo, alimentación, entre otros.	Q3 000,00
	Total	Q11 900,00

Fuente: elaboración propia.

Con lo anterior, se entiende que es un estudio factible aunque de igual forma se puede solicitar ayuda financiera a alguna institución que apoye la investigación.

9. CRONOGRAMA

Figura 4. Fecha inicio 18 de enero–fecha finalización 16 de julio



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMM. (2015). Programación Semanal AMM. Recuperado el 15 de julio de 2015, de http://www.amm.org.gt/portal/?page_id=145.
2. CDEC-SING, D. d. (2012). Efectos Técnico-Económicos de la Integración de Energía Eólica y Solar en el SING. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAAahUKEwjoi9OLoYLIAhXMFJIKHVeBDX4&url=http%3A%2F%2Fcdec2.cdec-sing.cl%2Fpls%2Fportal%2Fcdec.pck_pag_web_pub.get_file%3Fp_file%3DINFORME_ERNC_2012_V1.pdf%26p_tipo%3DA&usg=AFQjCNHg4k.
3. Chan, D. F. (2011). Optimización del despacho hidrotérmico estocástico del SNI para un estudio de largo plazo. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
4. Chile, I. d. (junio de 2008). Aporte potencial de energías renovables no convencionales y eficiencia energética a la matriz eléctrica. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de <http://www.patagoniasinrepresas.cl/final/dinamicos/energia-BAJA.pdf>.
5. Chile, M. d.-G. (s.f.). Energías renovables no convencionales. Recuperado el 12 de agosto de 2015, de http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14_portal_informacion/la_energia/ernc.html.

6. Colom, C. (mayo de 2011). CNEE. Obtenido de <http://www.construguate.com/publicaciones/docs/Presentaciones/Carlos%20Colom%20-%20CNEE.pptx>.
7. D. Lew, G. B.-M. (noviembre de 2012). Sub-Hourly impacts of high solar Penetrations in the Western United States. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de www.nrel.gov/docs/fy12osti/56171.pdf.
8. D. Lew, G. B.-M. (septiembre de 2013). The Western wind and solar . Recuperado el 15 de agosto de 2015, de <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55588.pdf>.
9. Engineering, G. E. (diciembre de 2010). New England wind integration study. Recuperado el 25 de agosto de 2015, de http://www.uwig.org/newis_es.pdf.
10. J.P. Deane, G. D. (2013). The impact of sub-hourly modelling in power systems with significant levels of renewable generation. *Applied Energy*, 152-158.
11. Ledesma, P. (25 de septiembre de 2008). Reservas de regulación en el Sistema Eléctrico Español. Obtenido de Open Course Ware: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-electrica/operacion-y-control-de-sistemas-electricos/II_OCSE_RFP/reservas-de-regulacion-en-el-sistema-electrico-espanol.

12. Mats Wang-Hansen, R. J. (junio de 2012). Frequency controlling wind power. Recuperado el 12 de agosto de 2015, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CC0QFjABahUKEwiT6umNrYLIAhUBhA0KHRQ1AGY&url=http%3A%2F%2Felforsk.se%2FRapporter%2F%3Fdownload%3Dreport%26rid%3D12_43_&usg=AFQjCNER1qBJQJgueCmfXgh8QfXNI6WuAw&sig2=pWeMAef0vZ4_diPpP4sjRg&c.
13. Michael Milligan, B. K. (junio de 2008). Analysis of sub-hourly ramping impacts of wind energy and balancing area size. Recuperado el 6 de septiembre de 2015, de <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43434.pdf>.
14. Minas, M. d. (2012). Política energética 2013-2017. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
15. NAP, G. (2002). Energía solar fotovoltaica. Madrid: COIT.
16. Naturales, N. -C. (septiembre de 2013). Beneficios económicos de las energías renovables no convencionales en Chile. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de <http://www.nrdc.org/international/files/chile-ncre-IB-sp.pdf>.
17. Núñez, I. (25 de febrero de 2015). Generación eólica y solar fotovoltaica: ¿Qué tan variables son? Obtenido de Breves de energía: http://www.brevesdeenergia.com/blog/posts/2015-02-24-generacion-eolica-y-solar-fotovoltaica-que-tan-variables-son#.VgSIK9J_NBc.

18. Ortíz, G. (s.f.). Planta Solar Fotovoltaica (PV) 50 MW Horus I en Chiquimulilla, (Guatemala). Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de <http://www.grupoortiz.com/es/internacional/guatemala/proyecto-id-1051/>.
19. R. Piwko, L. R. (diciembre de 2012). Hawaii solar integration study: solar modeling developments and study results. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de http://energy.hawaii.gov/wp-content/uploads/2011/10/NREL_SolarModelResultsPub.pdf.
20. Simeon Hagspiel, S. C. (noviembre de 2012). Cost-optimal power system extension under flow-based market coupling and high shares of photovoltaics. Energy, 654-666. Recuperado el 31 de julio de 2015 de http://www.smooth-pv.info/doc/App04_UoC_ENA_Cost-optimal_Power_System_Extension.pdf.
21. SING, C. d. (2015). Efectos tecnico-economicos de la Integración de energía eólica y solar en el SING. 2017. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAAahUKEwjoi9OLoYLIAhXMFJIKHVeBDX4&url=http%3A%2F%2Fcdec2.cdec-sing.cl%2Fpls%2Fportal%2Fcdec.pck_pag_web_pub.get_file%3Fp_file%3DINFORME_ERNC_2012_V1.pdf%26p_tipo%3DA&usg=AFQjCNHg4k